

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

Više informacija: www.jyu.fi/digiphyslab

Pokusi iz akustike

Verzija za studente

10.1.2023.



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/).

Pokusi iz akustike

Motivacija

Malo je ljudi koji su imali priliku iskusiti apsolutnu tišinu jer su zvukovi doslovno svuda oko nas. Osim što nam svakodnevno prave društvo, akustične pojave imaju širok spektar primjene od medicinske dijagnostike kao što je Dopplerov ultrazvuk kojim se proučava protok krvi u krvnim žilama do glazbe koja nas uveseljava u svakodnevnom životu. U ovoj vježbi dobiti ćete bolji uvid u neke pojave iz akustike i ideje o tome kako se ove pojave koriste u praktičnim primjenama.

Priprema za vježbu

Instalirajte *PhyPhox* aplikaciju na svoj mobitel i snimite različite zvukove u načinu rada *Audio Spectrum*. Napravite snimku kada je u sobi tišina. Razmislite o tome kako biste protumačili grafove koje dobivate iz vaših snimaka i koje informacije se iz njih mogu dobiti.

Popis opreme

Dva mobitela s instaliranom *PhyPhox* aplikacijom, računalo s instaliranim Excelom, opruga ili elastična vrpca

Eksperimentalne vještine u fokusu

Planiranje eksperimenta, prikupljanje i analiza podataka, procjena i izračun nepouzdanosti

Zadaci

Interferencija zvuka

1. Zajedno sa svim svojim kolegama osmislite eksperiment u kojem ćete tražiti položaje u učionici u kojima se pojavljuju lokalni minimumi interferencije zvuka. Koristite *PhyPhox Tone generator* kao izvor zvuka.

Napomena: Kada generirate ton u *PhyPhox*-u nakon što napišete željenu frekvenciju potrebno je pritisnuti OK prije emitiranja zvuka.

Pokušajte pronaći uvjete (položaj izvora, frekvencija, glasnoća...) u kojima je lako uočiti minimume. Odredite položaj za oko 10 lokalnih minimuma i snimite grupnu fotografiju na kojoj studenti stoje na tim položajima. Diskutirajte uvjete izvođenja i ograničenja ovog eksperimenta.

Frekvencijski spektar različitih zvukova

Iz podataka o amplitudi zvuka u vremenu primjenom Fourierove transformacije možemo dobiti frekvencijski spektar koji prikazuje koliko su pojedine frekvencije zastupljene u tom zvuku.

2. Koristeći *Audio Spectrum* snimite zvukove koje stvaraju glazbena viljuška, dva glazbena instrumenta koja sviraju istu notu (npr. A4, C3, C4 (*middle C*) itd.) i gužvanje papira. Svaki put kada snimite neki zvuk prvo napravite snimku zaslona grafa amplitude u vremenu (A-

- t) u kartici *raw data*. Zatim podatke o frekvencijskom spektru prebacite u Excel tablicu. Za vrijeme snimanja pokušajte eliminirati okolne zvukove u onoj mjeri u kojoj je to moguće.
- a. Opišite i usporedite grafove amplitude u vremenu dobivene u kartici *raw data*. Koje ste razlike među njima pronašli?
- b. Nacrtajte frekvencijski spektar u Excelu za svaki zvuk koji ste snimili (slobodno uklonite dijelove spektra koji nisu važni za vašu analizu). Za svaki snimljeni zvuk odredite osnovnu frekvenciju i procijenite njenu nepouzdanost.
- Napomena:** Nepouzdanost neke frekvencije povezana je sa širinom maksimuma kojim je ona prikazana u frekvencijskom spektru, a može se procijeniti kao polovica širine maksimuma. Maksimumi često nisu simetrični pa za procjenu nepouzdanosti neke frekvencije procijenite iz grafa koliko je središte maksimuma udaljeno od jednog i od drugog ruba maksimuma. Uzmite veću od te dvije udaljenosti za nepouzdanost frekvencije. Za procjenu nepouzdanosti iz Excela najbolje je za prikaz grafa koristiti *raspršeni graf s izgladenim crtama i točkama*. Kada strelicom miša odete na neku ucrtanu točku na grafu prikazati će vam se koordinate te točke. Nepouzdanosti zaokružite na jednu značajnu znamenku.
- c. Odredite više harmonike za zvukove za koje je to moguće. Analizirajte i opišite vezu između osnovne frekvencije i viših harmonika. Koje sličnosti i razlike ste uočili između dvije iste note odsvirane na različitim instrumentima?
3. U načinu rada *Audio Spectrum* u kartici *raw data* snimite najprije sebe, a zatim svog kolegu/icu kako izgovarate 2 različita samoglasnika. Navedite koje ste sličnosti i razlike uočili.

Dopplerov efekt

Ukoliko se izvor vala i opažatelj približavaju ili udaljavaju jedno od drugoga opažatelj će detektirati različitu frekvenciju f_o od frekvencije f_i koju emitira izvor. Ovaj pomak frekvencije poznat je kao Doppler pomak i može se opisati sljedećim izrazom:

$$f_o = f_i \frac{v \pm v_o}{v \mp v_i} \quad (1)$$

gdje je v brzina širenja vala u sredstvu, v_o brzina opažatelja, a v_i brzina izvora. Gornji predznaci iz izraza odgovaraju približavanju, a donji znakovi udaljavanju izvora i opažatelja.

Dopplerov efekt je pojava koja karakterizira sve valove, a u ovoj vježbi istraživat ćete Dopplerov efekt pomoću ultrazvučnih valova.

4. Učvrstite jedan mobitel na vertikalnu oprugu tako da on može titrati različitim amplitudama. Drugi mobitel postavite u ravninu u kojoj prvi telefon titra. Prvi mobitel koristit ćete kao pokretni izvor zvuka stalne frekvencije, a drugi mobitel kao detektor frekvencije.

Napomena: Razmislite o tome gdje se nalaze zvučnici i mikrofoni na mobitelima i koji je postav eksperimenta najbolji za prikupljanje i analiziranje podataka o frekvenciji.

- a. Skicirajte kako očekujete da će izgledati f - t graf koji će zabilježiti mobitel detektor dok mobitel izvor titra na opruzi.
- b. Emitirajte ton frekvencije 18 ili 19 kHz s mobitela koji visi na opruzi. Pustite mobitel da titra i za to vrijeme mjerite frekvenciju u vremenu s vašim mobitelom detektorom. Pokušajte postići jednodimenzionalno titranje koliko je to moguće. Upute za mjerenje možete pronaći u napomenama ispod zadatka. Prebacite prikupljene f - t podatke u Excel. Ponovite mjerenje za još 2 različite amplitude titranja mobitela. Ne morate mjeriti iznose amplituda, ali zabilježite koje mjerenje odgovara najvećoj, a koje najmanjoj amplitudi.
1. **Napomena:** Možete mjeriti frekvenciju u vremenu u *Audio Spectrumu*. Kada odete na *History chart* pronaći ćete *Peak Frequency-time* graf. Kliknite na *More tools* zatim *Export this dataset* i prebacite f - t podatke u Excel formatu.
 2. **Napomena** Prije nego započnete svako mjerenje potrebno je u Postavkama (Settings) odabrati **8 192** kao broj uzoraka za vaše mjerenje. Ukoliko mobitel mjeri i bilježi veliki broj frekvencija u vremenu rezolucija frekvencija je niska. S druge strane ukoliko odaberemo visoku rezoluciju mobitel ne može često bilježiti podatke i postoji velika vjerojatnost da ćemo preskočiti neke važne iznose frekvencije tokom mjerenja. Izabiremo srednju vrijednost broja uzoraka kao najbolji omjer rezolucije i brzine mjerenja. Razmislite koliko bi dugo trebalo trajati vaše mjerenje za najbolje rezultate.
- c. Nacrtajte f - t graf u Excelu za svaku amplitudu titranja. Možete isključiti dijelove grafa koji nisu važni za vašu analizu. Jesu li grafovi u skladu s vašim predviđanjima?
- d. Odredite maksimalnu frekvenciju f_{max} i minimalnu frekvenciju f_{min} za svaku amplitudu titranja. U kojem položaju i uvjetima tijekom titranja su izmjerene te frekvencije? Ukoliko svi lokalni maksimumi i minimumi nisu jednakog iznosa, razmislite čime bi to moglo biti uzrokovano?
- e. Izvedite izraz za brzinu mobitela u ravnotežnom položaju koristeći izraz (1) i f_{max} ili f_{min} .
- f. Izračunajte brzinu (i pripadnu nepouzdanost) mobitela u ravnotežnom položaju za tri amplitude titranja. Uzmite da je brzina zvuka u zraku temperature 20°C $v = 343$ m/s. U kojem je slučaju brzina najveća, a u kojem najmanja? Jesu li rezultati u skladu s vašim očekivanjima?
- Napomena:** Nepouzdanost brzine mobitela u ravnotežnom položaju izračunajte kao složenu nepouzdanost neizravnog mjerenja. Nepouzdanosti brzine zvuka u zraku i emitirane frekvencije su znatno manje od nepouzdanosti minimalne i maksimalne frekvencije pa te veličine možemo smatrati konstantama. Nepouzdanost opažene frekvencije odredite iz razlučivosti mjernog uređaja koja iznosi 6 Hz.

Dodatni zadatak:

Izaberite jednu amplitudu za koju ćete odrediti brzinu mobitela u ravnotežnom položaju onda kada mobitel koji titra detektira frekvencije, a mirni mobitel je izvor zvuka. Usporedite rezultat s onim dobivenim kada je mobitel koji titra izvor zvuka.

Izvještaj

Odgovore na pitanja možete zapisati direktno u ovaj dokument.

Napomena: Zapišite sve rezultate i zaključke koje ste donijeli na temelju tih rezultata. Nemojte zaboraviti priložiti grafove. Diskutirajte o ograničenjima svakog eksperimenta kojeg ste proveli i opišite poteškoće s kojima ste se susreli ukoliko ih je bilo.