

Tämä tiedosto on luotu osana Erasmus+ -projektia ”Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning” (DigiPhysLab).

Lisää tietoa: www.jyu.fi/digiphyslab

Kokeellista työskentelyä akustiikan parissa

Opiskelijan versio

23.2.2023



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



Tämä työ on julkaistu lisenssillä [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Kokeellista työskentelyä akustiikan parissa

Motivaatio

Harvat meistä ovat kokeneet täydellisen hiljaisuuden, koska ääniä on kirjaimellisesti joka puolella ympärillämme. Akustiikkaan liittyvät ilmiöt ovat läsnä arkipäiväisissä tilanteissa, minkä lisäksi niistä löytyy laaja valikoima erilaisia sovelluksia aina lääketieteellisestä diagnostiikasta (kuten Doppler-ultraäänen käyttö veren virtaamisen arvoimiseksi) meille iloa tuottavaan musiikkiin asti. Tässä työssä perehdytään syvemmin joihinkin akustiikan ilmiöihin ja siihen, miten kyseisiä ilmiöitä hyödynnetään käytännössä.

Ennakkotehtävä

Asenna phyphox-sovellus puhelimeesi ja taltioi erilaisia ääniä Audio Spectrum -työkalulla Acoustics-osiossa. Tee yksi äänitys siten, että huoneessa on hiljaista. Mieti, miten voisit tulkita taltioinneista saatavia kuvaajia ja mitä tietoja niistä voidaan saada.

Välinelista

Kaksi älypuhelinta phyphox-sovelluksella, tietokone taulukkolaskentaohjelmalla, jousi tai kuminauha

Harjoitettavat kokeellisen työskentelyn taidot

Kokeen suunnittelu, datan kerääminen ja analysointi, epävarmuuksien arviointi ja laskeminen

Työn kuvaus

Ääniaaltojen interferenssi

1. Suunnitelkaa koko ryhmän yhteinen koejärjestely, jossa etsitään (luokka)huoneesta sellaiset paikat, joista löytyy äänen interferenssin lokaalit minimi. Käyttäkää phyphoxin Tone generator -työkalua äänilähteenä.

Huom: Kun phyphoxiin on asetettu toivottu taajuus äänen tuottamista varten, pitää klikata OK-nappia ennen äänen soittamista.

Yrittäkää löytää sellaiset olosuhteet (äänilähteen sijainti, taajuus, äänen voimakkuus...), joissa minimi on helppo huomata. Paikantakaa noin 10 minimiä ja ottakaa ryhmäkuva, kun ryhmäläiset seisovat minimien sijaintipaikoissa. Keskustelkaa kokeen edellytyksistä ja rajoituksista.

Erilaisten äänien taajuusspektrit

Ajan funktiona olevan äänen amplitudia koskevasta datasta voidaan Fourier-muunnosta käyttämällä saada taajuusspektri, joka näyttää meille sen, kuinka vahvasti yksittäiset eri taajuudet ovat äänessä edustettuna.

2. Taltioikaa *Audio Spectrum* -työkalua käyttämällä ääniä, joita saadaan äänihaarukalla, kahden erilaisen soittimen soittaessa samaa säveltä (esim. C3, C4 (keski-C), A4 jne.) ja paperia ruttaamalla. Ottakaa jokaisesta äänityskerrasta aluksi kuvankaappaus raakadatan

amplitudi ajan funktiona -kuvaajasta (A-t -kuvaaja) ja muodostakaa sen jälkeen spektridatasta Excel-tiedosto. Yrittäkää pitää ulkopuoliset häiriöt mahdollisimman hyvin poissa äänityksen aikana.

- a. Kuvailekaa jokaisen äänityksen (aika, amplitudi)-kuvaajia ja vertailkaa niitä keskenään. Mitä eroja huomaatte kuvaajien välillä?
 - b. Piirrä Excelissä jokaiselle äänitetylle äänelle spektrikuvaaja (voit vapaasti poistaa spektristä sellaiset osat, jotka eivät ole olennaisia analysoinnissa). Määritä jokaiselle äänelle sen perustaajuus ja arvioi sen epävarmuus.
Huom: Taajuuden epävarmuus riippuu piikin leveydestä taajuusspektrissä. Epävarmuuden voidaan arvioida olevan puolet piikin leveydestä. Usein piikit eivät ole symmetrisiä, joten epävarmuuden määrittämiseksi arvioidaan piikin keskikohdan etäisyys piikin molemmista reunoista. Etäisyyksistä suurempi on haluttu taajuuden epävarmuus. Excelissä epävarmuuden määrittämiseksi kuvaaja tehdään käyttämällä *scatter plot with smooth lines and markers* -valintaa. Kun hiiren vie kuvaajaan merkityn pisteen päälle, pisteen koordinaatit tulevat näkyviin. Pyöristäkää epävarmuus yhden merkitsevän numeron tarkkuuteen.
 - c. Määritä korkeammat harmoniset yläsävelet, kun se on mahdollista. Analysoi ja kuvaile perustaajuuden ja yläsävelien välistä suhdetta. Mitä samanlaisuuksia ja/tai eroavaisuuksia huomasit eri soittimilla soitetun saman sävelen äänten välillä?
3. Äänitä *Audio Spectrum* -työkalun raakadatavälilehdellä (*raw data*) omaa ääntäsi, kun sanot kaksi eri vokaalia. Äänitä sen jälkeen samoin myös opiskelutoverisi ääntä. Mitä yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia huomaat?

Doppler-ilmiö

Kun aaltolähde ja havainnoija liikkuvat joko toisiaan kohti tai toisistaan pois päin, havainnoijan havaitsema aallon taajuus f_d on eri, kuin aaltolähteen lähettämä taajuus f_s . Tämä taajuuden siirtymä tunnetaan Dopplerin siirtymänä, ja se voidaan esittää seuraavalla yhtälöllä:

$$f_d = f_s \frac{v \pm v_d}{v \mp v_s}, \quad (1)$$

jossa on v aallon etenemisnopeus väliaineessa, v_d on havainnoijan nopeus ja v_s on lähteen nopeus. Plus- ja miinusmerkkiihdistelmistä ($\pm$ ja $\mp$) ylempiä merkkejä käytetään havainnoijan ja lähteen lähestyessä toisiaan, ja alempia niiden etääntyessä toisistaan.

Doppler-ilmiö on ilmiö, joka kuvaa aaltoja yleisesti. Tässä työssä tutkitaan Dopplerin ilmiötä ultraääniaaltojen avulla.

4. Kiinnitä yksi puhelin jouseen (tai kuminauhaan) niin, että puhelin voi värähdellä eri amplitudeilla. Laita toinen puhelin samaan tasoon ensimmäisen puhelimen värähtelyn kanssa. Ensimmäinen puhelin tulee olemaan liikkuva, vakiotajuudella ääntä tuottava äänilähde, ja toinen puhelin taajuuden havaitsija.

Huom: Mieti, missä käytettävien puhelinten mikrofonit ja kaiuttimet ovat, ja mitkä ovat parhaat koejärjestelyn olosuhteet havaitusta taajuudesta saatavan datan keräämistä ja analysointia varten.

- a. Hahmottele luonnos, miltä oletat f - t -kuvaajan näyttävän havaitsijapuhelimen havaitsemille taajuuksille, kun lähdepuhelin värähtelee.
- b. Aseta jouseen kiinnitetty puhelin lähettämään 18 tai 19 kHz taajuuksista ääntä. Mittaa havaitsijana toimivalla puhelimella taajuutta ajan funktiona, kun lähteenä toimiva puhelin värähtelee jousen varassa. Yritä saada niin tarkasti yksiulotteinen värähtely, kuin mahdollista. Mittausohjeet löytyvät alapuolelta olevista huomioista. Vie kerätty f - t -data Exceliin. Toista mittaus vielä kahdelle muullekin värähtelyamplitudille. Puhelimen värähtelyjen amplitudeja ei tarvitse mitata, mutta huomioi, mikä mittaus vastaa korkeinta ja mikä matalinta amplitudia.
 1. **Huomio:** Audio Spectrum -työkalulla voidaan mitata taajuutta ajan funktiona. History-kaaviosta löytyy Peak Frequency -kuvaaja, jota klikkaamalla löytyy More tools -osio. Sieltä löytyy Export this dataset -valinta, jolla f - t -data voidaan viedä Excel-tiedostona.
 2. **Huomio:** Ennen kunkin mittauksen aloittamista täytyy Settings-osiossa asettaa näytteiden lukumääräksi **8 192**. Jos taajuuksia kerätään ja analysoidaan suuri määrä lyhyen ajan kuluessa, taajuuksien resoluutio on matala. Toisaalta puhelin tarvitsee enemmän aikaa datan analysointiin resoluution ollessa suuri, jolloin on suuri riski sille, että mittauksen aikana osa tärkeistä taajuuksista hypätään yli. Parhaaksi resoluution ja mittausitiheyden suhteeksi valitaan näytteiden keskimääräinen lukumäärä. Mieti, kuinka kauan mittauksen tulee kestää, jotta saadaan parhaat tulokset.
- c. Tee Excelissä jokaiselle mittaukselle taajuus-aika-kuvaaja. Voit vapaasti poistaa kuvaajasta osat, jotka eivät ole olennaisia analysoinnissa. Ovatko kuvaajat yhtäpitäviä ennusteidesi kanssa?
5. Määritä maksimitaajuus f_{max} ja minimitaajuus f_{min} jokaiselle amplitudille. Missä paikassa ja värähtelyn aikaisissa olosuhteissa nämä taajuudet mitattiin? Jos kaikki kuvaajassa olevat lokaalit minimi- ja maksimit eivät ole samoja, mikä tähän voisi olla syy?
6. Johda yhtälö tasapainoasemassa olevan puhelimen nopeudelle käyttämällä yhtälöä (1) sekä joko taajuuden f_{max} tai f_{min} yhtälöä.
7. Laske tasapainoasemassa olevan puhelimen nopeus (ja sen epävarmuus) kolmelle eri amplitudille. Äänen nopeus on $v = 343 \text{ m/s}$ ilman lämpötilassa 20°C . Ovatko tulokset yhtäpitäviä ennusteidesi kanssa?

Huom: Laske puhelimen nopeuden epävarmuus epäsuoran mittauksen yhdistettynä standardiepävarmuutena. Epävarmuudet äänen nopeudelle ilmassa ja lähetetylle taajuudelle ovat merkittävästi pienempiä kuin minimi- ja maksimitaajuuksien epävarmuudet, joten äänen nopeus ilmassa ja lähetetty taajuus voidaan olettaa vakioiksi. Määritä havaitun taajuuden epävarmuus mittalaitteen resoluution (6 Hz) avulla.

Lisätehtävä:

Valitse yksi amplitudi, jolle määrität tasapainoasemassa olevan puhelimen nopeuden, kun värähtelevä puhelin havaitsee taajuuksia ja paikallaan oleva puhelin on äänilähteenä. Vertaile tästä saatuja tuloksia vastaaviin, joita saatiin värähtelevän puhelimen ollessa äänilähteenä. Keskustelkaa tuloksistanne.

Arviointi

Voit kirjoittaa vastauksesi suoraan tähän tiedostoon.

Huom. Kirjoita ylös kaikki tulokset ja niistä tehdyt johtopäätökset. Älä unohda liittää mukaan kuvaajia löytöjesi perusteeksi. Pohdi jokaisen kokeen rajoituksia ja kuvaile kohtaamiasi vaikeuksia, jos sellaisia ilmeni.