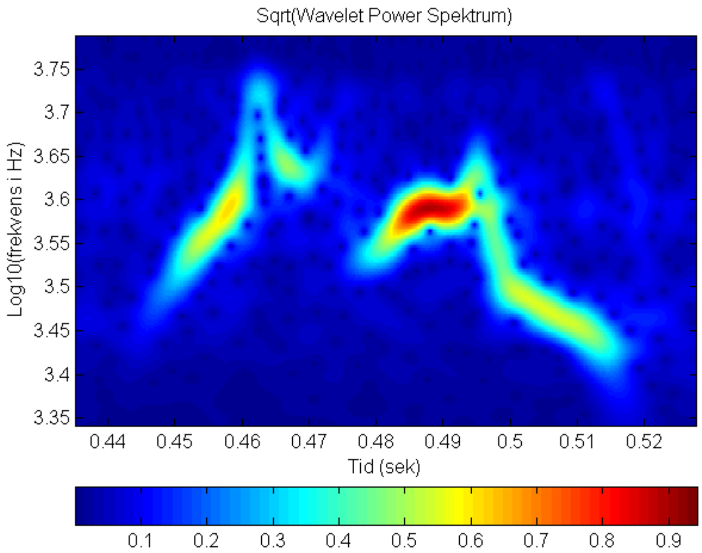

Prosjektoppgave i FYS2130

30. april - 7. mai 2012

Prosjektoppgaven består av fem deler som det går an å jobbe på parallelt en del av tiden.

- I del 1 skal vi finne ut hvordan en mekanisk svingekrets responderer på en påtrykt kraft som bare varer en kort stund. Hvordan er da resonanskurven?
- I del 2 skal vi undersøke hvor god vår hørsel er å skille lyder med litt forskjellig tone-høyde når lydpulsen blir kortere og kortere.
- Del 3 er et mellomtrinn som er en kort "gjør deg kjent med wavelettransformasjon". Her må du få et waveletprogam til å fungere og du skal teste det på ulike signaler.
- I del 4 kommer vi delvis tilbake til temaet i del 1 og 2, men nå skal du undersøke hvordan hørselen oppfatter kompliserte lydbilder.
- Sist (del 5) har vi lagt inn en oppgave for de som ennå har litt tid og energi til overs. Her skal vi syntetisere en velkjent lyd ved å ta utgangspunkt i waveletanalyse.

Vi tilbyr hjelp underveis, og det anbefales at studenter jobber litt sammen. Alle må levere sin egen besvarelse og må kjenne til tekst, figurer, programmer osv tilnærmet like godt som alle dem man har samarbeidet med ("Ingen blindpassasjerer!"). Har du samarbeidet med andre, ber vi deg oppgi dette på første siden av besvarelsen (gi kandidatnummer til dem du har samarbeidet med).

Husk at besvarelsene må leveres på ekspedisjonskontoret, og må bare påføres kandidatnummer. Du må vise legitimasjon og kvittere på en liste når du leverer.

LYKKE TIL!

Hovedlinjer

I prosjektoppgaven i år vil vi studere tidsaspekter ved tvungne svingninger, koblet opp mot vår hørsel. Oppgaven består av fem deler:

1) I første del skal vi undersøke frekvensresponsen til et svingende system som blir påvirket av en påtrykt oscillerende kraft som virker i en begrenset tid. Beregningene gjøres vha numeriske metoder (Runge-Kutta) og er på sett og vis en videreføring av oblig C. Frekvensresponsen til systemet skal sammenholdes med frekvensanalyse av kraften vs tid. Sagt på en annen måte: Hvordan ville figurer så som 1.9, 1.10 og 1.11 i kapittel 1 i læreboka sett ut dersom den påtrykte kraften bare virker en kort tid?

2) I andre del skal vi undersøke hvor nær i frekvens vi kan gå og likevel skille to enkle lyder fra hverandre med vår hørsel. Er det en sammenheng mellom evnen til å skille frekvenser og varigheten til lydpulsen vi hører? Vi må lage et dataprogram som genererer lydene som inngår i testen, og vi bruker "dobbelt blind"-prinsippet for at ikke vår forventning så lett skal kunne spille oss et puss. Når programmet fungerer, skal man benytte det for å samle inn data om egen hørsel. Utfordringen er så å forsøke å gi en forklaring på resultatene ut fra det du vet om generelle egenskaper ved svingekretser (Q-verdi, tidsoppløsning), og ut fra resultatene i del 1 av prosjektoppgaven.

3) Tredje del skal gjøre deg litt fortrolig med kontinuerlig wavelet-transformasjon basert på Morlet-wavelets. Du må analysere noen naturlige og kunstige lyder for å lære deg å optimalisere parametrene som inngår i analysen. Husk å zoome inn på detaljer i alle plot når du går ned på detaljnivå. Waveletprogrammet må du selv få til å fungere, men dersom du velger å arbeide med Matlab, kan du gjerne kopiere det siste programmet gjengitt i kapittel 13. Velger du å bruke Python, kan vi ikke tilby hjelp ved programmeringen.

4) Her blir du presentert et litt komplisert lydbilde, nærmere bestemt lyden av bokfinksang. Utgangspunktet er at mennesket har en utrolig bra hørsel, men vi har problemer med å registrere kompliserte forløp som endrer seg raskt med tiden.
Vi lytter først til en hel bokfink-strofe og blir bedt om å beskrive lyden med ord og skisser. Dernest lytter vi til bare ensartede lyder innenfor strofen, og beskriver lyden igjen med ord og skisser. Vi dukker så ned på en eneste detalj, og vil nå antakelig få med oss litt flere detaljer enn tidligere.
Selv i dette rendyrkede tilfellet legger du antakelig ikke merke til alle detaljer fordi lyden endrer seg for raskt. Vi har da laget et opplegg hvor du kan kjøre lyden i langsomt tempo uten at frekvensen endrer seg, og du kan kjøre lyden så sakte at du får med deg alle detaljer. Hvilke detaljer tok det lengst tid å oppfatte?
Er det mulig å sammenligne resultatene i del 2 med dem i del 4?

5) Her inviterer vi deg til å lage syntetisk lyd basert på waveletdiagrammene våre. Du får en velkjent lyd å ta utgangspunkt i, og du kan foreta en waveletanalyse og hente ut fra diagrammet informasjon for å lage den syntetiske lyden. Programmet for å generere lyden når du først har laget datagrunnlaget, er det samme som du brukte i siste del av del 4, så her behøver du ikke å gjøre stort av programmering.

Detaljer

Del 1

Oppgaven går her ut på å beregne hvordan en mekanisk fjærpendel kommer til å oppføre seg når den blir påvirket av en mekanisk oscillerende kraft i en begrenset tidsperiode.

Kraften skal matematisk beskrives som en gaussisk konvolutering av en ren cosinussvingning (toppunkt midt i den gaussiske konvoluteringen):

$$F(t) = F_0 * \exp(-(t-t_0)^2/\sigma^2) * \cos(\omega\ (t-t_0))$$

der t_0 er tiden kraften har sin maksimale verdi. Bredden på kraftpulsen er proporsjonal med σ (målt i tidsenheter).

Det svingende systemet skal være i ro før kraften settes inn.

MERK: Vi forventer at mange vil streve litt med å finne ut hvordan en slik kraft skal implementeres når vi bruker Runge-Kutta på lignende måte som i oblig C. Vi har ikke gitt tips om hvordan dette gjøres i dette skrivet, for du lærer mest dersom du finner ut av dette selv eller ved diskusjon med medstudenter. Dersom du ikke finner ut av det etter å ha forsøkt bortimot en times tid, er det fint om du ber om et tips slik at du ikke kaster bort for mye tid!

Det anbefales meget sterkt at du aller først lager et program som beregner og plotter tidsresponsen til det svingende systemet som følger av at det blir påvirket av en oscillerende kraft F(t) for en frekvens i nærheten av egenresonansfrekvensen til systemet. Plott også F(t), og gjerne også frekvensspekteret til kraften.

Først når disse delene går greit, kan du variere frekvensen på kraften for å finne frekvensresponsen til systemet.

Det skal gjennomføres beregninger for åtte ulike bredder på kraftpulsen (åtte ulike σ-verdier).

For hver av breddene skal *frekvensresponsen til det svingende systemet* kartlegges. Som mål for frekvensrespons velger vi å se på kvadratet av maksimalutslaget ved ulike (vinkel)frekvenser ω i kraftbeskrivelsen sentrert rundt egenresonans(vinkel)frekvensen ω_0 til det svingende systemet.

Frekvensspekteret til kraften vs tid skal også beregnes (kvadratet av absoluttverdien til den fouriertransformerte av F(t)). Det er tilstrekkelig å beregne frekvensspekteret når frekvensen til kraften er lik systemets egenresonansfrekvens.

Målet med deloppgave 1 er å finne en sammenheng mellom halvverdibredden til frekvensresponsen til systemet og halvverdibredden til frekvensspekteret til kraften når bredden σ på kraftpulsen varieres. Lag gjerne egne plot som viser sammenhengen.

Halvverdibreddene kan leses av ved å legge en linjal inntil dataskjermen og lese av, men du kan selvfølgelig også beregne verdien ved å legge til nødvendig kode i programmet.

Det blir mange og til dels tidskrevende beregninger i denne delen av prosjektoppgaven. I tillegg til frekvensresponsene ønsker vi at det gis noen plot som viser kraften F(t) sammen med frekvensresponsen til systemet for noen få utvalgte frekvenser $f = \omega/2\pi$ og bredder på kraftpulsene σ. Vi ønsker også noen få eksempler på kraften F(t) sammen med *frekvensspekteret til kraften* for noen få bredder på kraftpulsen.

Beregningene anbefales gjennomført vha Matlab eller Python programmering.

Tips til konkrete parametre som egner seg:

Du kan gjerne gjennomføre del 1 ved å velge parametre som du selv ønsker. Vi har testet ut et sett med parametre som sikrer at man får fram de variasjonene vi er ute etter. Det kan godt hende at andre sett ville være vel så bra, men her er altså noen parametre som bør fungere:

Det svingende systemet (alle størrelser gitt i SI-enheter, bare måltallene er gitt):
Fjærstivheten: k = 39.48
Loddets masse: m = 1.0e-4
Friksjons-faktor: b = 2.5132e-3
Amplituden for påtrykt kraft: F_0=1.0e-03

Ut fra disse parametrene kan vi beregne egenresonansfrekvensen og den tilsvarende periodetiden T. Egenresonansfrekvensen bør komme ut ca 100 Hz, dvs egenvinkelfrekvensen ω_0 er ca 200 π s^{-1}.

Gjennomgang av de øvrige parametre er kanskje mer til forvirring enn til hjelp i første omgang. Det kan være lurt å starte på egen programmering, slik at du ser hva du har bruk for, før du leser resten av detaljene her.

I beskrivelsen må vi følge systemet en tid:
AntallPerioder: 120
Dette tallet kan for enkelte σ gjerne være mindre, f.eks. ned i halvparten, mens for den største σ-verdien bør man kanskje opp i 250.

For å få en god tidsoppløsningen for beskrivelsen kan vi f.eks. velge 128 eller 256 punkt pr periode T:
n_pr_T: 128 eller 256

Tidspunkt der påtrykt kraft skal ha max verdi: t_{Topp} = 0.40 (underforstått 0.40 s).
Dette tidspunktet må justeres alt etter hvor mange perioder man har med i beskrivelsen og ut fra valgte bredde σ på kraftpulsen. Vi ønsker at den vesentligste delen av kraftpulsen ligger innenfor det totale tidsvinduet vi behandler, og at det meste av responsen fra det svingende systemet også faller innenfor dette tidsvinduet.

"Bredde" (i tidsenheter) for når omhyllingen for påtrykt kraft har sunket til 1/e av max amplitude-verdi:
σ : 0.00625, 0.0125, 0.025, 0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 1.0
Det kan være ok å starte med 0.025 i uttestingen.

Når man skal finne frekvensresponsen til systemet, må man velge en del frekvenser ω symmetrisk rundt systemets egenresonans(vinkel)frekvens ω_0. Som utgangspunkt kan man f.eks. velge 31 frekvenser i intervallet
[(1-r) ω_0, (1+r) ω_0]
hvor r = 0.3. Andre verdier for r kan være en fordel for de mest ekstreme verdiene for σ. Pass på at egenresonans(vinkel)frekvensen til systemet er identisk med midtre ω-verdi.

Del 2

I denne delen av prosjektoppgaven skal du lage et dataprogram hvor du kan generere lyd med en matematisk signatur lignende den vi brukte i den tidsavhengige kraften i del 1 (gaussisk konvolutering av en ren cosinus). Lyden skal kunne lyttes til gjennom en høretelefon.

Du skal lett kunne skifte mellom å la senterfrekvensen være en satt frekvens f_0, eller en frekvens lik senterfrekvensen pluss (eller minus) en liten frekvensforskjell Δf.

Bredden på lydpulsene (i antall sekunder) må også kunne settes. Matematisk skal amplituden til lyden vi genererer være:

$$A(t) = A_0 * \exp(-(t-t_0)^2/\sigma^2) * \cos(\omega\,(t-t_0))$$

hvor σ er halve bredden på pulsen (til amplituden av konvoluteringen bare er 1/e av maksimumsverdien) og ω er vinkelfrekvensen på den underliggende cosinusfunksjonen.

Vi skal teste hvorvidt vi hører forskjell mellom to lyder med nærliggende frekvens. I slike tester er det helt essensielt at forsøkspersonen ikke aner om de to lydene som blir presentert, virkelig er forskjellige eller ikke. Personen må notere sin oppfatning, og først i ettertid må man sjekke personens oppfatninger mot hvilke lyder som han/hun faktisk fikk seg forelagt. Dette er en vesentlig del i såkalt dobbelt blind prosedyre.

Det må derfor lages et program hvor man etter tur presenterer to lyder for forsøkspersonen, der første lydpuls alltid har senterfrekvensen f_0, og den andre iblant har senterfrekvensen f_0 eller litt over (eller litt under) senterfrekvensen $f_0 + \Delta f$. Det skal være like stor sannsynlighet for lik frekvens som forskjellig frekvens i et lydpar, men hvorvidt det er lik eller forskjellig frekvens skal være vilkårlig.

Det skal være et passe mellomrom mellom de to lydene i hvert lydpar. Det må deretter være litt tid slik at forsøkspersonen kan skrive ned hvorvidt hun/han syntes det var forskjell i lyden (1) eller ikke (0). Deretter kommer neste lydpar. Etter ti lydpar er spilt av, skal programmet skrive til skjerm den rekkefølgen som faktisk forekom.

Det foretas så en sammenligning mellom personens registrering og de faktiske lydbildene som datamaskinen genererte. For å slippe å gå inn på alt for mye statistikk, velger vi å si at personen hører frekvensforskjellen Δf dersom minst åtte av de ti forsøkene slo til korrekt. Det kan hende at man ønsker å kjøre to runder hver på ti lydpar, for å trekke en rimelig sikker slutning.

Ved hjelp av denne teknikken skal man gjøre følgende:

For minst to senterfrekvenser skal man bestemme hvor god frekvensoppløsning man har, for en rekke ulike lengder på lydpulsene.

Målet med deloppgave 2 er altså å kartlegge sammenhengen mellom vår evne til å skille lyder med nærliggende tonehøyder - og - halvverdibredden til lydpulsene vi får høre. Denne sammenhengen skal finnes for minst to tonehøyder. ”Bredden” σ på lydpulsene skal varieres over et angitt område.

Får du resultater som stemmer godt med generell kunnskap om svingekretser og med resultatene fra deloppgave 1? Kommentér resultatene og kom gjerne med hypoteser som kan forklare det du ser.

Tips til konkrete parametre som egner seg:

Du kan gjerne gjennomføre del 2 ved å velge parametre som du selv ønsker. Vi har testet ut et sett med parametre som synes å egne seg:

La hver lydpar strekke seg over 2 s. Første lydpuls har maksimalverdi ved 0.5 s og strekker seg over intervallet 0-1 s. Andre lydpuls strekker seg over intervallet 1-2 s og har sin maksimale verdi ved 1.5 s.

Det er nok med ca 0.7 s pause mellom et lydpar og det neste. Det er greit å ha ca 3 s fra det tidende lydparet til at maskinen skriver ut rekkefølgen av hva slags lydpar som faktisk ble brukt (1: forskjellig frekvens, 0: samme frekvens).

Vi anbefaler at det brukes minst to av følgende fire senterfrekvenser (100 Hz, 500 Hz, 2 kHz og 6 kHz) når man skal bestemme hvor god frekvensoppløsning man har. Start gjerne ut med en Δf = 20 eller 50 Hz og bestem så om du må øke eller redusere Δf for å finne minste verdi som må til for at du kan høre forskjell på lyden med senterfrekvens $f_0 + \Delta f$ sammenlignet med f_0.

Bruk en rekke lengder på lydpulsene, f.eks. ved etter tur å velge: σ = 0.4, 0.2, 0.1, 0.05, 0.025, 0.0125, 0.006 s (evt. 0.003 s i noen få situasjoner om ønskelig).

Pass på at du ikke bruker mer enn noen få minutter for hver kombinasjon av Δf og σ når du har kommet ordentlig i gang. Vi har ikke tid til å være pinlig nøyaktige.

Programmeringsteknisk kan vi gi følgende tips:

Vi kan lage en lyd for avspilling ved f.eks. følgende kode:

```
Fs = 44100;  % Samplingsfrekvens for CD lyd
t = linspace(0,2,Fs*2);   % Genererer tidsstrengen, 2 s
f0 = 600.0;  % Frekvensen
a = 1.5*sin(2.0*pi*f0*t);  % Amplituden A(t)
playerobj=audioplayer(a,Fs);
playblocking(playerobj)
pause(3.0);
```

For å hente ut tilfeldige tall med like stor sannsynlighet i intervallet 0-1, kan funksjonen *rand* brukes:

```
r = rand;
```

Tips til vurderinger som med fordel kan gjøres av resultatene:

Som vist i kapittel 1 i læreboka er det en sammenheng mellom Q-verdi og "frekvensoppløsning" til en svingekrets. Denne sammenhengen har nære analogier til Heisenbergs uskarphetsrelasjon. I læreboka har jeg (Arnt Inge) gitt noen kommentarer mhp menneskets hørsel basert på denne sammenhengen.

Er resultatene du selv kom fram til i vår prosjektoppgave i overensstemmelse med en slik oppfatning?

Dersom du finner at resultatet ditt "stemmer overens med Heisenberg" (for å si det litt upresist), er det fint om du begrunner at det faktisk er en overensstemmelse.

Dersom resultatet ditt ikke "stemmer overens med Heisenberg", er det fint om du forsøker å finne en mulig forklaring på det du faktisk observerer (gjerne ved å benytte resultatene fra del 1).

Merk: Det kan hende at ulike studenter kommer til ulik konklusjon, for ikke alle har samme evne til å skille mellom nærliggende tonehøyder.

Del 3

Her skal du analysere ulike lydfiler ved hjelp av kontinuerlig wavelettransformasjon med Morlet wavelets. Du kan ta utgangspunkt i Matlab-programmet gjengitt sist i kapittel 13, eller du kan lage ditt eget fra bunnen av, f.eks. i Python.

For hver lydfil skal du lage et plot for tidssignalet, fourierspekteret og det wavelettransformerte signalet i en eller annen variant (heretter kalt x(t), X(f) og wt(t,f) henholdsvis), men det er ikke opplagt at alle disse skal være med i besvarelsen din. Plukk ut et skjønsomt utvalg for å få frem det du ønsker å vise, og spar leseren for plot som egentlig ikke har stor verdi. Plukk ut/zoome inn på interessante detaljer fra de opprinnelige plottene når det er formålstjenlig,

Generelt sett er en utfordring når vi jobber med wavelettransformasjon å plukke ut en passe stor lydsekvens, velge et egnet frekvensintervall for analysen, velge "passe" bølgetallparameter *K*, og velge presentasjonsform (intensitet, absoluttverdier av amplituder, eller f.eks. kvadratroten av disse).

Det er ulike detaljer som adresseres ved de ulike lydfilene. Nærmere beskrivelse er gitt nedenfor.

Konkrete detaljer vi ber deg undersøke:

3.1 Kattugle3.wav-filen

(bruk 2^18 punkter i analysen)

Undersøk den wavelettransformerte av signalet og finn en K-verdi som gir en rimelig god skarphet både med hensyn til tid og frekvens. Nevn hvilke parametre du faktisk velger for K, samt laveste og høyeste analysefrekvens. Det samme gjelder for alle senere deloppgaver i del 3.

Sjekk hvordan waveletdiagrammene kommer ut ved tre ulike presentasjonsformer (intensitet $wt^2(t,f)$, absoluttverdier |wt(t)|, eller kvadratroten sqrt(|wt(t)|)). Hvilken form synes du gir mest informasjon når vi betrakter resultatet på vanlig vis i et plot der farger brukes for å angi wavelettransform-verdier?

Du vil forhåpentligvis se harmoniske av grunntonen i minst ett av disse diagrammene. Hvilken avstand har de harmoniske i forhold til hverandre (forskjeller i logaritmeverdier) når frekvensaksen er gitt i logaritmisk skala (log10)?

3.2 AM.wav-filen

(bruk 2^17 punkter i analysen)

Undersøk det wavelettransformerte signalet for en del K-verdier mellom 12 og 120. Zoom inn både i tidssignalet, fourierspekteret og det wavelettransformerte signalet for å se på detaljer. Kan du forklare det du observerer? Er det sammenheng mellom detaljer i tids- og frekvensbildet?

3.3 TilElise.wav- og midtsommernatt.wav-filene

(bruk først 2^17 punkter i analysen, men juster gjerne startpunktet for å slippe mye dødtid først)

I dette tilfellet ønsker vi at du bruker en lav K-verdi (mellom 6 og 24) for å få fram detaljer i tid på en god måte.

Vi har tidligere fortalt at lyden til et instrument slett ikke bare er bestemt ut fra frekvensspekteret alene. Gjennom fouriertransformasjon får vi fram frekvensspekteret, og det viser mer eller mindre overtoner. Men vesentlig for lydbildet er også hvordan lyden starter, varer ved, og avtar mot null når tonen avsluttes. Dette får vi et innblikk i når wavelettransformasjon brukes.

Vis eksempler på forskjeller i lydbildet for piano og fløyte, bedømt vha wavelettransformasjon, og beskriv med ord hva forskjellene går ut på.

3.4 Svarttrost2.wav-filen
(bruk først 2^18 punkter i analysen, men kan så gjerne velge noe annet for å få fram detaljer bedre) I dette tilfellet ber vi deg identifisere et parti i sangen som har likheter med hva du observerte for lyden i 3.2.

Finn også fram til et parti (i siste del av den første analysen av denne lyden) hvor kvitrelyden (bedømt ut fra kvadratroten til |wt(t,f)|) varierer på en temmelig komplisert måte. Klarer du å følge variasjonen i tonehøyde ved å lytte til lyden? Forsøk å velge utsnitt og parametre for waveletanalysen slik at waveletdiagrammet beskriver denne lydsnutten så godt som mulig.

Del 4

I denne deloppgaven skal du IKKE bruke waveletprogrammet før i siste del. Du skal rett og slett plotte verken tidsbildet, frekvensbildet eller den wavelettransformerte av signalet i første del.

Du skal i stedet etter tur lytte til en del lydfiler av en bokfink, og skrive ned det du oppfatter av lyden i hvert enkelt tilfelle. Forsøk å forklare med ord hvordan lyden er, og bruk gjerne en skisse for å få fram hvordan du tror tonehøyden og intensiteten endrer seg med tiden der du føler du får en viss oppfatning av dette.

Lytt til lydfilene direkte vha et avspillingsprogram (f.eks. MediaPlayer). Dette kommer ofte opp av seg selv dersom du dobbeltklikker på filnavnet (etter at du har lastet ned filen til din maskin).

Filene er:
bokfink1.wav : En hel bokfinkstrofe.
bokfink1A.wav : Første del, består av flere nær identiske lyddetaljer.
bokfink1B.wav : Andre del, består av flere nær identiske lyddetaljer, forskjellig fra A.
bokfink1C.wav : Tredje del, består av flere nær identiske lyddetaljer, forskjellig fra A og B.
bokfink1D.wav : Fjerde del, består av en eneste lyddetalj, forskjellig fra A, B og C.
bokfink1C3.wav: En av fire nær identiske detaljer i bokfink1C.wav.

Vi tar ikke med de siste få detaljene i den totale strofen.

Sjansene er store for at du har følt litt frustrasjon da du skulle beskrive lydene, for hørselen vår og hjernen har ganske begrenset kapasitet til å registrere raske endringer i sanseinntrykk. En viktig grunn til dette er at nervesignaler sender signaler ved hjelp av pulser, og pulser kan stort sett ikke sendes oftere gjennom en nervefiber enn én puls hvert millisekund (1000 pulser per sekund). For å signalere at noe endrer seg, må det derfor gå flere millisekunder før endringen oppdages.

Dette er en av grunnene til at vi prinsipielt ikke kan holde orden på fasen til lyd som har frekvens over noen få hundre hertz.

Det er nå på tide å sammenligne lydene du oppfattet med detaljer som kommer fram i waveletanalysen. Du kan gjerne analysere alle bokfink-filene, men viktigst er egentlig bokfink1.wav og bokfink1C3.wav. Hadde du oppfattet at detaljene i bokfink1C3 var slik som de faktisk var? I alle aspekter?

Du kan nå lytte til bokfink1C3 med et program *interpolF7.m* hvor vi har laget en syntetisk versjon av detaljen i bokfink1C3.wav. Parametrene som danner grunnlaget for den syntetiske lyden er gitt i tekstfilen bokfink1C3.txt. I programmet *interpolF7.m* kan du spille av lyden i et annet tempo enn det opprinnelige, uten at frekvensen endrer seg nevneverdig.

Parameteren *tidsForlengelse* = 1.0 svarer til at lyden spilles av i samme hastighet som opprinnelig, 0.5 svarer til at lyden går dobbelt så fort, og 2.0 halvparten så fort. Vurder hvilken verdi *tidsForlengelse* må ha på for å merke den korte lydpulsen før de to kraftigste lydene. Vurder også hvilken verdi *tidsForlengelse* må ha for at du skal merke at lyden forsvinner helt mellom de to kraftigste partiene.

Drøfting

Forsøk til slutt å beregne "hvor mye frekvensen endrer seg per sekund" i den første av de kraftige partiene i bokfink1C3.wav.

Fra del 2 har du funnet et mål for hvor mye frekvensen måtte være forskjellig for å oppfatte at lydene var forskjellige ved ulike lengder på lydpulsene. Ut fra disse dataene kan du beregne "forskjell i frekvens dividert på lydpulsens lengde".

De to størrelsene er ikke direkte sammenlignbare, men kunne tenkes å ha litt med hverandre å gjøre. Impliserer dataene fra del 2 at vi lett skulle oppfatte frekvensendringen i bokfink1C3.wav, eller impliserer de motsatt konklusjon? Er det samsvar mellom disse vurderingene og det du opplevde i praksis da du lyttet til disse lydene?

Del 5

Waveletdiagrammene er et utmerket utgangspunkt dersom vi skal lage syntetiske lyder, slik vi gjorde for en detalj i bokfinksangen i forrige deloppgave.

Dersom du har tid, initiativ og kreativitet til overs, kan du forsøke å lage en datafil som beskriver en interessant lyd. Som en bonus kan du også kjøre lyden i ulikt tempo ved å bruke samme program som i forrige deloppgave. Du får da en trening i hvordan du selv kan ekstrahere kvantitativ informasjon ut av et waveletdiagram, og du får litt trening i hvordan datapunkter i en slik sammenheng bør velges for at beskrivelsen skal bli både effektiv og "rimelig nøyaktig".

På websiden vår blir det torsdag 2. mai lagt ut en fil som illustrerer hvordan man kan ekstrahere dataene fra et waveletdiagram for å lage en syntetisk lyd med samme karakteristika som den opprinnelige.

MERK: *Filen blir bare lagt ut dersom arbeidet med de øvrige oppgavene går etter planen. Dersom det dukker opp noe uforutsett som forsinker arbeidet, er det mulig at del 5 går ut. Dersom så skjer, blir det lagt ut beskjed om dette under "Beskjeder" i løpet av torsdagen.*

Dette er siste side i prosjektoppgaven!
Lykke til med arbeidet!