

VKN Zadanie 3 (správu odovzdať do 12. týždňa)

Poznámky k vypracovaniu:

Zadanie mi odovzdáte vo forme referátu, ktorý bude obsahovať:

- hlavičku s názvom zadania, menom študenta, ktorý ho vypracoval (na zadaní by mal robiť každý študent individuálne), ročník, skupinu atď.

- v texte správy odpovedzte hlavne na otázky, ktoré sú vám zadané. Nezabudnite na grafy, ak sa od vás žiadajú. Niekedy sú otázky voľne uvedené v texte zadania. Takže si ho čítajte pozorne, a uistite sa, že ste zodpovedali na všetky otázky. Matlabovský kód, ktorý ste použili k vypracovaniu zadania, priložte na koniec zadania ako prílohu (tj. nemiešajte ho s textom odpovedí)

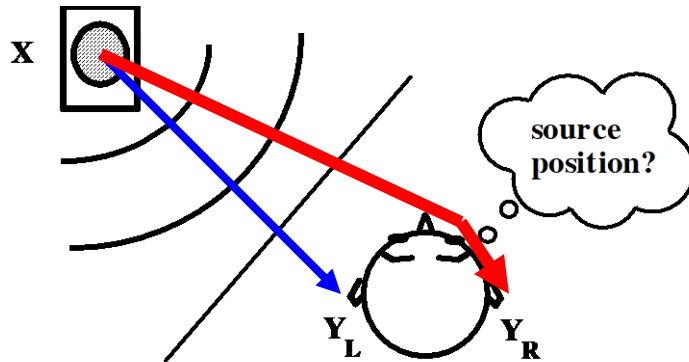
- z referátu vygenerujete PDF súbor (napr. použitím programu [PDFCreator](#)), ktorý mi odovzdáte elektronicky (emailom na adresu kogneuro@gmail.com – všimnite si, že je to iná adresa, než tá na ktorej si čítam štandardné maily. Subjekt emailu by mal mať nasledovnú štruktúru: **VKN Zx meno_ autora**).

Priestorové sluchové vnímanie

Úvod

Keď sa zvuk šíri od zdroja (napr. reproduktora) do našich uší, transformuje sa tento zvuk interakciou s prostredím, našou hlavou, plecami, ušnicami a sluchovým kanálom (viď. Obrázok). Táto transformácia spôsobí, že zvuk, ktorý počujeme, sa v skutočnosti líši od toho, aký zvuk vyšiel zo zdroja. Navyše, líši sa aj to, aký zvuk v skutočnosti počujeme ľavým a pravým uchom. My si to, že sme ľavým a pravým uchom počuli niečo iné, za normálnych okolností

nevedomujeme. Práve naopak, náš mozog sa snaží analyzovať rozdiely v tom, ako zvuk dorazil do ľavého a pravého ucha (napr. do ktorého ucha dorazil hlasnejší alebo do ktorého dorazil skôr), a na základe týchto rozdielov sa snaží vypočítať, odkiaľ zvuk prišiel. My si potom uvedomujeme len to, že sme počuli jeden zvuk a že ten zvuk prišiel napr. zľava, miesto toho aby sme si uvedomili, že sme počuli dva trochu rozdielne zvuky, jeden ľavým a jeden pravým uchom.



Matematicky sa transformácia, ktorou zvuk prešiel po ceste od zdroja (reproduktora) po bubienky ľavého resp. pravého ucha dá charakterizovať tzv. prenosovou funkciou (tiež nazývanou impulzná odozva). Každému bodu v priestore okolo nás zodpovedá jeden pár prenosových funkcií, jedna pre ľavé a jedna pre pravé ucho. Tieto prenosové funkcie sa v angličtine nazývajú Head-Related Transfer Functions a my ich budeme nazývať **smerné prenosové funkcie** a značiť anglickou skratkou HRTF. Keď máme pre nejakého človeka k dispozícii takýto pár prenosových funkcií zodpovedajúci určitému bodu v priestore (napr. na obrázku hore sú farebne vyznačené prenosové funkcie pre bod 50° vľavo od stredovej osi – t.j. 0° je priamo pred nami), potom vieme veľmi jednoducho nasimulovať, ako tento človek vníma akýkoľvek zvuk (reč, husle, bubon, buldozér), keď ten zvuk prichádza z daného bodu v priestore.

Povedali sme si, že dva základné parametre, ktoré náš mozog extrahuje z počutého zvuku na to, aby odhadol odkiaľ ten zvuk prišiel, sú interaurálne (tj. „medziušné“) rozdiely v čase a v hlasitosti, s akou zvuk do uší dorazil. Prvý rozdiel označíme skratkou ITD, druhý ILD. Keďže vo funkciách HRTF sú zakódované všetky informácie, ktoré mozog extrahuje na to, aby odhadol odkiaľ zvuk prišiel, sú v nich zakódované aj hodnoty ITD a ILD zodpovedajúce danej polohe zdroja zvuku.

Keď sa HRTF merajú v reálnej miestnosti (tak ako je to v našom prípade), neobsahujú tieto odozvy len to, ako zvuk dorazil zo zdroja priamo do našich uší, ale aj to, ako dorazili do našich uší odrazy tohto zvuku od stien. V zásade prídu tieto odrazy do našich uší neskôr než priamy zvuk, takže vo všeobecnosti môžeme získať HRTF bez odrazov od stien tak, že túto funkciu usekneme po prvom impulze.

Úlohy

V tomto zadaní bude vašou úlohou pohrať sa so smerovými prenosovými funkciami HRTFs. Z adresára <https://ics.upjs.sk/~kopco/UPJSONLY/unv/z4/> si stiahnete súbor hrtf3.mat.

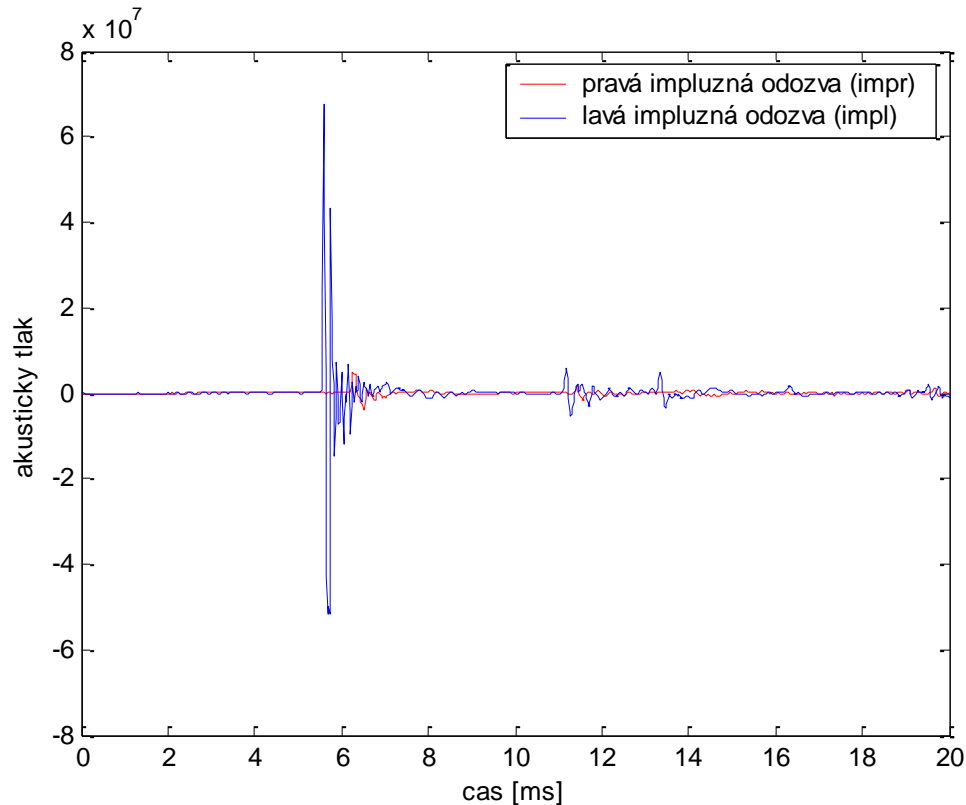
Spustite si MATLAB a načítajte svoju HRTF príkazom

```
>> load hrtf3.mat
```

Príkaz `whos` vypíše zoznam premenných v pracovnom priestore. Pre vás sú dôležité vektory `impl` a `impr`, ktoré obsahujú ľavú a pravú smerovú prenosovú funkciu (HRTF) zodpovedajúcu zdroju zvuku niekde pred poslucháčom v rovine jeho uší. HRTFs boli zaznamenané pri vzorkovacej frekvencii 44.1 kHz, takže na to, aby ste si mohli **CEZ SLÚCHADLÁ** vypočítať ako znejú, môžete použiť príkaz `soundsc([impr impl], 44100)`. Mali by ste počuť jediný klik (niečo ako tlesknutie), ktorý akoby prišiel odniekiaľ pred vami. Občas môžu nastať problémy so zvukovkou, ktoré sa prejavujú počutím viacerých kliknutí. V tom prípade skúste pridať na začiatok a koniec stimulu vektor núl `soundsc([zeros(30000,2); [impr impl]; zeros(30000,2)], 44100)`. Keď si vymeníte slúchadlá, zvuk by mal zaznieť z druhej strany (napr., ak najprv znel zľava, teraz by mal znieť sprava; samozrejme, ak bol v strede, tak tam zostane ☺). Pozn.: ak sa vám nezdá, že by ten zvuk prichádzal odniekiaľ pred vami, alebo zľava či sprava, možnože máte chabú zvukovku resp. biedne slúchadlá. Skúste si nájsť lepšie, príp. prísť za mnou (resp. môžete robiť veci aj bez toho, aby ste počúvali, čo ako znie). Dôležité je ale hlavne to, že **kedykoľvek máte niečo počúvať, máte to počúvať cez slúchadlá, nie z reproduktoru.**

V odovzdanom zadaní sa snažte zodpovedať na všetky otázky a priložiť aj matlabový kód, ktorým ste k výsledku dospeli.

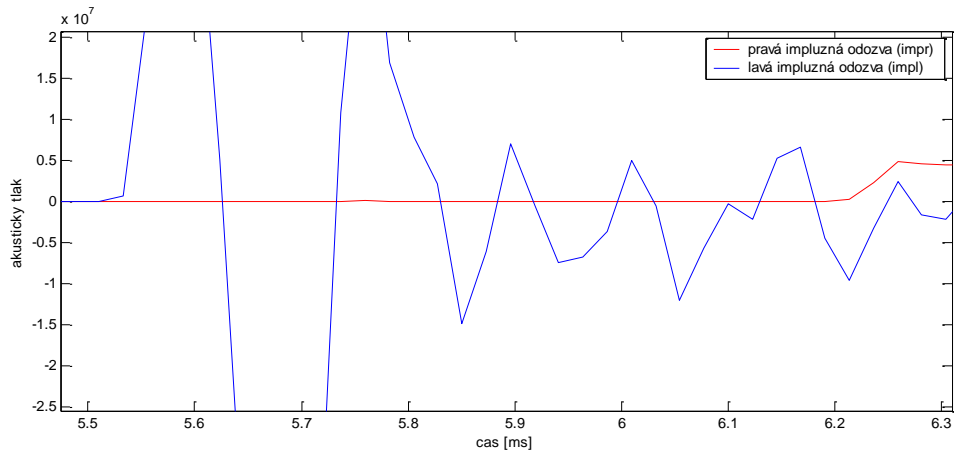
1. V jednom grafe zobrazte prvých 20 milisekúnd ľavej (modrou) aj pravej (červenou) impulznej odozvy, tak ako je to ukázané na nasledovnom obrázku.



2. Impulzná odozva obsahuje priamu časť (prvý impulz, ktorý na obrázku hore prichádza zhruba v 6. milisekunde), ktorá charakterizuje ako sa zvuk šíril od zdroja priamo k ušiam, nasledovanú impulzmi zodpovedajúcimi odrazom od stien (na obrázku hore dorazí prvý odraz k ľavému uchu približne v 11. milisekunde). Všimnite si na obrázku, že v tomto konkrétnom príklade dorazil zvuk najprv k ľavému uchu a že bol v ľavom uchu aj silnejší než v pravom. Priamu časť impulznej odozvy budeme označovať D (direct sound), odrazy od stien označíme R (reverberation). Určite čas, kedy sa začína R časť odozvy, t.j., uďte čas tesne predtým, než do pravého alebo ľavého ucha dorazí prvý odraz od stien (ak prvý odraz nedorazí do oboch uší v rovnaký čas, zvolte minimálnu hodnotu). Tento čas označte t_{cut} (v obrázku hore by to bolo asi 11 milisekúnd).

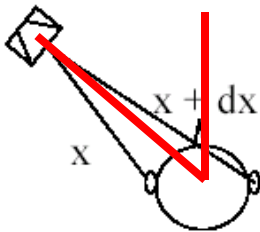
3. Použitím premennej t_{cut} rozdeľte vektor $impr$ na vektor $imprd$ (obsahujúci len D-časť odozvy) a $impr$ (obsahujúci len R-časť odozvy). Tak isto rozdeľte vektor $impl$ na $implr$ a $impld$. Vygenerujte obrázok podobný tomu z predošlej strany, ktorý ukazuje len D-časť ľavej a pravej odozvy.

4. Z D-časti ľavej a pravej odozvy určite ITD (interaaurálny časový rozdiel), t.j. rozdiel v čase, kedy zvuková vlna dorazila k ľavému a pravému uchu. Urobte to vizuálne, ako je to ukázané v nasledujúcom obrázku, ktorý je len zväčšením časti obrázku z úlohy 1 (napr. MATLABová funkcia `axis`).



V tomto prípade dorazil zvuk do ľavého ucha približne v čase 5,55 ms, a do pravého ucha v čase 6,25 ms, tzn., že ITD je približne $-700 \mu\text{s}$ (pozitívne ITD znamená, že zvuk dorazil prv k pravému uchu). Presnejší odhad ITD získate tak, že nájdete maximum kroskorelácie (príkaz `xcorr` v matlabe). Uved'te odhad ITD získaný z obrázku aj ten získaný použitím kroskorelácie.

5. Priestorové prenosové funkcie (HRTF) boli získané pre zdroje zvuku nachádzajúce sa pred poslucháčom v úrovni uší. Na základe vypočítaného ITD určite približne azimut, ktorému zodpovedá vaša HRTF (pozn: zvuk sa šíri rýchlosťou 343 m/s) za predpokladu, že zdroj zvuku je od poslucháča vzdialený 1 meter a šírka hlavy poslucháča je 20 cm. Pod azimutom sa tu myslí uhol medzi nosom, stredom hlavy a zdrojom zvuku (červená čiara na nasledujúcom obrázku). Pomôcka: použite kosínusovú vetu. Pre zjednodušenie výpočtov môžete použiť matlabovské funkcie ako `roots` alebo `solve`.



6. Načítajte do MATLABu ľubovoľný zvuk (nie priveľmi dlhý, tak do 5 sekúnd), napr. príkazom `wavread`. Môže to byť nejaký zvuk stiahnutý webu, môžete nahráť seba počítat' od jedna po päť, alebo čokoľvek iné, napr. biely šum (dôležité: zvuk musí byť **MONO**, nie **STEREO**). Konvolúciou (`conv`) tohto zvuku s priestorovými prenosovými funkciami (`impr`, `impl`) získate priestorovú simuláciu tohto zvuku z určitej polohy (voči poslucháčovi) v špecifickej miestnosti, kde boli HRTFs nahrané (pozn: Na to, aby ste mohli konvolúciu použiť, musí byť zvuk navzorkovaný na 44.1 kHz, tak ako je to u HRTFs. Ak váš zvuk nemá správnu vzorkovaciu frekvenciu, prevzorkujte ho príkazom `resample`). Konvolúciou s priamymi časťami odoziev (`imprd`, `impld`) získate simuláciu zvuku v bežeckej miestnosti. Príkazom `wavwrite` uložte vygenerovaný simulovaný zvuk (z reálnej aj bežeckej miestnosti). Pôvodný zvuk aj simulácie sprístupnite na webe. V zadaní mi odovzdajte webový odkaz na váš zvuk. Popíšte, aký je rozdiel, keď počúvate bežeckú simuláciu a simuláciu v reálnej miestnosti. Napr. odkiaľ (z akého azimutu, elevácie, vzdialenosti) zvuk prichádza?