

UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA  
V KOŠICIACH

PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA

MODELOVANIE KONTEXTUÁLNEJ PLASTICITY  
V REÁLNO M A VIRTUÁLNO M PROSTREDÍ

Študent: Stanislava Linková

Vedúci práce: doc. Ing. Norbert Kopčo, PhD.

Konzultant: Ing. Peter Lokša

## Ciele práce

- Vypracovať prehľad doterajšieho výskumu týkajúceho sa kontextuálnej plasticity (CP)
- Pripraviť prehľad vykonaných experimentov o CP
- Na základe poskytnutých MATLAB skriptov naprogramovať experimentálnu procedúru na zber dát
- Nazbierať experimentálne dáta na nových subjektoch
- Analyzovať a vyhodnotiť experimentálne dáta

# Popis práce

V tejto práci budeme analyzovať dáta z experimentov, ktoré boli navrhnuté ako je popísané v práci [1.] a [2.]. Návrh experimentu a výsledky z reálneho prostredia budeme používať také, aké sú znázornené a popísané v práci [1.]. V práci [2.] je forma odpovedania počas experimentu nasledovná: Subjekt sedí za počítačom a na displeji má obrázok, na ktorom je zobrazený azimut od -90 po 90 stupňov. Cez slúchadlá sa prehrá určitý zvuk a subjekt má následne myšou kliknúť na miesto na obrázku, ktoré reprezentuje reálne miesto vzhľadom na subjekt. Ak chceme porovnávať dáta z experimentu v reálnom prostredí a dáta nazbierané vo virtuálnom prostredí, musí byť návrh experiment aj forma odpovedania podobné, najlepšie ak sú rovnaké. Preto sme sa inšpirovali návrhom experimentu z práce [2.], avšak, zmenili sme formu odpovedania na takú, ktorá je použitá v experimente pre reálne prostredie. Bližší popis experimentov si popíšeme neskôr.

Dáta z experimentov budeme ďalej porovnávať a analyzovať. Máme tri prostredia: reálne prostredie, virtuálne reverberantné a virtuálne anechoické.

Použijeme analýzy:

- smerodajnú odchýlku
- koreláciu
- informačný prenos

# Teória

Na pochopenie cieľov práce a experimentov, ktoré budú spomínané v práci, je dôležité popísať si a pripomenúť relevantné teoretické poznatky.

Sluch má viacero funkcií. Človek je schopný zvuky:

- Identifikovať
- Lokalizovať
- Porozumieť im

Priestorový sluch slúži hlavne na lokalizáciu a separáciu zvukov. Schopnosť lokalizovať zdroj zvukov má veľký význam ako u ľudí, tak aj u zvierat. Lokalizovanie zvuku určuje smer objektov, ktoré chceme nájsť, alebo ktorým sa chceme vyhnúť a indikuje správny smer, na ktorý je potrebné upriamiť vizuálnu pozornosť. [10.] Na rozdiel od iných zmyslov, napríklad zraku, sluch pokrýva celých 360 stupňov. Má preto veľmi významnú obrannú alebo skôr výstražnú schopnosť. Základom sluchového vnímania priestoru je rozlišovanie akustických signálov prichádzajúcich k pravému a k ľavému uchu. Binaurálne počutie má význam pri lokalizácii zdroja zvuku na základe fázového posunu v ušiach. Porovnávanie vnemu ľavého a pravého ucha a celkovej intenzity je automatické a umožňuje nám určiť približnú polohu zdroja. [11.] Najdôležitejšou funkciou sluchu je pravdepodobne lokalizácia zvukov.

Lokalizovanie zvukov je komplikované. Predstavme si napríklad lokalizovanie zvuku v miestnosti. Zvuk sa odráža od stien, podlahy, stropu,.. Odrazený zvuk sa kombinuje so zvukom, ktorý prichádza do uší priamo. Avšak, bez toho, aby sme si to uvedomili, náš sluchový systém je schopný potlačiť odrazy, a tak nám sa zdá, že počujeme iba daný zvuk, ktorý k nám ide priamo. Informácie z týchto odrazov potom používame na odhad vzdialenosti zdroja zvuku[12.].

Poloha zdroja zvuku sa určuje podľa troch hlavných koordinátorov [13.]:

- Azimut
- Elevácia
- Vzdialenosť

**Azimut** je relatívna poloha zdroja zvuku v horizontálnej rovine vzhľadom na určitú referenciu. Zvyčajne je danou referenciou tvár poslucháča.

**Elevácia** je relatívna poloha zvuku vo vertikálnej rovine vzhľadom na určitú referenciu. Zvyčajne je danou referenciou tvár poslucháča.

**Vzdialenosť** je parameter, ktorý určuje dĺžku medzi zdrojom zvuku a poslucháčom.

Okrem horizontálnej roviny a vertikálnej roviny je vo všeobecnosti zadefinovaný priestor aj treťou rovinou – mediálnou. V každej rovine využíva človek na lokalizáciu zvuku iný systém. Ako príklad môžeme uviesť určovanie polohy vo vertikálnej rovine, kde nám stačí informácia z jedného ucha, na rozdiel od horizontálnej roviny, kde na určovanie polohy zdroja zvuku potrebujeme informácie z oboch uší.

Na určovanie azimutu sa využívajú akustické charakteristiky:

- **ITD** (interaural time difference) = rozdiel v čase. Určuje časový rozdiel, ktorý vzniká pri zachytení toho istého zvuku ľavým a pravým uchom. Ak zvuk príde skôr k pravému uchu, vieme, že zdroj zvuku sa bude nachádzať bližšie k pravému uchu, a teda na pravej strane.
- **ILD** (interaural level difference) = rozdiel v intenzite. Určuje rozdiel v hlasitosti, ktorý vzniká pri zachytení toho istého zvuku ľavým a pravým uchom.

## KONTEXTUÁLNA PLASTICITA

Pod pojmom plasticita si predstavíme schopnosť sa pretvárať a meniť. Predošlé experimenty už ukázali, že sluchové vnímanie človeka sa môže meniť a prispôbovať sa vplyvom predošlých skúseností. Kontextuálnu plasticitu môžeme zdefinovať aj takto:

***Kontextuálna plasticita** (Contextual plasticity) je forma adaptácie v priestorovom sluchovom vnímaní vyvolaná pôsobením predchádzajúcich stimulov [1].*

## Popis experimentu

V krátkosti si predstavíme návrh experimentu v reálnom a virtuálnom prostredí, ktorý je použitý v práci [1.] a [2.].

Máme tri rôzne prostredia: reálne prostredie, virtuálne reverberantné a virtuálne anechoické. Ak ide o virtuálne prostredie, stimuly sú prehrávané cez slúchadlá, no v reálnom prostredí prichádzajú stimuly z reproduktorov umiestnených v miestnosti. Virtuálne reverberantné prostredie znamená, že zvukový stimul je prehrávaný aj s ozvenou a vo virtuálnom anechoickom prostredí je prehrávaný iba čistý zvuk bez ozveny. Pre tieto tri prostredia je návrh experimentu a forma odpovedania rovnaká, líšia sa iba v malých detailoch, ktoré spomeniem v častiach kde to bude potrebné.

Začneme stručným zopakovaním typov prehrávaných stimulov, ktoré je bližšie popísané v samotných prácach [1.] a [2.]. Avšak, kde oni používajú pojem „distraktor“, my budeme hovoriť „adaptor“.

Typy stimulov sú potom nasledovné:

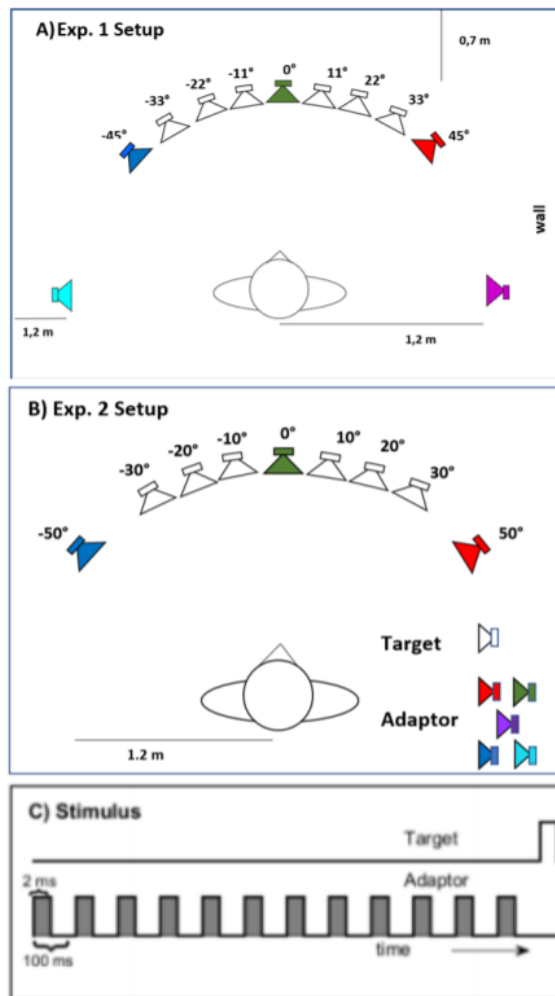
- TARGET
- ADAPTOR
- NULOVÝ STIMUL

Nulový stimul je tichá pauza, ktorá sa skončí stlačeným klávesnice „Enter“, preto sa na tento typ ďalej v práci nebudeme odkazovať.

Tieto typy stimulov boli prehrávané v kolách:

- BASELINE
- KONTEXTUÁLNE KOLO

Obr. 1 názorne ukazuje rozmiestnenie reproduktorov a miesto, kde sedí poslucháč. Ďalej ukazuje ako vyzeral stimul.

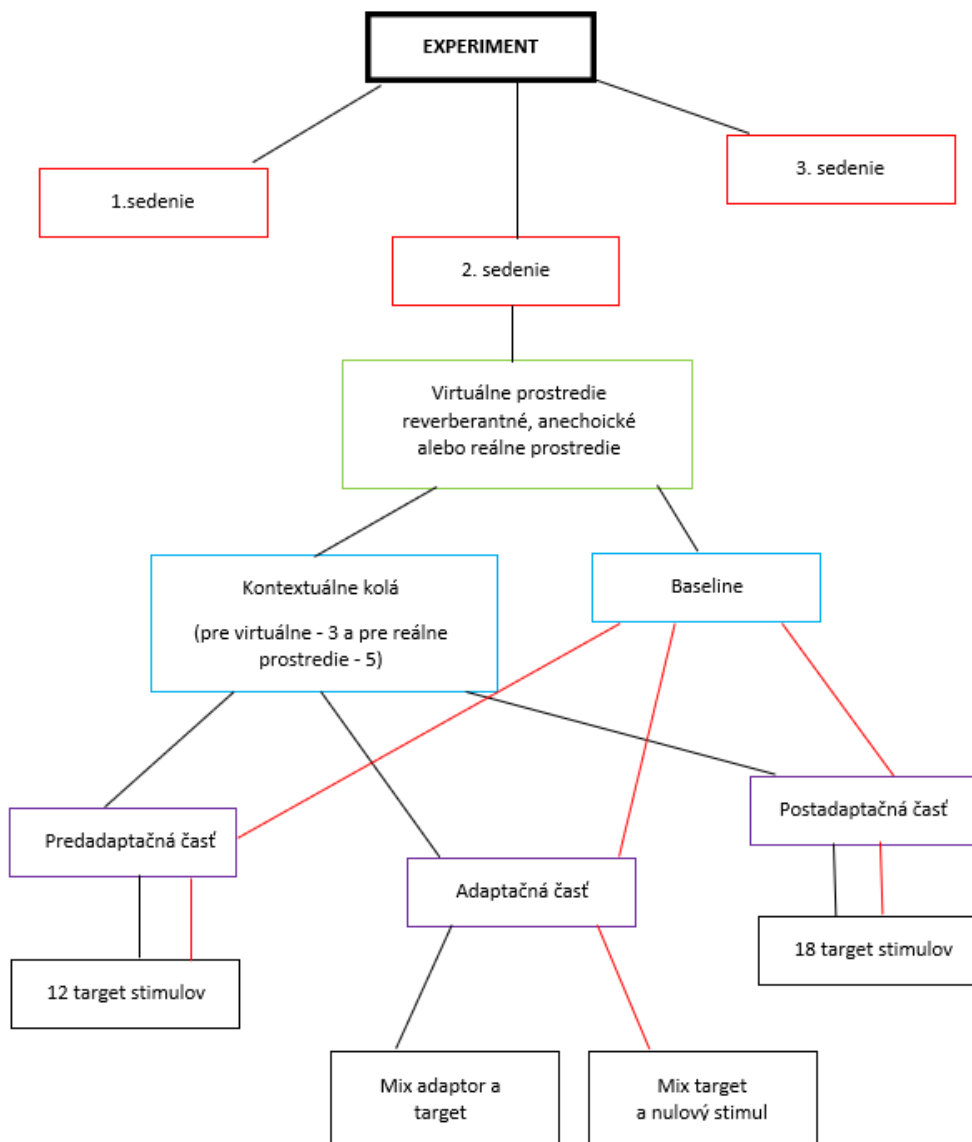


*Obr. 1 – experimentálny setup*

Forma odpovedania je použitá taká, ktorá je popísaná v práci [1.]. Subjekty odpovedali pomocou klávesnice, ktorá bola umiestnená na mieste, kde sedel subjekt. Pozície definoval premietací pás, na ktorom boli dvojice znakov, ktoré reprezentovali jednotlivé stupne. Subjekt zadal danú dvojicu na klávesnici a tým zaznamenal miesto, odkiaľ počul prichádzať stimul. Natočenie a polohu hlavy sme kontrolovali pomocou zariadenie „Polhemus tracker“. Dbali sme na to, aby pred každým prehratím stimulu mal subjekt hlavu nasmerovanú na stupeň 0.



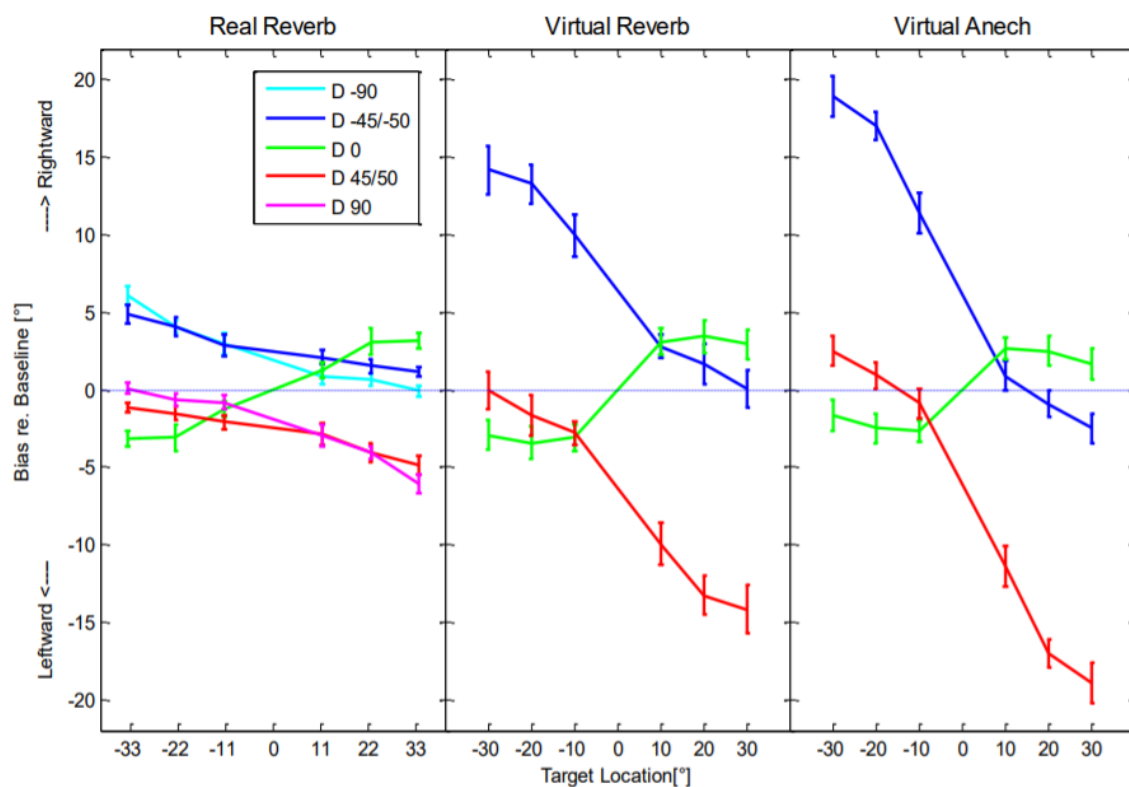
Aké bolo presné poradie kôl a stimulov je detailne popísané pre reálne prostredie v práci [1.] a pre virtuálne prostredia v práci [2.]. Pre lepšie pochopenie si však vykreslíme všeobecnú štruktúru experimentu (Obr. 2)



Obr. 2 – štruktúra experimentov

## Výsledky experimentov

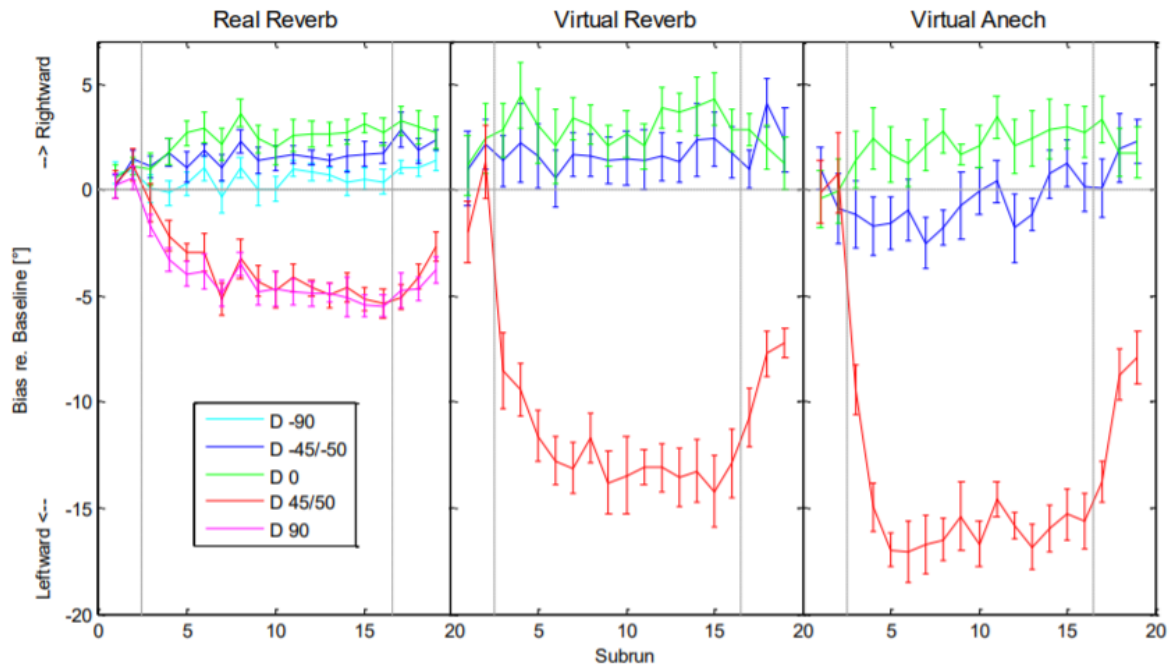
Na nasledujúcich obrázkoch vykresľujeme dáta pre reálne prostredie a pre virtuálne prostredie.



Na tomto grafe je znázornený rozdiel medzi odpoveďami subjektov pri kontextuálnom kole a pri baseline kole pre jednotlivé pozície targetov (zvuk, ktorý mali subjekty lokalizovať).

Záporné hodnoty naznačujú, že subjekt lokalizoval target v smere doľava od adaptora a kladné hodnoty hovoria o akú odchýlku ide smerom doprava od adaptora.

Môžeme vidieť, že odchýlka (rozdiel) sa zväčšuje smerom ku adaptoru a znižuje, čím je prehrávaný target ďalej od prehrávaného adaptora. Taktiež môžeme vidieť, že odchýlka dosiahnutá pri kontextuálnom kole, kde bol adaptor na +/- 90, +/- 45 alebo 50 stupňoch je väčšia ako odchýlka pre adaptor na 0 stupňoch. Väčší rozdiel vidíme pre virtuálne prostredie a konkrétne pre virtuálne anechoické.



Zamerali sme sa aj na časový priebeh a vývin kontextuálnej plasticity počas kontextuálneho kola.

Vplyv kontextuálnej plasticity rastie najrýchlejšie pre adaptor na + 90 a + 45 stupňoch pre reálne prostredie a pre adaptor na + 50 stupňoch pre virtuálne. Pomalšie sa buduje kontextuálna plasticita pre frontálny adaptor (čiže adaptor na 0 stupňoch) a pre adaptory na ľavej strane.

Ak porovnáваме výsledky pre rôzne prostredia, rýchlejšie rastie vo virtuálnom prostredí a najrýchlejšie vo virtuálnom anechoickom prostredí.

# ANOVA

Na štatistickú analýzu budeme používať metódu ANOVA (The Analysis of Variance). Budeme skúmať závislosť medzi rôznymi faktormi ako napríklad prostredie, v ktorom sa zvuky prehrávali, ktorý adaptor (rušivý stimul) bol prehrávaný a ako ovplyvňoval lokalizáciu targetov (zvukov, ktoré mal subjekt lokalizovať).[14.]

## ANOVA

- analýza rozptylu, matematická štatistická metóda, ktorá zisťuje závislosť premennej  $Y$  na jednom alebo viacerých faktoroch. Hovorí, či na výsledok jednotlivca alebo skupiny má štatisticky významný vplyv nejaká podmienka. Ak ide o skupiny, tak porovnáva priemery skupín. Výhoda je hlavne v tom, že môžeme porovnávať ľubovoľný počet priemerov.

## Typy analýzy:

- medzi skupinami
- v rámci skupiny

Používali sme v práci obe typy. Pretože pri porovnávaní subjektov pre virtuálne prostredie, subjekty absolvovali experiment pre virtuálne anechoické aj virtuálne reverberantné prostredie, ide teda o ANOVA v rámci skupiny. Na experimente pre virtuálne prostredie a reálne prostredie sa podieľali iní ľudia, a teda ide o ANOVU medzi skupinami.

## Typy podľa toho, koľko máme faktorov:

- one-way (jednocestná)
- two-way
- faktorial

V práci sme najčastejšie používali faktory:

- Prostredie (virtuálne reverberantné, anechoické a reálne)
- Pozíciu targetu
- Pozíciu adaptoru

Závislou premennou bol bias alebo smerodajná odchýlka.

# Analýza a vykreslenie časov odpovedí subjektov v experimente v reálnom a virtuálnom prostredí

Analýzu vykonávame na základe .log súboru pre každý subjekt. Pre každý trial máme uložené tieto údaje:

- Čas uloženia konkrétneho logu
- Poradové číslo
- Číslo session
- Číslo runu, to znamená, ktorý adaptor sa prehrával počas celého runu
- Číslo targetu, ktorý sa prehráva
- O aký trial ide: 0 – target, 1- adaptor
- Číslo prvého znaku
- Číslo druhého znaku
- Čas odpovedania subjektu

Zápis target trialu a adaptor trialu sa líšil tým, že pri poslednom stĺpci (čas odpovede) je nula pri adaptore a číslo pri target triale.

Target trial:

20200810T140608	4	1	3	4	0	0	55	57	6.359
-----------------	---	---	---	---	---	---	----	----	-------

Adaptor trial:

20200810T140718	15	1	3	2	1	1	48	48	0
-----------------	----	---	---	---	---	---	----	----	---

Iný počet trialov bol prehrávaný pri experimente vo virtuálnom prostredí a pri experimente v reálnom prostredí.

Pre celý experiment v reálnom prostredí máme 3564 logov. Každý deň (3 dni) po 6 kôl, v rámci ktorého bolo prehrávaných 198 trialov, 84 adaptor trialov a 114 target trialov, čo je 50 percent pre adaptor a 50 percent pre target trial v adaptačnej časti runu.

Pre celý experiment vo virtuálnom máme 4752 logov. Každý deň (3 dni) po 8 kôl (4 kolá pre echoické prostredie a 4 kolá pre anechoické), v rámci ktorého bolo prehrávaných 198 trialov - 84 adaptor trialov a 114 target trialov, čo je 50 percent pre adaptor a 50 percent pre target trial v adaptačnej časti runu.

RT je skratka pre „response time“. Začína sa počítať tesne pred prehratím zvuku. Timestamp na začiatku riadku zaznamenáva celý trial, čiže rt a úvodné výpočty.

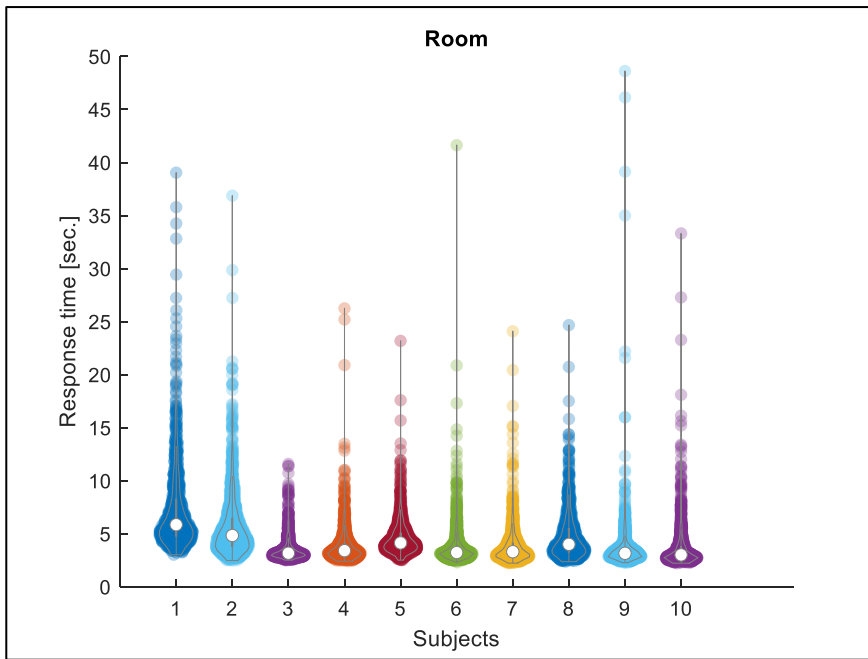
V tomto .log súbore však neboli stále iba tieto hodnoty. Stalo sa, že tam niektoré čísla boli dvakrát po sebe, ak mal subjekt problém pri zadávaní dvojice znakov vysvietených na páse alebo tam boli celé desiatky čísel navyše, čo sa stalo, ak musel subjekt začať daný run od začiatku. Išlo pravdepodobne iba o preklepy a drobné nedostatky, prípadne naliehavé problémy, preto sme prvý výskyt z tejto dvojice riadkov odstránili.

Pri vykresľovaní grafu pre reálne prostredie, vynecháme jednu hodnotu, ktorá má nad 700 sekúnd a je na začiatku runu, takže predpokladáme, že mal subjekt prestávku, len omylom preklikol už na začiatok runu.

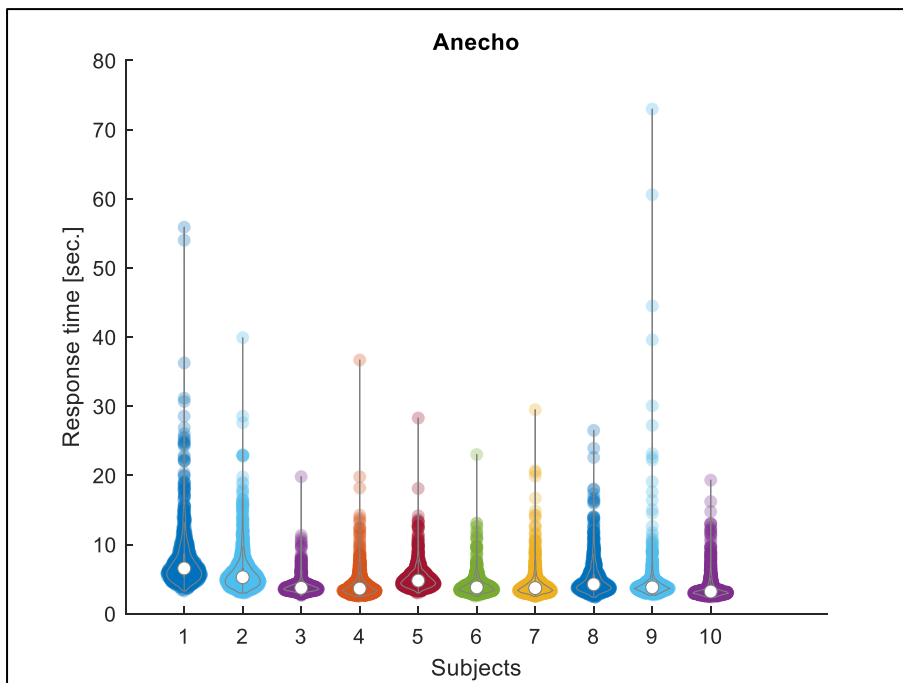
Pri bližšej analýze dát sme museli niektoré sessions (dni) pre určité subjekty vymazať. Tieto upravené dáta sme používali aj na vykreslenie grafov na poster, a teda aj teraz budeme pracovať iba s týmito dátami.

*Pozn. Vymazali sme session 2 pre subjekt číslo 1 a session 1 pre subjekt číslo 8.*

Na nasledujúcich grafoch 1. – 3. zobrazíme pomocou violin grafov časy odpovedania subjektov pre TARGET TRIALY.

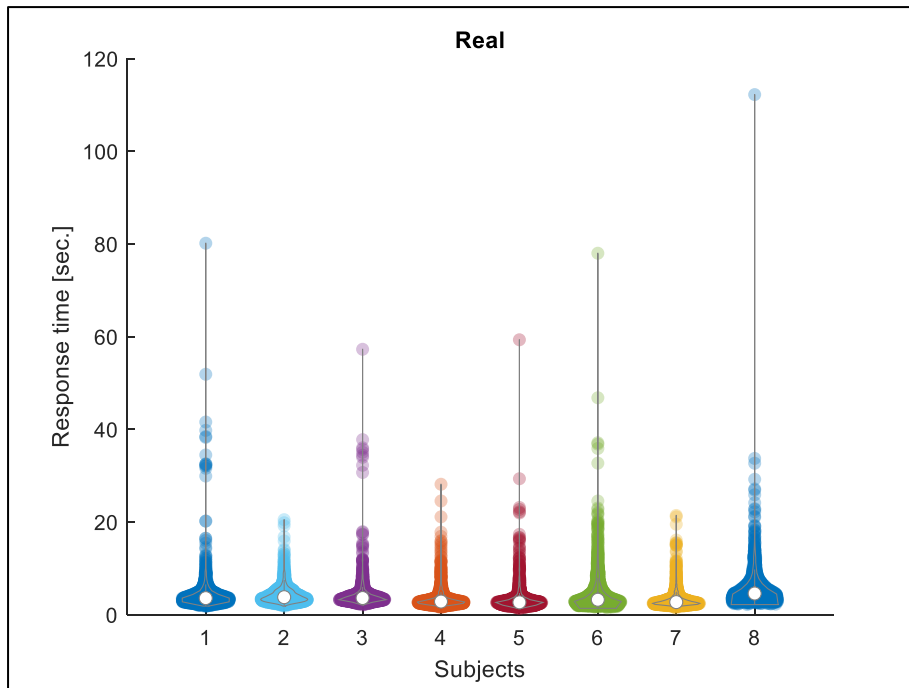


Obr. 1 – Čas pri odpovedaní pre virtuálne prostredie s ozvenou



Obr. 2 – Čas pri odpovedaní pre virtuálne prostredie bez ozveny



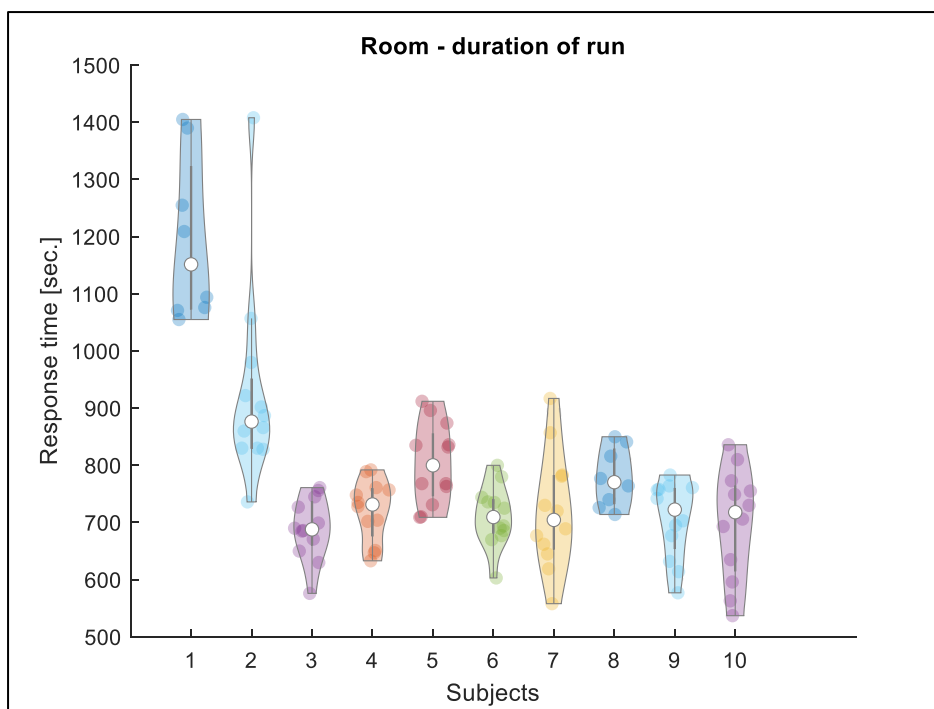


Obr. 3 – Čas pri odpovedaní pre reálne prostredie

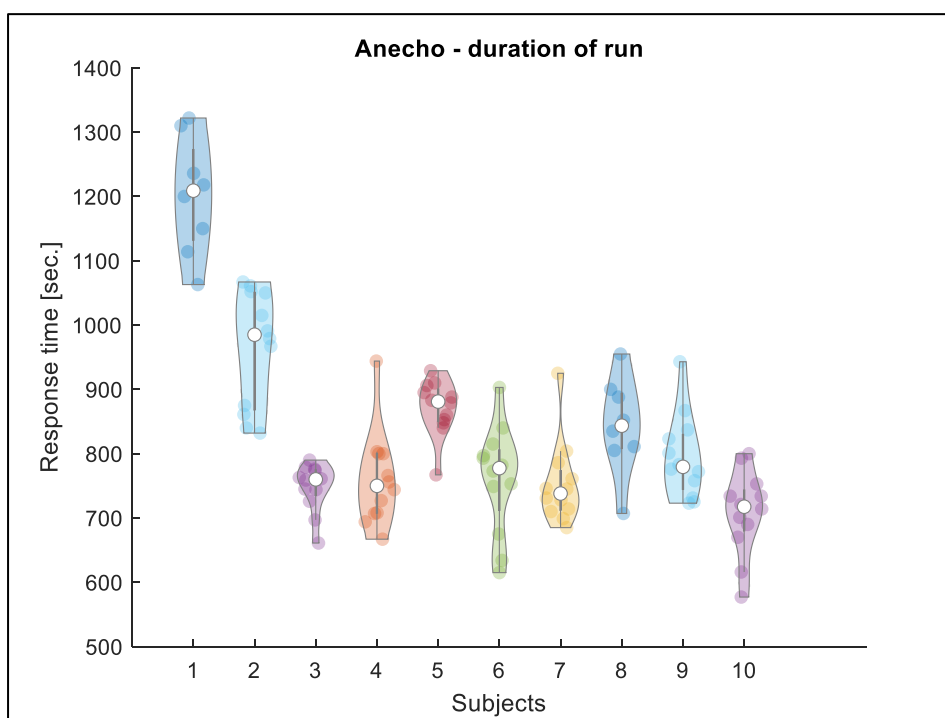
V ďalšej časti sa pozrieme osobitne na target trialy, ale aj adaptor trialy a ako dlho prebiehal daný trial. Čas získame z prvého údaju v .log súbore a to je časová stopa, kedy sa zapísal daný riadok do súboru.

Celý zápis počas experimentu si rozdelíme na runy a budeme skúmať časy v rámci nich. Hodnoty potom sčítame dohromady. Preto to robíme týmto spôsobom, pretože čas na začiatku runu je stále najväčší a ak by sme daný čas odčítali od predchádzajúceho, vychádzali by nám nesprávne veľké čísla a to len pre to, že subjekt si medzi runami mohol dať prestávku. Taktiež chceme zistiť, koľko trval samotný run.

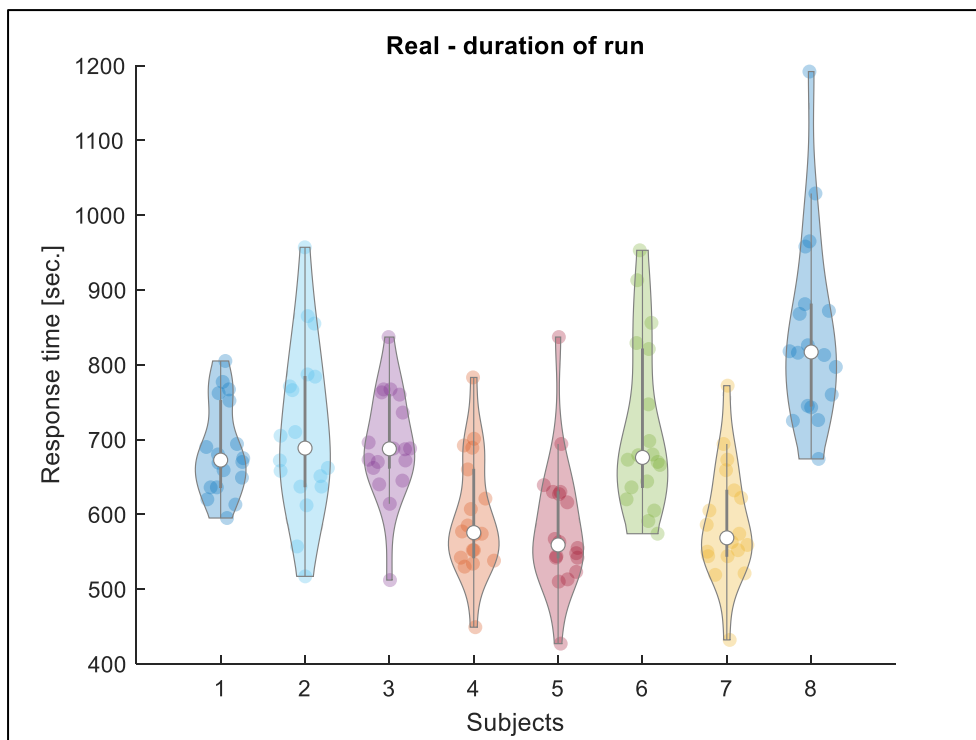
Na obrázkoch 11.-13. vykreslíme celkový čas trvania runu pre jednotlivé prostredia.



Obr. 11 – Celkové trvanie runu vo virtuálnom prostredí s ozvenou



Obr. 12 – Celkové trvanie runu vo virtuálnom prostredí bez ozveny



Obr. 12 – Celkové trvanie runu vo virtuálnom prostredí bez ozveny

Priemery pre všetky 3 prostredia sú:

- Target (priemer 3 mediánov): 3.9094
- Adaptor (priemer 3 mediánov): 2.6355
- Run (priemer 3 mediánov): 726.583

Rovnica (ak chceme zachovať pomer medzi target trialom a adaptorom **1.6 : 1**):

$$1.6 * x * 114 + x * 84 = 726.583$$

$$x = 2.7274$$

$$1.6 * x = 2.7274 * 1.6 = 4.3639$$

**Pre pomer 1.48 : 1**

$$3.91 / 2.64 = 1.4811$$

Priemerná dĺžka trialov:

- Adaptačný -  $726.6 / (1.48 * 114 + 84) = 2.8751$
- Target -  $2.8751 * 1.48 = 4.2552$

## **ZÁVER**

Ak máme 198 trialov v jednom rune, kde máme 114 target trialov, ktoré priemerne trvajú 4.3 sekundy a 84 adaptor trialov, kde jednotlivý trial trvá 2.9 sekundy, spolu budeme mať 12 minútový run. Ak nezohľadňujeme typ trialu, priemerne trvá 3.7 sekundy.

# SMERODAJNÁ ODCHÝLKA

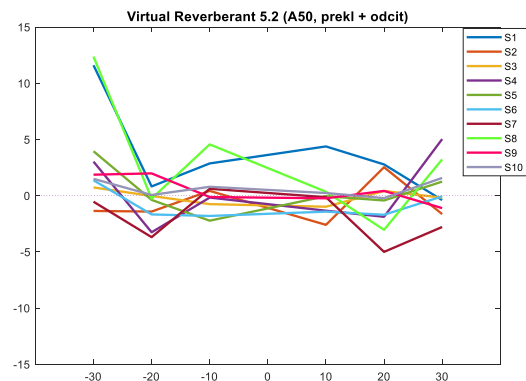
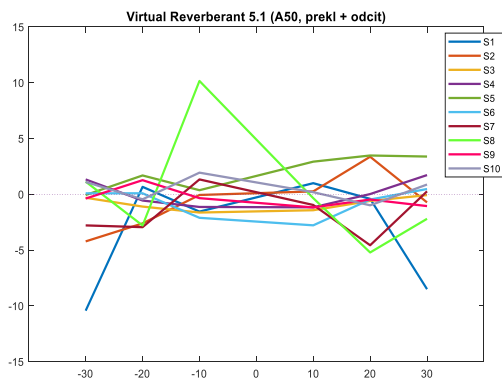
Ako ďalšiu analýzu sme použili smerodajnú odchýlku.

V štúdiu [15.] hovorí autor o zmene sluchovej priestorovej reprezentácie pri určitých podnetoch z okolia poslucháča. Záverom štúdie je, že v blízkosti adaptora sme citlivejší na polohu stimulu, takže vieme určiť, ktorý stimul je viac vpravo alebo vľavo, aj keď ide o malé rozdiely v polohe zvuku.

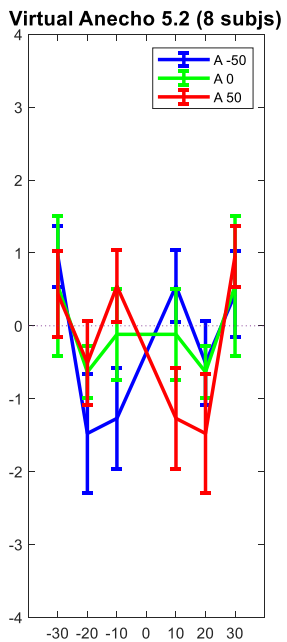
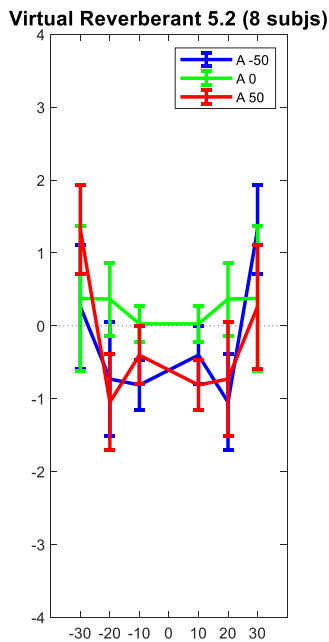
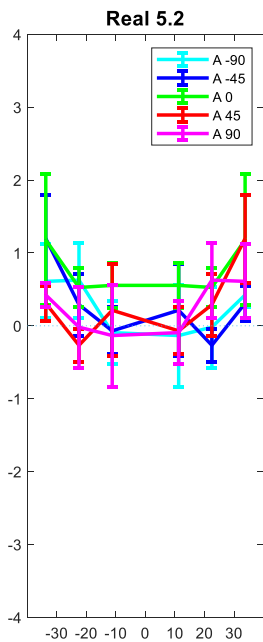
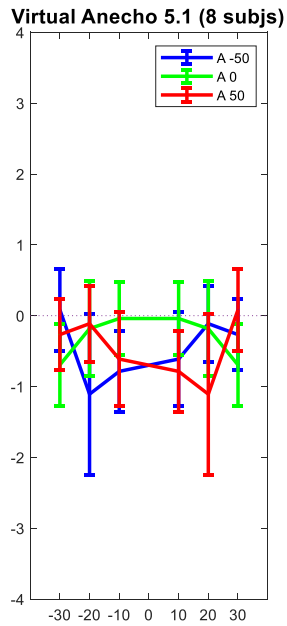
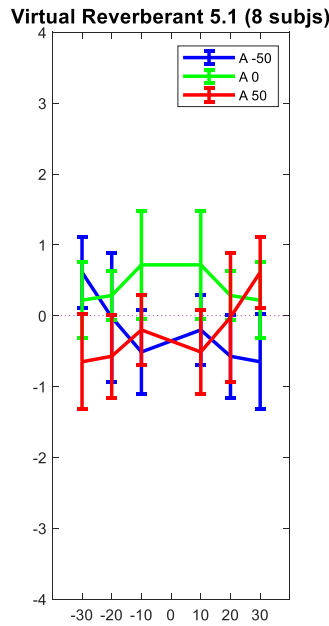
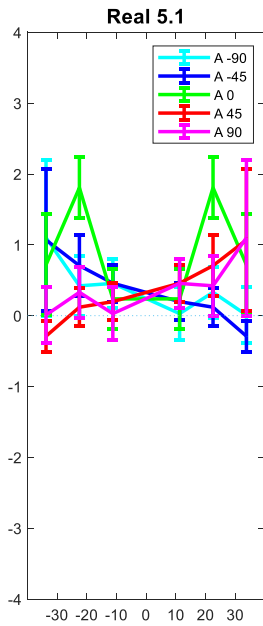
Použili sme teda smerodajnú odchýlku na našich dátach a vykreslili sme aké odchýlky dosahovali subjekty pri lokalizácii stimulov v blízkosti adaptora a aj pri stimuloch vzdialených od adaptora.

Pozerali sme sa na adaptačnú časť kontextuálneho kola, kde bol prítomný adaptor. Adaptačnú časť sme rozdelili na polovicu a tak sme skúmali citlivosť poslucháčov. Prvá polovica adaptačnej časti je zapísaná ako 5.1 a druhá polovica je označená ako 5.2. Skúmali sme však aj citlivosť pre celú adaptačnú časť.

Vykreslili sme si spriemerované dáta pre jednotlivé subjekty.

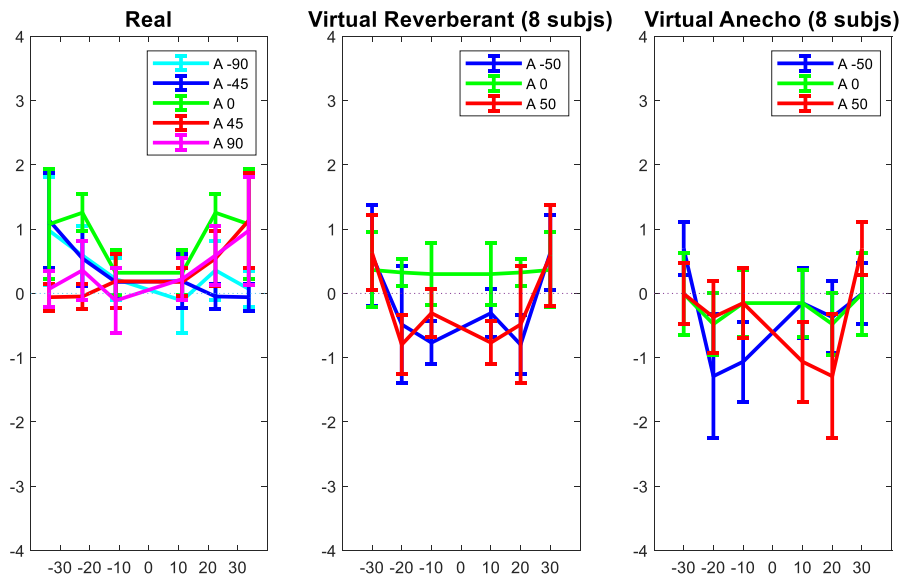


Z týchto výsledkov vieme povedať, že subjekt 1 a subjekt 8 sa správali inak ako ostatní, preto sme ich z ďalších analýz vynechali. Ďalej zobrazíme dáta pre 8 subjektov.



Ako prvé sa pozrieme na jednotlivé časti adaptačnej časti a popíšeme ich. Dáta sú zobrazené po odčítaní baseline. V reálnom prostredí je smerodajná odchýlka kladná aj po odčítaní baseline, to znamená, že subjekty v kontextuálnych kolách odpovedali pre jednotlivé targety s väčšou odchýlkou.

Vo virtuálnom prostredí máme po odčítaní baseline aj záporné hodnoty, to znamená, že pre určité targety bola odchýlka pri odpovedaní v baseline väčšia ako v kontextuálnom kole.



Pozrieme sa aj na celú adaptačnú časť a jej výsledky.

Výsledky sú približne rovnaké ako pre jednotlivé časti adaptačnej časti.

Po aplikovaní ANOVY nám žiaden faktor nevyšiel ako signifikantný, no trend je skôr opačný ako je popísané v štúdiu [15].

## KORELÁCIE

Korelácie sú sprimerované cez sessions a následne cez subjekty. V ďalšej časti som vykreslila korelácie pre všetky subjekty v jednotlivých kolách. Výsledky sú pre nepreklopené dáta a iba pre 9 subjektov pre virtuálne prostredie.

Tabuľka pre všetkých 6 targetov

<b>PROSTREDIE</b>	<b>-90</b>	<b>-45/50</b>	<b>0</b>	<b>45/50</b>	<b>90</b>	<b>Baseline</b>
Reálne	0.9682	0.9714	0.9743	0.9757	0.9738	0.9831
Virtuálne reverberantné	-	0.9460	0.9698	0.9522	-	0.9628
Virtuálne anechoické	-	0.9322	0.9576	0.9125	-	0.9560

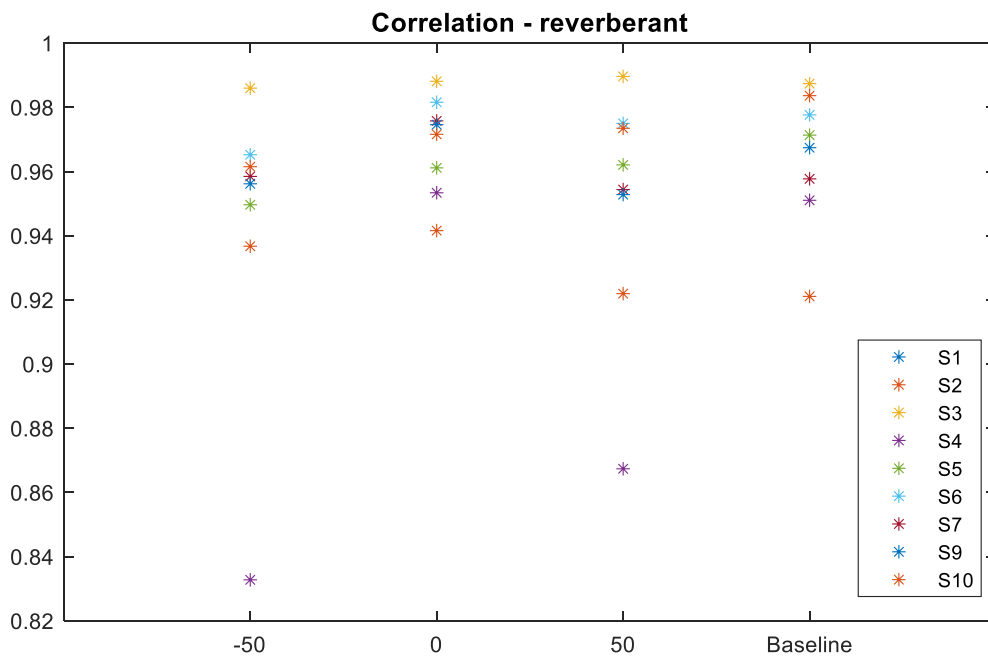
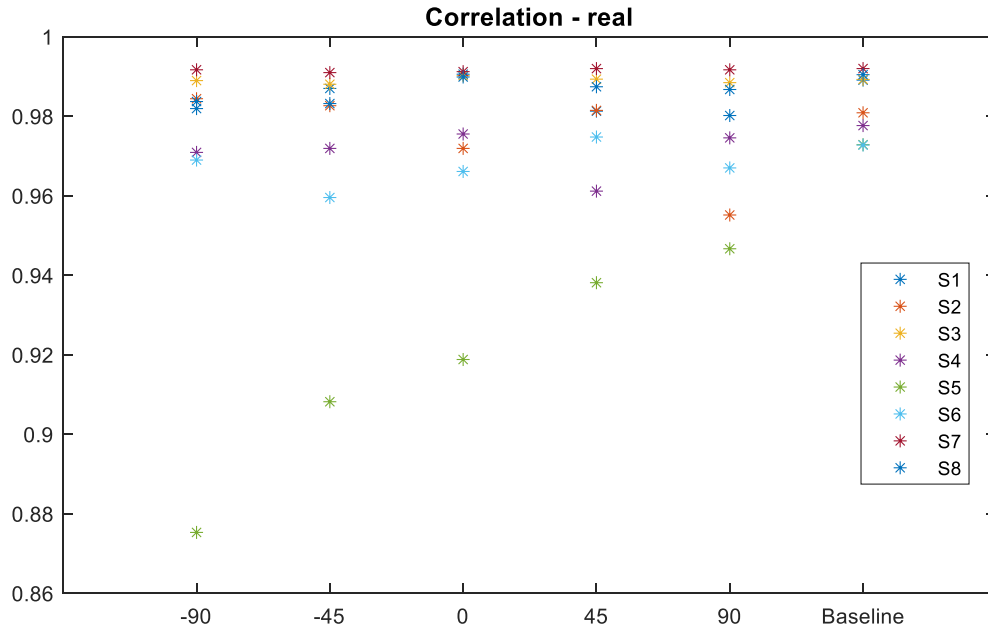
Tabuľka, pre pravé targety – 11.25/10, 22.5/20, 33.75/30

<b>PROSTREDIE</b>	<b>-90</b>	<b>-45/50</b>	<b>0</b>	<b>45/50</b>	<b>90</b>	<b>Baseline</b>
Reálne	0.9016	0.9036	0.8775	0.8427	0.8370	0.9165
Virtuálne reverberantné	-	0.7854	0.8203	0.7864	-	0.7988
Virtuálne anechoické	-	0.7375	0.7735	0.6699	-	0.8025

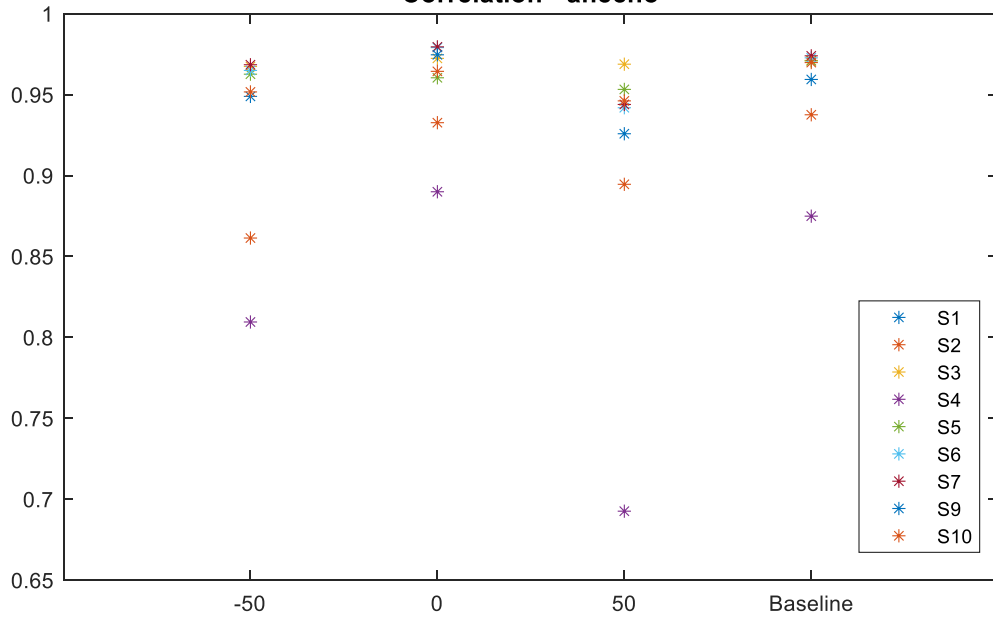
Tabuľka pre ľavé targety – -11.25/-10, -22.5/-20, -33.75/-30

<b>PROSTREDIE</b>	<b>-90</b>	<b>-45/50</b>	<b>0</b>	<b>45/50</b>	<b>90</b>	<b>Baseline</b>
Reálne	0.8194	0.8506	0.8777	0.8948	0.8895	0.8999
Virtuálne reverberantné	-	0.7583	0.8188	0.8197	-	0.8340
Virtuálne anechoické	-	0.7074	0.7499	0.7231	-	0.7839





Correlation - anecho



## Miera informačného prenosu

Ako ďalšiu analýzu našich dát budeme používať mieru informačného prenosu (po anglicky Information transfer rate).

Táto analýza sa bežne používa pri analýze vedeckých dát. Použitá bola aj v štúdiu [16.]. Táto štúdia skúmala, ako je vnímanie určitých spoluhlások ovplyvnené predchádzajúcim "carrier" stimulom. Bolo prehrávaných 16 rôznych spoluhlások. V experimente boli použité tri prostredia – reverberantné 1, reverberantné 2 a anechoické. Reverberantné prostredia sa líšili veľkosťou miestnosti, v ktorej boli nahrávané, a vzdialenosťou od mikrofónu.

Na analýzu dát z experimentov použili mieru informačného prenosu (ITR).

ITR vieme vypočítať pomocou entropie [17.]. Entropia je veličina, ktorá meria neurčitosť, náhodnosť systému. Poznáme tiež podmienenú entropiu. Pre akékoľvek konkrétnu hodnotu  $i$ , o ktorej  $x$  môže predpokladať, že existuje podmienená pravdepodobnosť  $p_i(j)$ , že  $y$  má hodnotu  $j$ . Podmienenú entropiu  $y$ ,  $H_x(y)$  definujeme ako priemer entropie  $y$  pre každú hodnotu  $x$ , vážený podľa pravdepodobnosti získania konkrétneho  $x$ .

# Testovanie dát

Aby sme sa mohli spoliehať na výsledky, ktoré nám poskytne ANOVA, naše dáta musia spĺňať určité predpoklady.

Základné predpoklady, ktoré sa testujú v repeated-measures ANOVA je normalita a sféricosť.

Normalitu môžeme testovať -

graficky:

- vykreslením histogramov
- box plotov

alebo použitím testov:

- Kolmogorov-Smirnov test
- Shapiro-Wilkov test

Sféricosť sa zvyčajne testuje *Mauchlyho testom*.

Pri každom teste testujeme nulovú hypotézu – je splnený predpoklad alebo nie je.

Ak nám pri testoch na normalitu vyjde „0“, znamená to, že neodmietame nulovú hypotézu a dáta sú normálne distribuované. Pri výsledku „1“ odmietame nulovú hypotézu, pretože dáta nie sú normálne distribuované.

Pri Mauchlyho teste nám vyjde buď signifikantná hodnota do 0.05 alebo vyššia. Ak je táto hodnota do 0.05, odmietame nulovú hypotézu, a teda sme porušili predpoklad sféricosti.

## Zdroje

1. Piková V. 2018. Mechanizmy kontextuálnej plasticity v lokalizácií zvukov: bakalárska práca Košice: Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, 2018.
2. Linková S. 2020. Sluchová kontextuálna plasticita vo virtuálnom prostredí: bakalárska práca Košice: Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, 2020.
3. Kopčo, N., Andrejkova G. (2020). Build-up of Contextual Plasticity in Anechoic and Reverberant Rooms
4. Keppel G., Zedeck S. (1989). Data analysis for research designs (ANOVA - the analysis of variance/ MRC – Multiple regression and correlation )
5. Kopčo, N., Marcinek, L', Tomoriová, B., and Hládek, L'. (2015). "Contextual plasticity, top-down, and non-auditory factors in sound localization with a distractor," J. Acoust. Soc. Am. 137, EL281–EL287.
6. Kopco, N., Best, V., and Shinn-Cunningham, B. G. (2007). "Sound localization with a preceding distractor," J. Acoust. Soc. Am. 121, 420–432.
7. Hládek, L., Tomoriová, B., and Kopčo, N. (2017). "Temporal characteristics of contextual effects in sound localization," J. Acoust. Soc. Am. 142, 3288–3296
8. Yost, W. A. (2000). Fundamentals of hearing: An introduction (4th ed.). San Diego: Academic Press.
9. Maxwell S. E., Delaney H.D., Kelly K. (2018). *Designing Experiments and Analyzing Data*
10. MOORE B.C.J. 2003. *An Introduction to the Psychology of Hearing*, Elsevier Science, 2003. 413 s. ISBN 0-12-505628-1

11. KORYTNIAK P. 2009. *Spracovanie ITD a kortikálna lokalizácia kontextuálnej plasticity pri priestorovom počúvaní*: diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009.
12. KOPČO, N. Introduction to neuroscience – Hearing: prednášky ku predmetu. 2019. Dostupné na internete: <https://ics.upjs.sk/~kopco/UPJSONLY/unv/unvt10sluch.pdf>
13. FRANCIS G. Sensory and perceptual processes: prednášky ku predmetu. 2006. Dostupné na internete: <http://www2.psych.purdue.edu/~gfrancis/Classes/PSY310/>
14. Howell, D.C. (2010). *Statistical Methods for Psychology* (7th ed.) Cengage Learning, Wadsworth.
15. Lingner, A., et al., 2018. *A novel concept for dynamic adjustment of auditory space*. Scientific Reports.
16. Vlahou E., et al., 2021. *Calibration of Consonant Perception to Room Reverberation*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research • Vol. 64 • 2956–2976
17. Dostupné na:  
<https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>