

Dokončenie príkladu z minula:

Takže to zhrňme pre prípad LDKI:

- majme $f_{vz} = 44100\text{Hz}$ (ako pri CD), navzorkujme harmonický signal 440Hz, ktorý má 10 sekúnd.

Aká prenosová funkcia zadrží uvedenú frekvenciu?

$$\Omega_0 = \frac{2\pi f}{f_{vz}} = \frac{2\pi 440}{44100}, z_0 = e^{j\Omega_0}, H(z) = 1 - z^{-1}z_0 \Rightarrow h(n) = (1, z_0)$$

Aby takéto $h(n)$ nevyrábalo komplexné $y(n) = x(n) * h(h)$, pridáme ešte jednu nulu a to pri $-\Omega_0$. To má za následok $H(z) = (1 - z^{-1}z_0)(1 - z^{-1}\bar{z}_0) = 1 - 2z^{-1}\text{Re}\{z_0\} + z^{-2} \Rightarrow h(n) = (1, -2\text{Re}\{z_0\}, 1)$.

Ako by to bolo s použitím FFT?

- Pri FFT máme 440Hz signal, ak trvá 10 sekund, potom má 441000 vzoriek.
- Takže Prvý spektrálny koeficient odpovedá JSM zložke, ďalší frekvencii 0.1 Hz
 - máme šťastie, 440Hz je násobkom čísla 0.1 takže frekvencia 440 Hz bude vyjadrená len váhovaním dvoch protichodne točiacich sa „špirál“
 - keby sme šťastie nemali, tak je signál „roztečený“ medzi viacerými spektrálnymi hodnotami.
 - takže:
 - Frekvencii 440Hz odpovedá koeficient 4400+1 (V matlabe sa čísluje od 1).
 - Vynulujeme koeficient od 4401 začiatku a ešte aj od konca spektra.
- Ako to vyzerá v matlabe? (ďalší slide)

<pre> clear all;close all; fvz=44100; f=440; N=10; x=0:1:N*fvz-1; noise=rand(1,N*fvz); t=x/fvz; val=cos(2*pi*t*f)+noise; plot(noise(1:1000)); sp=fft(val); spsel=sp(f*N+1); spsel2=sp(N*(fvz-f)+1); sp(N*(fvz-f)+1)=0; sp(f*N+1)=0; val2=ifft(sp); figure; plot(val2(1:1000)); MSE=sum((val2-noise).*(val2-noise))/(N*fvz); soundsc(val, 44100); display("hram sum+f signal, stlac klavesu"); pause; soundsc(val2, 44100);display("hram filtrovany sum+f signal"); </pre>	Sčítame harmonický signal so šumom, harmonický signal následne odstránime manipuláciou v spektre. Najprv si vypočujeme zašumený signal, potom ostáva iba šum, harmonický signal je odfiltrovaný preč.
<pre> clear all;close all; fvz=44100; f=440; N=10; myz0=exp(i*2*pi*f/fvz); my_hn=[1 -2*real(myz0) 1]; x=0:1:N*fvz-1; t=x/fvz; noise=rand(1,N*fvz); val=cos(2*pi*t*f)+noise; cval=conv(val,my_hn); plot(cval(3:100)); sum(cval.*cval)/(N*fvz); soundsc(val, 44100); display("hram sum+f signal, stlac klavesu"); pause; soundsc(cval, 44100);display("hram filtrovany sum+f signal"); </pre>	Sčítame harmonický signal so šumom, harmonický signal následne odstránime konvolúciou. Najprv si vypočujeme zašumený signal, potom ostáva iba šum, harmonický signal je odfiltrovaný preč.

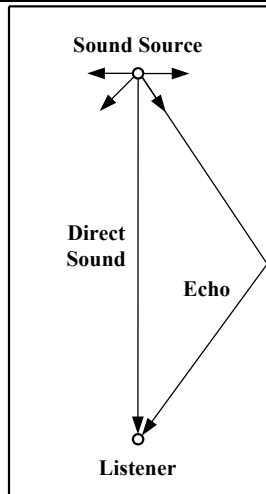
[01_MATLAB, pokus1, 2]

Matlab filtrácia

- pomocou conv – dá sa použiť priamo iba pre FIR/KIO filtre
- pomocou „filter“ – dá sa použiť pre FIR aj IIR / KIO aj NIO filtre

Echo [01_MATLAB, pokus3]

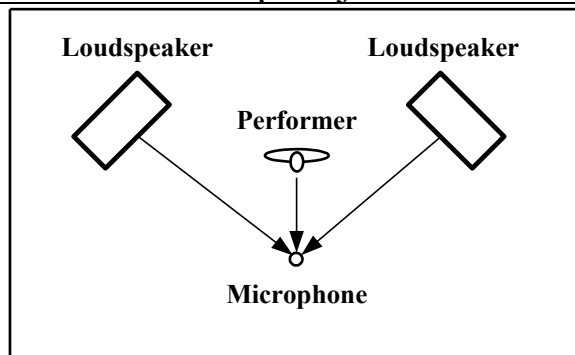
Echo sa šíri jedným resp niekoľkými (zopár) odrazmi



```
[y, Fs] = audioread('auda_say1-10_44khz.wav');  
myfir = [1 zeros(1,.05*Fs) 0.8 zeros(1,.1*Fs) 0.6 zeros(1,.15*Fs) 0.4  
zeros(1,.2*Fs) 0.2];  
myout = conv(myfir, y);  
sound(myout, Fs);
```

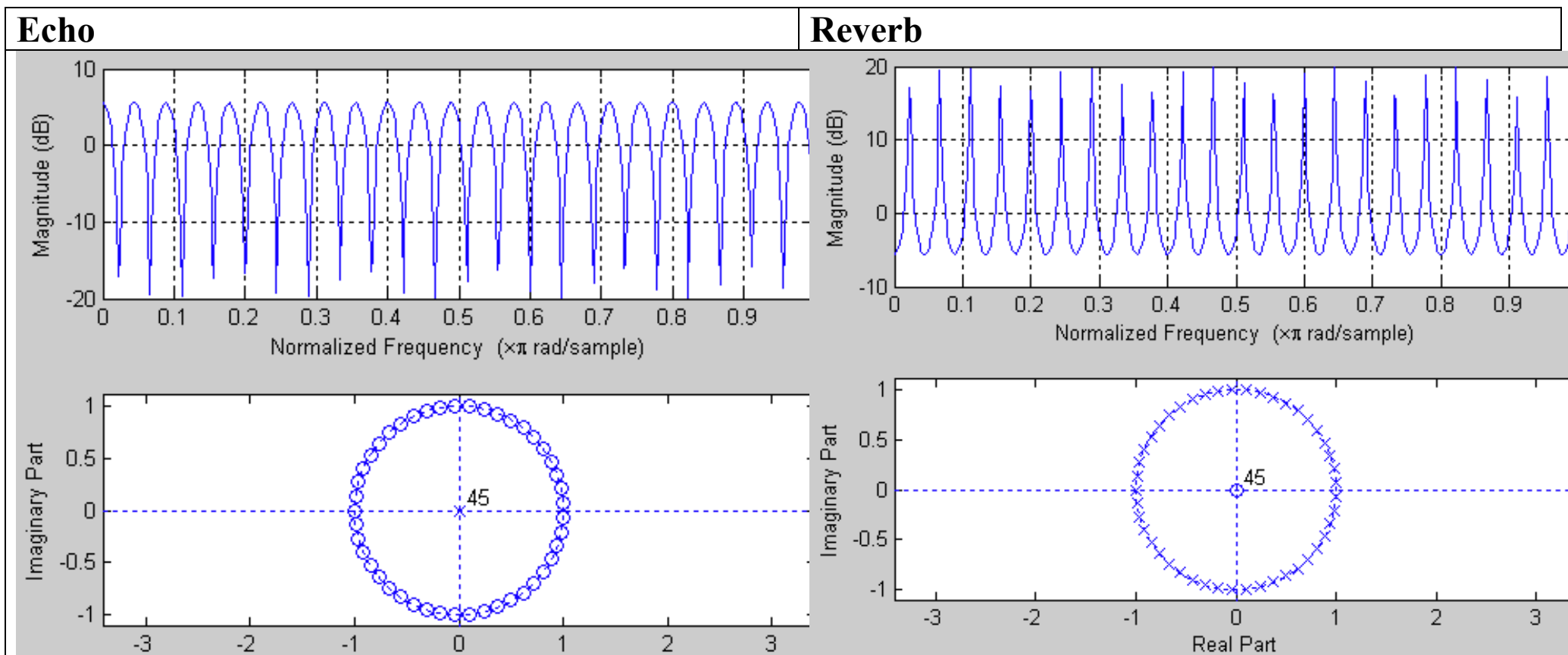
Reverb [01_MATLAB, pokus4]

Reverb sa šíri opakujúcimi sa odrazmi donekonečna (napr. v uzavretej miestnosti s veľkou odrazivosťou)



```
[y, Fs] = audioread('auda_say1-10_44khz.wav');  
myiir = [1 zeros(1, 0.001*44100) 0.90];  
myfir = [1];  
subplot(2,1,1);  
freqz(myfir,myiir);  
subplot(2,1,2);  
zplane(myfir, myiir);  
myout = filter(myfir, myiir, y);  
sound(myout, Fs);
```

Rozdelenie núl a pólov pri reverbe a echu



Pozn: Zobrazené pomocou Matlab funkcií freqz a zplane

Poznámka: pri echu resp. reverbe máme polynómy jednotkami nenulových koeficientov ale vysokého stupňa v čitateli resp. menovateli

Spájanie audia

(pozor, ucho je extrémne citlivé na jednotlivé vzorky)

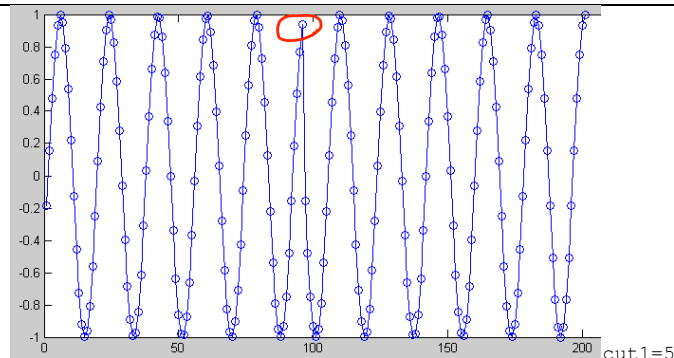
Cieľ: Ako spojiť 2 audio vzorky v matlabe, aby nebolo počuť „puk“ pri prechode?

Riešenie A: Posunúť signál v čase o pár vzoriek, aby pri nadpájaní boli približne rovnaké hodnoty?

Nie, toto je problematické riešenie, mala by byť rovnaká aj „fáza“

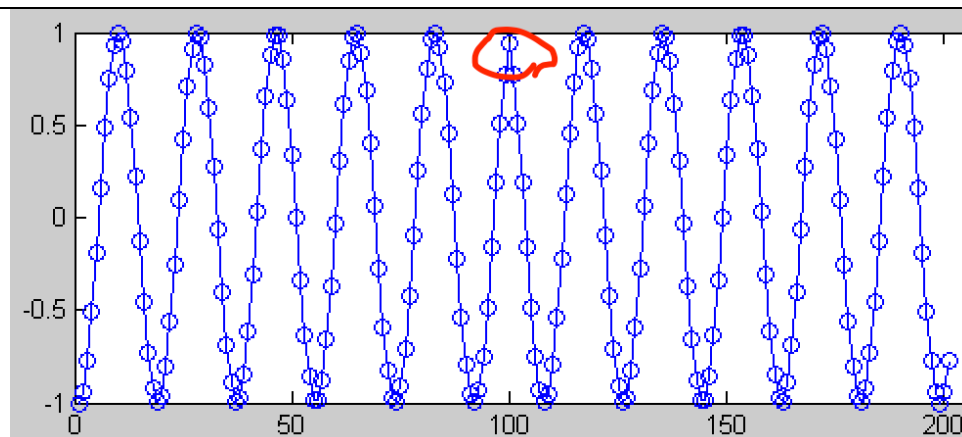
[01_MATLAB, pokus5]

```
clear all;  
close all;  
Fs=8000; N=0.5; f1=440;f2=440;  
cut1=5;  
cut2=0;  
x=0:1:N*Fs-1;  
t=x/Fs;  
y1=cos(2*pi*t*f1);  
y2=cos(2*pi*t*f2);  
myx=(1:length(1))/length(1)*Fs;  
plot(myx,abs(fft(y1)));  
myOut=[];  
for idx=1:5;  
    myOut=[ myOut y1(1+cut1:4000-cut2)  
            y2(1+cut1:4000-cut2)];  
end;  
plot(myOut(3900:4100), '-o');  
sound(myOut, Fs);
```



Asymetricky
useknem
cut2=0
cut1=5

Počuť puk!
(problém
hodnota aj
fáza)



Symetricky
useknem
cut1=1
cut2=1

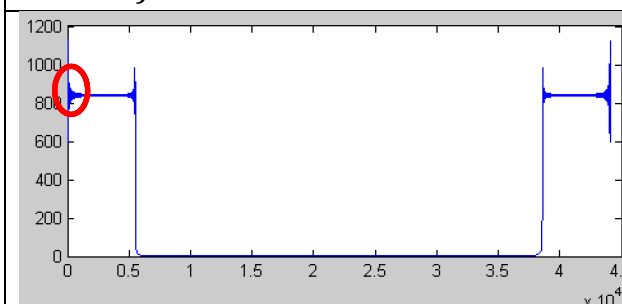
Počuť puk!
(problem
fáza)

Riešenie B: univerzálne: jeden signál pritlmiť s dobou prechodu T, druhý zväčšiť z nuly. A sčítať.

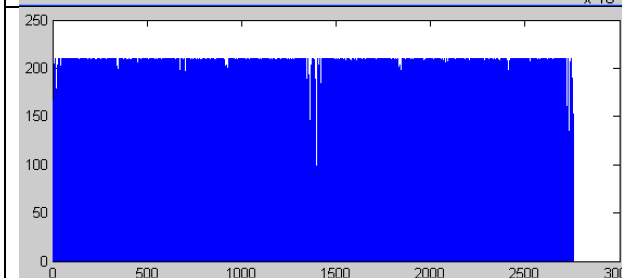
Experiment na tému: Prevzorkovanie bez odfiltrovania a s odfiltrovaním ([01_MATLAB, pokus6])

```
clear all;
close all;
Fs=44100; N=8; f=Fs/N;
x=0:1:N*Fs-1;
t=x/Fs;
%y = chirp(t,0,N,f)+chirp(t,0,N,f/2);
y = chirp(t,0,N,f);
%y=cos(2*pi*t*f);
myx=(1:length(y))/length(y)*Fs;
plot(myx,abs(fft(y)));
sound(y, Fs);
display("pôvodny chirp, ked doznie, stlac nieco"); pause;
M=16
figure;
yM=downsample(y,M);
myxM=(1:length(yM))/length(yM)*Fs/M;
plot(myxM,abs(fft(yM)));
sound(yM, Fs/M);display("M x podvzorkovany chirp, ked doznie, stlac nieco"); pause;
figure;
yspec=fft(y);
keep=length(yspec)/(2*M)
for idx=1+keep:length(yspec)-keep
    yspec(uint32(idx))=0;
end
%plot(myx,abs(yspec));
%figure
ymax=real(ifft(yspec));
yMmax=downsample(ymax,M);
myx2=(1:length(yMmax))/length(yMmax)*Fs/M;
plot(myx2,abs(fft(yMmax)));
sound(real(yMmax), Fs/M);display("M x podvzorkovany odfiltrovaný chirp, ked doznie, stlac nieco"); pause;
```

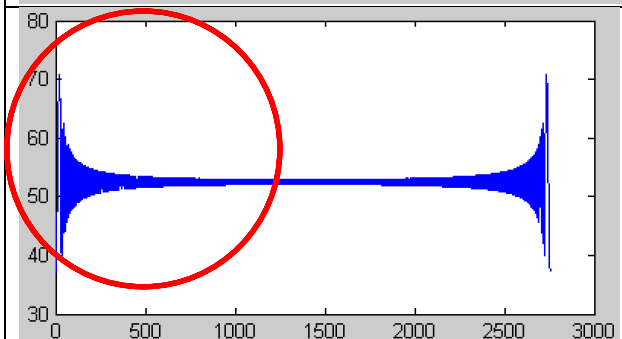
- Prevzorkujeme na 1/16 pôvodnej vzorkovacej frekvencie povodná =44.1kHz, nova=2.75kHz
- Náš signál (chirp) však ide od 0kHz po 5.5kHz a trvá 8 sekúnd
- Shannon kotelnik hovorí, že musíme obmedziť na 2.75/2 kHz
- My to prekračujeme 4 násobne
- Bez odfiltrovania počujeme 1) 2s hore 2) 2s dole 3) 2s hore 4) 2s dole
- S obmedzením na 2.75/2 kHz počujeme 1) 2s hore 2) 2s ticho 3) 2s ticho 4) 2s ticho



Pôvodný signál (vidíme, že chirp ide do 5.5kHz)



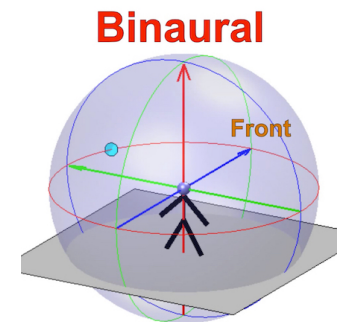
Frekvenčne neobmedzený a s M=16 podvzorkovaný signál (vidíme, že chirp je úplne všade rovnako – lebo je 4x cez seba poprelievajú)



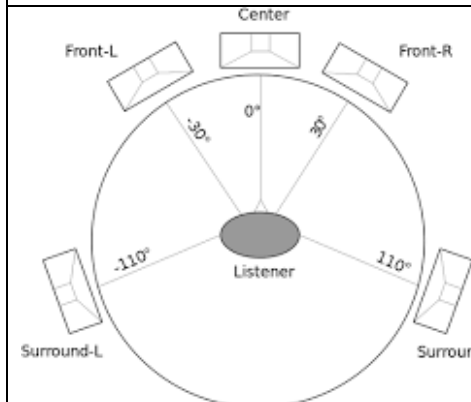
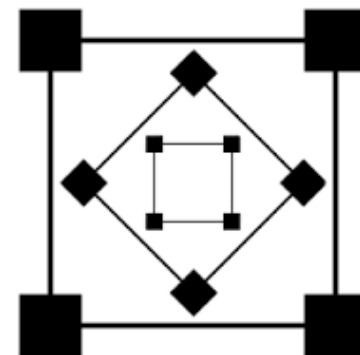
Frekvenčne správne obmedzený na 2.75/2 kHz a s M=16 podvzorkovaný signál

Zvuk a priestor

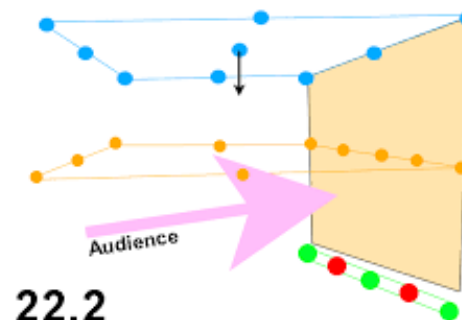
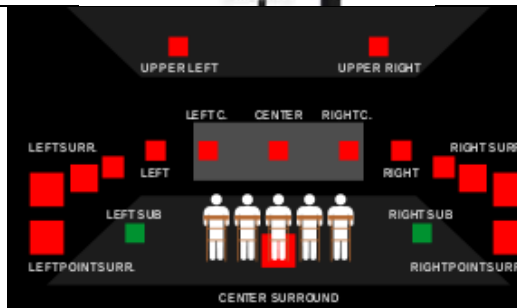
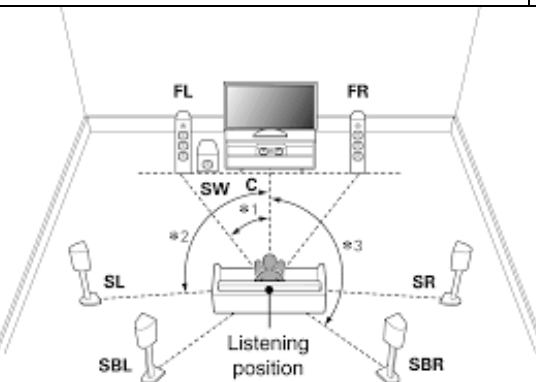
- Mono: lokalizácia zdroja zvuku poslucháčom bude totožná s polohou reproduktora
- Stereo
 - musia byť nasnímané 2 signály 2 mikrofónmi
- 3D zvuk [<http://youtu.be/5KSMASKjwUI>]+ [<https://toni.org/a3d/>]
 - 3D hudba – zameraná na polohu zdrojov signálov
 - 3D dá sa „dodať“ neskôr do už zaznamenaného zvuku (napr. SRS nižšie)
 - Binaurálny záznam signálu
 - signály dôsledne snímané z mikrofónov umiestnených do modelu hlavy
 - 3D efekt je veľmi výrazný
- kvadrofónia
 - téma od r 1969 ... (už niektoré vinylové platne mali kvadrofónny záznam)
- Priestorový zvuk
 - 5.1 = 5 reproduktorov + 1 subwoofer, najmodernejšie systémy sú typu 7.1
 - 22.2 = (9hore, 10 v strede 3 naspodku) + 2 subwoofre
- WFS (wave field synthesis) – pole reproduktorov (experimenty do 2700 reproduktorov)
 - oproti klasickému riešeniu priestorového zvuku nezávisí od polohy počúvajúceho



Mikrofóny a ich základné rozloženia, rozloženie reproduktorov pri kvadrofónii a priestorovom zvuku



(Smartroom)



22.2
Surround System
● Upper ● Middle ● Lower ● Subwoofer

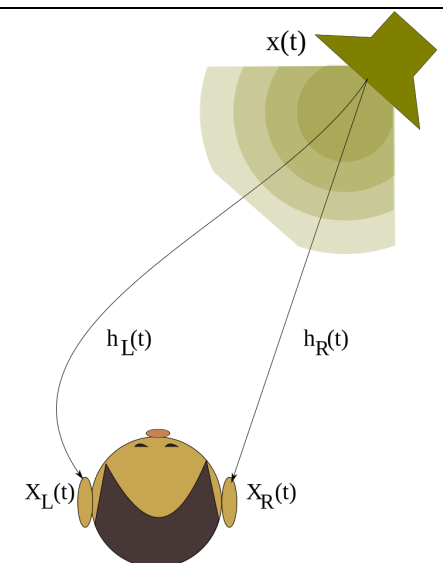
Copyright (c) Saneesh Sathakaran 2013

SRS Systém

- SRS (sound retrieval system) – patentovaná psychoakustická 3D audio processing technológia na vytvorenie 3D efektu pomocou stereo reproduktorov. Používa HRTF (head related transfer function)
- Používaný v televízoroch často

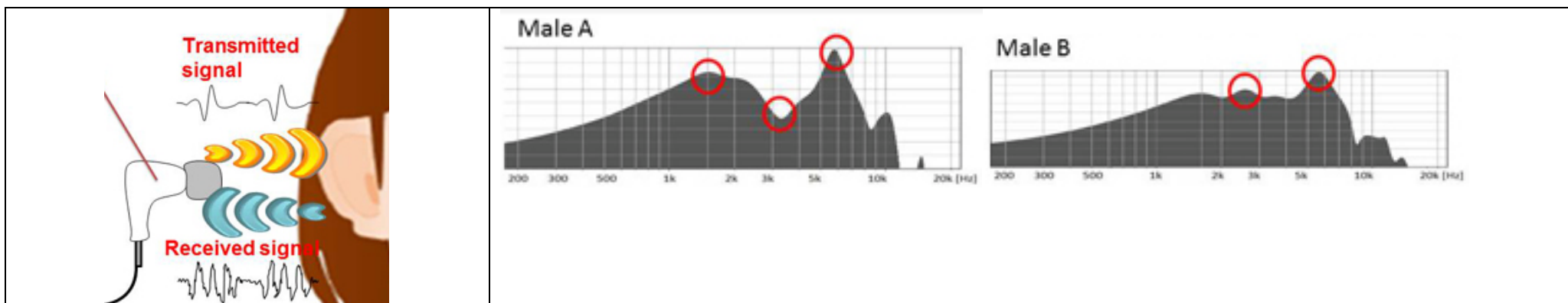
HRTF

- „Prenosová funkcia hlavy“, „anatomická prenosová funkcia“
- Zohľadňuje geometriu a akustické vlastnosti ušnice aj zvukovodu
- určuje Impulzovú charakteristiku (HRIR – head related impulse response), ktorá popisuje ako sa mení zvuk, ktorý prichádza z nejakého bodu priestoru
- Používa sa pár HRTF – pre každé ucho jedna
- HRIR sa aplikuje konvolúciou



Autentifikácia ľudí pomocou slúchadiel

- slúchadlá obsahujú aj mikrofón
- podľa toho ako rezonuje zvuk vo zvukovode (jedinečne vďaka jedinečnému tvaru zvukovodu)
- napr. slúchadlá NEC (http://www.nec.com/en/press/201603/global_20160307_01.html) výrobca sľubuje 99% „presnosť“ a na overenie potrebuje „pár sekúnd“.



Potláčanie okolitého hluku

- pasívne (uzavretá konštrukcia slúchadiel, gumené „štople“ do uší)
- aktívne – vhodné skôr na potláčanie stacionárnych (nemeniacich charakter) hlukov
 - uzavretá konštrukcia slúchadiel, „štoplové slúchadlá“ (napr. BOSE)
 - je prítomný aj mikrofón, reproduktor vysiela následne signál s opačnou fázou



Smerové konštrukcie

Smerové reproduktory s parabolou

- Parabolické reproduktory vedia poslať zvuk 2x ďalej ako normálne (Útlm pri normálnych je 6dB pri zdvojení vzdialenosti, pri parabolických sú to 3dB)
- Parabola musí mať 2x priemer ako je najmenšia vlnová dĺžka, ktorú chceme nasmerovať (ak chceme nasmerovať 20Hz, tak parabola musí mať priemer cca 33 m). Verejný systém CB-1: štadióny, stanice (1.3m parabola, prenáša 500-15000Hz, 10°rozptyl, navrhovaný aby preniesol 100 dB SPL na 150m)

Parabolické mikrofóny

- Milovníci prírody (spev vtákov, špióni atď ...)
- Typický zisk 15dB

Puškové mikrofóny

- Podobne ako parabolické, ale lepšie prenášajú basy zo zvoleného smeru
- Použitie v TV priemysle

Laserové mikrofóny

- Laserový lúč a jeho snímané chvenie sa dá použiť na odpočúvanie na dlhé vzdialenosti

Špeciálne konštrukcie

- Mikrofóny na báze optického vlákna počas operácii (bezpečné bez elektriny), odolné voči vlhku, teplote, atď...
- MEMS mikrofóny, Reproduktory ako mikrofóny ...

Audio – multimediálna konverzia

- Text->Reč (TTS – text to speech, štandardnou súčasťou OS)
 - Možnosť zvoliť jazyk hovoriaceho, rýchlosť rozprávania
 - Vytvorenie Audiokníh (už spomenuté)
 - Rozprávanie titulkov (napr. SubTTS rozšírenie k VLC)
 - Autonavigácia
- Reč->Text – Rozpoznávače reči
 - napr. skúsiť apple rozpoznávač, použili by ste ho?
 - Asistentky Siri, Cortana, Google Now, Alexa (Amazon echo)
- Firmy ako Nuance, produkty ako Dragon Dictation
- Čo je to SAMPA?
 - Speech Assessment Methods Phonetic Alphabet – počítačom čitateľné fonetické písmo

Ukážka

- text-> reč (ukážka z macOS označenie textu, alt+esc)
- reč-> text (ukážka z macOS fn+fn)

Audio - zaujimavosti

- Palindróm = text čítaný odzadu má rovnaký význam (znie rovnako), ako keď sa číta odpredu.
 - <https://sk.wikipedia.org/wiki/Palindróm>
 - Čo keď ale otočíme audio signal, vzorku po vzorke?
 - [02_PALINDROMY] (otočme audio v matlabe)
- Audioknihy – ako si vytvorit audioknihu?
 - [03_AUDIOBOOK]
 - audioknihy vzniknuté za par sekúnd – počítač prečítal text čeština / slovenčina
 - napr. pomocou cmdline príkazu „say -o 2052.m4a -f audiobook.txt“ na macOS

Audio – prenos

- rádio: analógovo (FM rádio), digitálne (DAB, DAB+), internetom
- internet - prenosové protokoly
 - nad IP (UDP) -> RTP, rtsp, ...
 - Slovensko má cca 100 internetových rádii
- DAB
 - **DAB** používa MP2 (MPeg-1 Audio Layer2)
 - MP2 používa 32 pásmovú BF s malým oneskorením
 - **DAB+** používa audio kodek HE-AAC (High Efficient Advanced Audio Coding)
 - Na Slovensku bol spustený 15.12.2015, dátový tok 128kpbs,
- Audio v domácnosti / aute
 - **DLNA** - Digital Living Network Alliance, balík protokolov, podporovaných kontajnerov, kodekov, služieb na domáce zdieľanie multimediálneho obsahu
 - **Airplay**: Wifi Reprodukory, TV, tablety, ... proprietárna sada Apple protokolov
 - **Bluetooth**: reproduktory, slúchadlá, handsfree, ... prečo ešte nevyrábajú BT centrály?

Audio – využitie

- reálny čas (videokonverencie)
 - kodeky s nízkou latenciou
- streaming (streamovanie – môžu byť veľké buffery a viacprechodové kódovanie)
- na archiváciu (súborové formáty, databázy)
- na prácu (32 bit floating point vzorky), prípadne 64 bitov

Audio -Formáty (pre záujemcov [\[wiki porovnanie\]](#) [\[zvuk\]](#)[\[zvuk2\]](#))

- bezstratové (formáty: wav(nekomprimované), flac(4.), MPEG-4 ALS/SLS(2-3.), IEEE 1857.2(1.))
 - porovnanie [\[hdg\]](#), [\[sem\]](#)
 - väčšinou sa používa predikčné kódovanie s kódovaním rezidua (na kódovanie rezidua väčšinou používajú aritmetické a Golomb-Rice kódy [\[gol\]](#))
- stratové (formáty: mp3, ogg, wma, aac, ra)

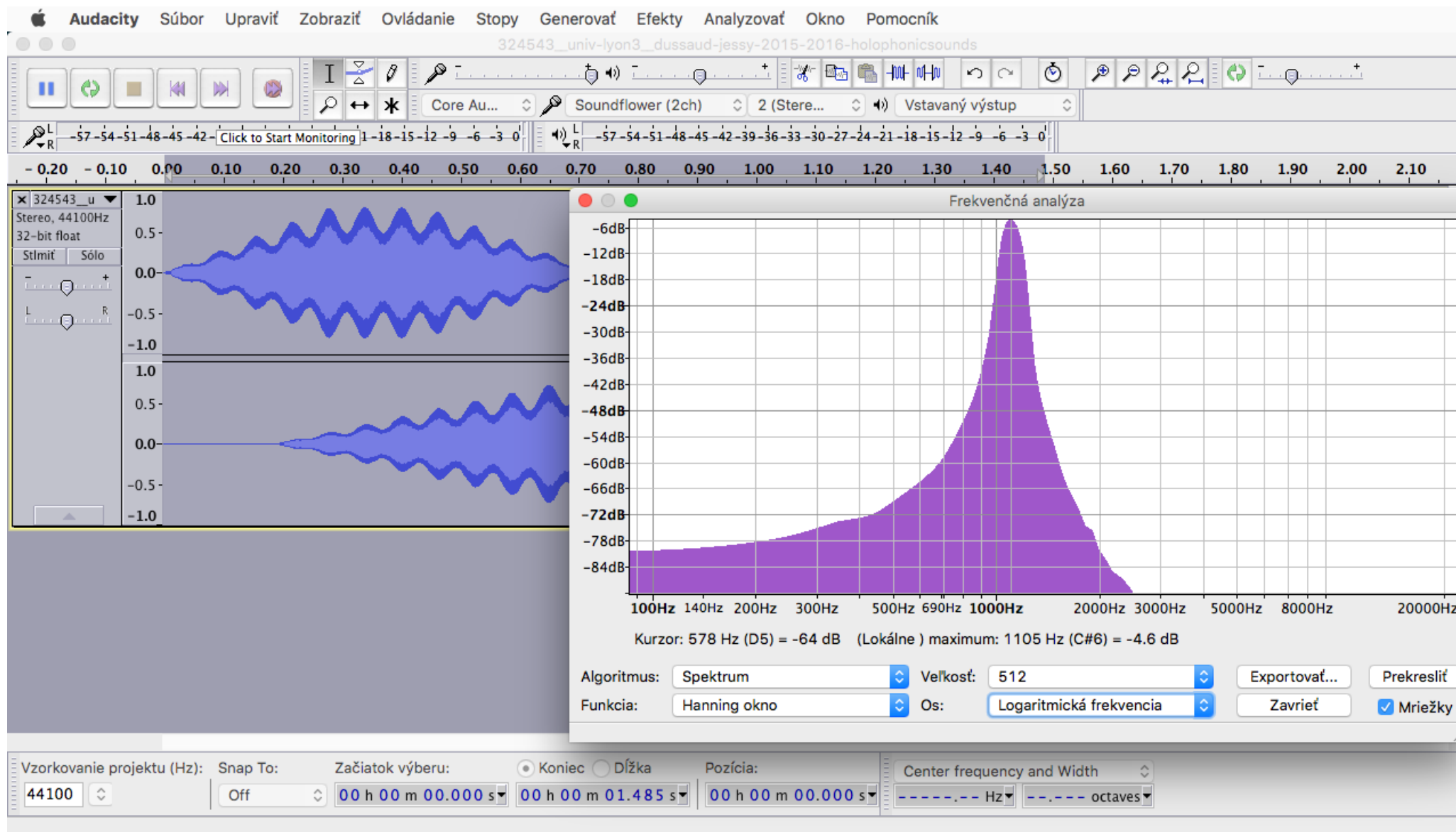
Formáty pre priestorový zvuk

- Dolby Pro logic 5.1 (Dolby pro logic II)
- Dolby Pro logic 7.1 (Dolby pro logic IIx)
- Dolby Digital (5.1), (Adaptive Transform Coder 3 – AC3)
- Dolby Digital EX (6.1)
- Dolby Digital Plus (DD+, AC3+) má 13.1 (povinné pre HD DVD prehrávače, nepovinné pre BD)
- DTS (njmä pre filmy v kinách) od 1993, Firma Digital Theater Systems (DTS)
- DTS-ES
- DTS-HD Master Audio – až neobmedzený počet kanálov, šklovateľná kompresia, ...

Štandardy pre 3D efekty v stereo zvuku

- EAX (enviromental Audio Extensions)
- MPEG Surround [frauenhofer]
 - postranné informácie o polohe zdroja sú prenášané 16kbps signálom
 - prehrávače ich môžu ignorovať
 - napr. divx toto podporuje

Audacity – obrazovka

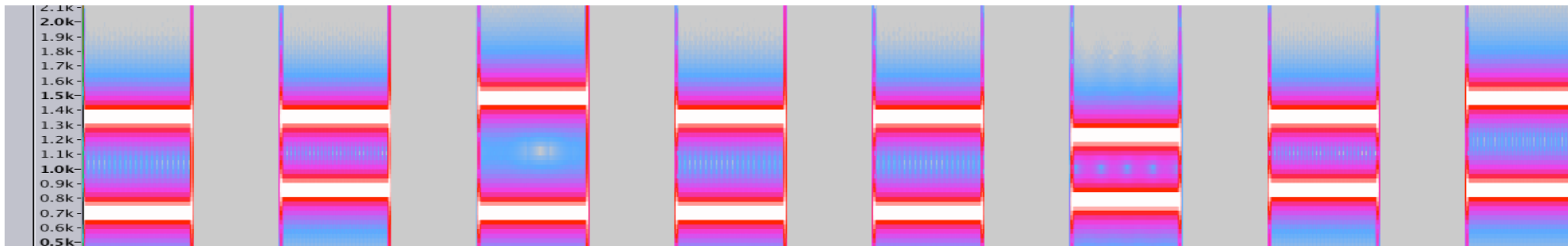


Audacity možnosti

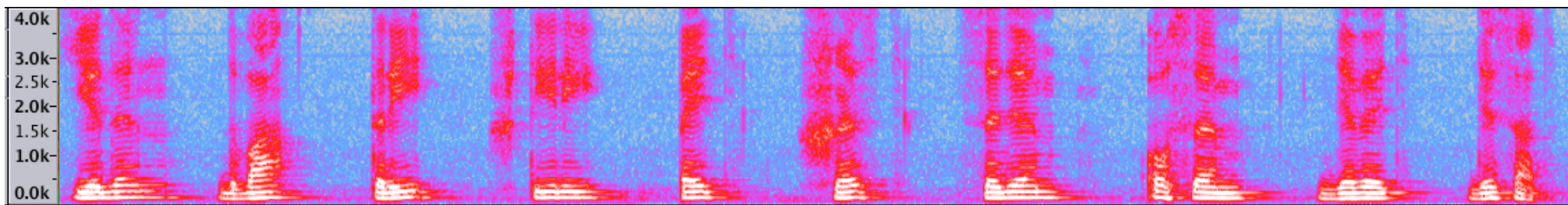
- Vytvorenie signálu v internej reprezentácii
 - import/otvorenie súboru (wav, flac, mp3, ...)
 - nasnímanie mikrofónom, z digitálneho zariadenia (presmerovanie s jeho ovládača)
 - Generovanie audio signálov (Generovať->tón(sínu, píla, ..), chirp(...),
- Analýza signálu
 - Vizualizácia
 - Hľadanie črt (orezané vzorky, ticho, zvuk, rytmus, ...)
- Úpravy v audacity
 - zmena vzorkovacej frekvencie (vľavo dole, potom export ...)
 - efekty v audacity, napr.
 - zmeniť tempo bez zmeny frekvencie
 - zmeniť frekvenciu bez zmeny tempa
 - obrátenie v čase
 - reverb, AUMatrixReverb, ...
 - vylepšenie: napr. odstránenie šumu, odstránenie praskania
- export do rôznych formátov
 - kompresia (stratová-MP3, ..., bezstratová-FLAC (na cca 50-60%))

Príklady spektrogramov - audacity

Multifrekvenčná voľba



Reč – číslice 1-10



Melódia zahraná na flaute

