

Matlab 3 – Forensisk ljudanalys

En viktig uppgift för en ljudforensiker är att bearbeta ljudinspelningar för att få fram så bra hörbarhet som möjligt, samt att testa äktheten i en ljudinspelning. Ytterligare arbetsuppgifter är att ge en bedömning av vad det är som hörs på en inspelning, exempelvis ett pistolskott eller en fyrverkeripjäs. Ljudforensikern lämnar sedan en bedömning om ljudet som beaktas i en rättsprocess. Det är då juristernas och juryns uppgift att ta ställning till och värdera rimligheten av forensikerns rådgivande bedömning. Till sin hjälp har forensikern en uppsättning hård- och mjukvara, som filter och förstärkare även om mer och mer av arbetet sker i ljudbearbetningsmjukvara (exempelvis Wavelab).

Läs mer här:

<https://nfc.polisen.se/kriminalteknik/informationsteknik/ljud-som-avslojar-brottslingar/>

Inför laborationen

Ni ska lyssna på ljudfil ("forensisktljud.wav") och 1) förbättra hörbarheten samt 2) göra en äkthetsundersökning. Detta ska ni utföra i Matlab i två steg. Gör hörbarhetsförbättring och äkthetsundersökningen separat och oberoende av varandra. Utgå från originalljudet i båda fallen. Matlab är egentligen inte det mest lämpade eller bekväma verktyget för denna uppgift, men genom Matlab har ni full kontroll att utföra de vanligaste teknikerna som används i en ljudforensikers arbete.

Ljudfilen är en "dialog" där jag skulle köpa in utrustning. Säljaren spelade in samtalet på mobiltelefon som gömdes i fickan, och använde sedan denna inspelning som bevisning mot mig som köpare.

Förberedelse – 1. Lyssna igenom ljudfilen

Börja med att lyssna igenom ljudfilen och gör en första enkel analys. Jag erkänner att jag inte är någon vidare röstskådis, men kanske kan ni ändå höra ställen som låter konstigt och där en manipulation av inspelningen kan ha gjorts. Läs också igenom länken ovan.

Förberedelse – 2. Läs kompendiet och gör två strategier

Läs igen kompendiet för att få lite tips om olika verktyg som ni kan använda. Gör sedan en strategi där ni funderar över vilka verktyg (av de som presenteras i detta dokument) som passar till vilken undersökning och fokusera sedan på att göra en undersökning i taget.

Exempelvis, letar ni efter klippredigeringar av ljudet kan ni titta på förändringar av brusnivån och då kan det vara bra att filtrera bort allt annat onödigt. Ni kan också studera förändringar i DC-offseten och då kan det underlätta att jämföra en kort bit före med en kort bit efter det ställe där ni misstänker att klippet har gjorts. Det kan också finnas en förändring i fasen i ett jordbrum som kan finnas med i inspelningen. Jordbrummet ligger i 50Hz och därför är det bra att filtrera bort alla andra frekvenser som kan störa och påverka denna jämförelse.

Detta dokument...

...innehåller ett antal olika verktyg, tips och tricks, men inget färdigt recept på hur uppgifterna ska lösas. Ordningen som verktygen presenteras i är inte nödvändigtvis i den ordning som ni bäst applicerar dem på ljudet. Därför behöver ni göra en strategi innan ni påbörjar arbetet, och vara beredda på att ändra och uppdatera er strategi under arbetets gång.

Lyssna på bitar av ljudet

Ni lyssnar smartast igenom hela ljudet ett par gånger. Ta tiden och gör anteckningar när ni hör något som låter skumt eller när hörbarheten är för dålig. Sedan arbetar ni nog enklast med korta delar av ljudet. Om y är hela ljudet och ni vill bearbeta 3 sekunder in och till 7 sekunder kan ni använda $y(3*Fs:7*Fs)$. Döp den nya ljuddelen till något smart (ni vet, tänk bra och smarta och tydliga variabelnamn) så att ni kommer ihåg vilken ljuddel eller vilken bearbetning ni tänker göra med ljudet.

Titta på ljudet

Ett andra steg är att titta på ljudet. Studera hela ljudet och de enskilda delarna, det är möjligt att ni ser något skumt som ni inte hörde. Med `plot(y)`; plottar ni hela ljudet och visar vågformen. Det kan tyckas vara lite för enkelt att bara studera vågformen av ett ljud, men detta kan avslöja exempelvis avbrott i en vågform, eller avvikande DC-offset.

Ett annat, och kanske mer användbart sätt att visa en vågform är som tidigare visats med ett spektrogram (`spectrogram(y,window,noverlap,nfft)`).

Ett annat sätt att visualisera ett ljud är genom att visa ljudenergin i varje frekvens. Detta görs genom att göra fft av ljudet (y), med `variabelNamn = fft(y,n)`. Där n är längden på transformen ni vill göra. Längden ska vara en jämn tvåpotens eftersom fft'n är definierad för jämn tvåpotens, och ni gör detta med `pow2` och `nextpow2`.

```
m = length(y);
n = pow2(nextpow2(m));
variabelNamn = fft(y,n);
```

Powern beräknas sedan genom att multiplicera `variabelNamn` med `variabelNamn` dividerat med längden på ljudet, enligt:

```
power = variabelNamn.*conj(variabelNamn)/n;
```

Ni använder `conj` för att returnera konjugatet av divisionen. Beloppet i kvadrat av ett komplext tal är lika med talet gånger sitt konjugat därför att $(x + iy)(x - iy) = x^2 - i^2 * y^2 = x^2 + y^2$ (konjugatregeln).

Därefter kan powern plottas med `loglog`. I `loglog(X1,Y1,...)` plottas alla Y_n mot alla X_n , därför ska en vektor skapas som `power` ska plottas mot som är lika lång som n och som är anpassad till samplingsfrekvensen (F_s).

```
f = (0:n-1)*(Fs/n);
loglog(f,power);
```

Som alltid när saker visualiseras i Matlab kan `ylim` och `xlim` användas för att minska och anpassa vad som visas. Det kan också vara bra att lägga till `ylabel` respektive `xlabel` för att förtydliga visualiseringen. Om ni vill snygga till det ytterligare kan `title` användas för att sätta en rubrik.

```
xlim([1,20000]);
ylabel('Power');
xlabel('Frekvens (Hz)');
title('Effektspektrum av ljudet');
```

Använd ovanstående visualiseringsmetoder för att studera ljudet, eller delarna av ljudet, före och efter olika åtgärder som ni utför på ljudet, för att se om olika mönster uppstår som kan underlätta arbetet.

Förstärka och komprimera förloppet

Det finns olika sätt att minska dynamiken, de enkla sätten innebär att distorsion tillförs men

att medelvolympen på ljudet blir jämnare. Trots att distorsion tillförs kan ibland hörbarheten öka. Limitering är detsamma som kompression av det dynamiska förloppet, men där kompressionsförhållandet är mycket högt. Det innebär att en limiter dämpar alla signaler ovanför tröskelvärdet till samma ljudnivå ut. Om ljudet sedan förstärks efter limiteringen nås en hög medelamplitud på ljudet vilket leder till god hörbarhet. Dock är fin kompression av det dynamiska förloppet lite för omfattande att implementera i Matlab för denna laboration, men här kommer två enkla förslag som antingen expanderar eller komprimerar ljudnivån.

Med hjälp av `for`-loopar kan ni enkelt göra beräkningar enskilt på varje samplevärde, som expansion och kompression av det dynamiska omfånget. Se tidigare Matlab-laboration. Testa dessa två arbetssätt, och så rekommenderar jag att ni arbetar med både förstärkning av ljudnivån samt förändring av det dynamiska omfånget efter att ni har filtrerat bort oönskade frekvenser från signalen. Eventuellt bör ni göra detta i flera steg, filtrera, förstärka, filtrera igen och expandera ljudet, osv. Testa er fram hur ni når bästa resultat.

Filtrera för hörbarhet och äkthetsundersökning

Genom att använda filter, eller kombinationer av filter, går det att dämpa oönskade ljud och därigenom förbättra hörbarheten och underlätta äkthetsundersökning. Användbart är LPF, HPF, BPF och SBF (stopbandsfilter/notch). Använd `butter` och bestäm brytfrekvenser och branthet utifrån de visualiseringar av signalen ni har gjort och granskat. För att studera enskilt frekvensinnehåll i en signal kan det vara bra att filtrera bort information som för tillfället inte används eller behövs, och därigenom få en tydligare bild av ljudet.

Brusreducering av ljudet

Hörbarheten kan förbättras om ljudet är mindre brusigt. Detta kan dock innebära att viktig information som är nödvändiga för äkthetsundersökningen försvinner. Därför är det viktigt att alltid spara originalvektorn med ljudet. Ett sätt att minska mängden hörbart brus är förstås med ett lågpassfilter som dämpar de frekvenser där bruset är som mest störande.

Ett annat sätt är med ett Savitzky-Golay glidande polynomialfilter. Savitzky-Golay-filtret är ett (digitalt) filter som kan appliceras på en uppsättning datapunkter för att utjämna datan. Filtret ökar signal-brusförhållandet utan att väsentligt förvränga signalen. I Matlab används `x = sgolayfilt(y,order,framelen)`, där `y` är signalen, `order` sätter polynomialordningen (som måste vara mindre än fönsterbredden) och `framelen` är fönsterbredden (som måste vara ett udda tal). Om `order = framelen-1` sker ingen utjämning. Prova att börja med en `order` på 3 och en `framelen` på 27 och experimentera er sedan fram för bästa resultat.

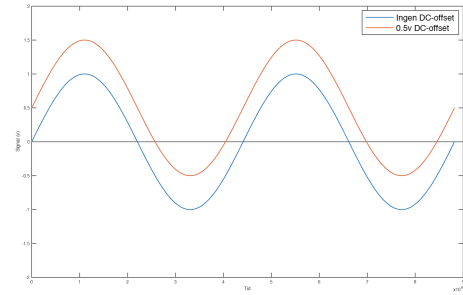
Gör mono av ljudet

Ett sätt att avlägsna ljud från en inspelning är att göra om en stereosignal till mono. Ljud som är fasvända mot varandra dämpas ut om de två kanalerna summeras. Det som är kvar är ljudinformation som är i fas, och dessa ljud förstärks vid summeringen. Vid ett stereoljud (`y`), ger `y(:,1)` vänster kanal. Om den ena kanalen i stället fasvänds innan summering, dämpas signaler som är i fas i stereoljudet. Fasvändning görs enkelt med `y=y.*-1;`

Kontroll av DC-offset

Vid ljudinspelning är DC-offset en oönskad egenskap i det inspelade ljudet. Fenomenet orsakas av dålig, trasig och lågkvalitativ utrustning. DC-offseten är en förskjutning av DC-nivån i en signal, där signalen inte längre svänger runt 0 utan ovanför eller nedanför 0-nivån.

Detta orsakar några olika problem i själva ljudåtergivningen, att ljudet klipps innan maxnivån i vågformen nås eller så skapas en lågfrekvensförvrängning av ljudet. Om DC-offseten (plötsligt) ändras i en inspelad signal kan detta bero på att signalen är en sammansättning av två, eller flera, inspelningar som troligtvis gjorts vid olika tillfällen på olika utrustning.



Kontroll av ljudbrum

Jordbrum är en sinuston på 50Hz. Jordbrum kan uppstå på grund av dålig isolering av elektronisk utrustning, eller på grund av störningar från exempelvis lysrör. I Europa har vi 50Hz AC 230V, i Amerika är det i stället 60Hz. I Sverige loggas frekvensen i nätspänningen (ENF), och kan användas av berörd myndighet för att bedöma huruvida en inspelning är gjord ett visst datum eller vid en viss tidpunkt, då fluktuationerna i 50Hz elnätet kan överensstämma eller skilja sig åt jämfört med den AC-signal (jordbrum) som kan finnas i en inspelning. Vanligtvis är jordbrummet en svag signal, men då den ligger kring en fast frekvens är det tämligen enkelt att isolera den och förstärka den. Tydliga brott i signalens vågform, eller okaraktäristiska förändringar i frekvensen kan tyda på manipulation av en inspelad signal.

Kontroll av förändringar i brusinnehållet

Brusinnehållet i en inspelning kan vara svår att kontrollera. Brus innehåller ju alla frekvenser i slumpartad ordning. Därför visas inte ett brott i en brussignal lika tydligt som i en annan mer regelbunden signal. Däremot kan plötsliga nivåförändringar eller frekvensförändringar i brusinnehållet vara tecken på manipulation av en inspelning.

Bedömning av rösten

Vid granskande av en möjlig förfalskning bedöms också rösten. Men, detta kan vara svårt att bedöma eftersom personens normala uttryckssätt och språkliga melodi inte alltid är känd. Ett enkelt sätt för en förfalskare att undvika att låta som en dålig röstbrevlåda ("DU har, 4, nya MEDELANDEN") är att ta om hela meningen där ett eller ett par ord ska bytas ut. Då blir rytmen och melodin naturlig och låter bra. I stället krävs oftast ljudtekniska granskningar för att kunna ge en bedömning om vad som sägs/kan ha sagts, och om inspelningen är manipulerad eller inte, dvs äkthetsbedömning.

Att undersöka och reflektera kring

Två (viktiga) delar av dialogen försvinner, vad behövs köpas in och vad säger säljaren att dessa apparater är?

Vilka verktyg använde ni för hörbarhetsförbättringen?

Varför valde ni och använde ni dessa verktyg?

Vilka redigeringar i ljudfilen hittar ni?

Vad utmärkte dessa?

Vidare läsning

Wikipedia om DC-Offset

https://en.wikipedia.org/wiki/DC_bias

Wikipedia om jordbrum, mains hum (tänk på att det är en amerikansk artikel):

https://en.wikipedia.org/wiki/Mains_hum

Wikipedia om fasutsläckning

[https://en.wikipedia.org/wiki/Interference_\(wave_propagation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Interference_(wave_propagation))

Wikipedia om stoppbandfilter/notchfilter

https://en.wikipedia.org/wiki/Band-stop_filter

<https://en.wikipedia.org/wiki/Stopband>

Wikipedia om kompression/limitering

https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_range_compression

Wikipedia om brusreducering

https://en.wikipedia.org/wiki/Noise_reduction

Sound on Sound om brusreducering

<https://www.soundonsound.com/techniques/noise-reduction-tools-techniques>

Wikipedia om Savitzky-Golay glidande polynomialfilter

https://en.wikipedia.org/wiki/Savitzky%E2%80%93Golay_filter

Wikipedia om faltning

<https://en.wikipedia.org/wiki/Convolution>

<https://sv.wikipedia.org/wiki/Faltning>

Wikipedia om konjugat

[https://sv.wikipedia.org/wiki/Konjugat_\(algebra\)](https://sv.wikipedia.org/wiki/Konjugat_(algebra))