

Slovenská technická univerzita v Bratislave
Fakulta informatiky a informačných technológií

Tím č.2

Bc. Samuel Tkáč

Bc. Ondrej Vaško

Bc. Peter Vranec

Bc. Ladislav Kobza

Bc. Ján Švarc

Bc. Róbert Repka

Navigácia v nákupnom centre

Analýza, Špecifikácia, Návrh riešenia

Vedúci práce: Ing. Tomáš Kováčik, PhD.

November 2014

Zadanie

Stratili ste sa už v nákupnom centre a mapa nikde nablízku? Riešením môžu byť mobilné aplikácie, ktoré vám ukázu mapu. Problém je, že vám ale neukážu, kde sa v nej presne nachádzate. Tento problém je možné vyriešiť napr. vysielaním odlišných audio signálov z reproduktorov v jednotlivých častiach budovy, ich prijímaním v spomínanej mobilnej aplikácii a ich analýzou. Podľa analýzy prijatých signálov a ich intenzity je možné určiť polohu používateľa. Navrhните, implementujte a otestujte takýto systém.

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Motivácia a ciele	1
1.2	Zoznam skratiek	2
1.3	Slovník pojmov	2
2	Analýza	3
2.1	Zvukové vlny	3
2.2	Správanie sa zvukových vln	5
2.2.1	Odraz	5
2.2.2	Lom	5
2.2.3	Ohyb	6
2.2.4	Rušenie	6
2.3	Analýza frekvenčných spektier v hudbe a ruchu	6
2.3.1	V hudbe	6
2.3.2	Hluk v obchodnom centre	9
2.3.3	Zhodnotenie	9
2.4	Modulácia signálov do vysielania	9
2.4.1	CDMA	10
2.4.2	FDMA	10
2.5	Stochastická rezonancia	11
2.6	Metódy lokalizácie v priestore	13
2.6.1	Metóda Call-ID (príslušnosť k bunke) (proximity)	13
2.6.2	Proximity s výpočtom ťažiska	13
2.6.3	Proximity s výpočtom váženého ťažiska	14
2.6.4	Metóda fingerprint (odtlačok prsta)	14
2.6.5	Metóda postupného výpočtu polohy	15
2.6.6	Time Of Arrival	15
2.6.7	Multilaterácia	15
2.7	Systémy na reprodukciu zvuku využívané v nákupných centrách	17
2.7.1	Philips SM30 / SM40	18
2.7.2	Bosch Praesideo	19
2.8	Charakteristika reproduktorov využívaných v nákupných centrách	20
2.9	Vmodulovanie signálu do hudby	22
2.9.1	Wolfram Mathematica a Matlab	22
2.9.2	CSound	23

2.9.3	Python	23
2.9.4	Java	23
2.10	Počuteľnosť frekvencií nad 19kHz	23
2.10.1	Človek	23
2.10.2	Zvieratá	23
3	Existujúce riešenia	25
3.1	Shopkick	25
3.2	Daredevil	25
3.3	Lokalizácia vo vnútri budovy pomocou riadených okolitých zvukov	27
4	Návrh riešenia	28
4.1	Špecifikácia požiadaviek	28
4.1.1	Funkcionálne požiadavky	28
4.1.2	Nefunkcionálne požiadavky	28
4.1.3	Spracovanie zachyteného audiosignálu	29
4.2	Návrh riešenia	29
4.2.1	Návrh architektúry	29
4.2.2	Návrh mobilnej aplikácie	30
4.2.3	Voľba optimálnej frekvencie	32
	Literatúra	40

Zoznam obrázkov

1	Zmeny v koncentrácii vzduchových molekúl	4
2	Frekvenčné spektrum - Run run run - Celeste Buckingham	7
3	Frekvenčné spektrum - Avicii - Wake me up - FLAC	8
4	Frekvenčné spektrum - Avicii - Wake me up - MP3(256 Kbps)	8
5	Frekvenčné spektrum - Ruch v obchodnom centre	9
6	Pomer medzi kvalitou detekcie signálu a intenzitou šumu	11
7	Aplikácia prahovej stochastickej rezonancie	12
8	Aplikácia prahovej stochastickej rezonancie	12
9	Porovnanie charakteristík reproduktorov	20
10	Frekvenčná odozva reproduktora BOSCH LHM 0606/10	21
11	Frekvenčná odozva reproduktora BOSCH LBC 3086/41	21
12	Frekvenčná odozva reproduktora BOSCH LBC 3099/41	22
13	Navrhovaná architektúra systému	30
14	Navrhovaná architektúra mobilnej aplikácie	31
15	Modul lokalizácie	32
16	Aplikácia Sound Meter	34
17	Závislosť intenzity od frekvencie	35
18	Meranie intenzity signálu na frekvencii 2500 Hz	36
19	Meranie intenzity signálu na frekvencii 3000 Hz	36
20	Meranie intenzity signálu na frekvencii 3200 Hz	37
21	Meranie intenzity signálu na frekvencii 3500 Hz	37
22	Meranie intenzity signálu na frekvencii 4000 Hz	38
23	Smerová charakteristika a priestorová citlivosť mikrofónov	39

1 Úvod

Tento dokument je výsledkom činnosti vrámci prvej polovice semestra na predmete Tímový projekt I. Venuje sa analýze, špecifikácii požiadaviek a návrhu riešenia navigácie v nákupnom centre pomocou zvuku.

V úvodnej časti dokumentu podrobne analyzujeme zvukové vlny a ich správanie sa v prostredí. Ďalej analyzujeme frekvenčné spektrá vyskytujúce sa v hudbe a v ruchu, rôzne prístupy modulácie signálu a modulácie kódov do vysielania, venujeme sa metóde stochastickej rezonancie na detegovanie originálneho signálu zo šumu a prinášame prehľad rôznych prístupov na lokalizáciu v priestore.

Taktiež dokumentujeme najčastejšie využívané systémy na reprodukciu zvuku vo veľkopriestorových objektoch, ako aj charakteristiky reproduktorov umiestňovaných do takýchto budov. V poslednej časti analýzy dokumentujeme rôzne možnosti modulácie signálu do zvuku.

V druhej kapitole podrobne opisujeme existujúce riešenia a projekty venujúce sa navigácii pomocou zvuku vo vnútri budov.

V tretej kapitole sa venujeme opisu riešenia. Na začiatku špecifikujeme funkcionálne a nefunkcionálne požiadavky na vytváraný systém a mobilnú aplikáciu. Následne, na základe týchto požiadaviek, navrhujeme architektúru systému a spôsob implementácie mobilnej aplikácie.

Vo štvrtej kapitole hodnotíme doterajšie výsledky práce v tomto semestri.

V piatej kapitole uvádzame zoznam použitej literatúry.

1.1 Motivácia a ciele

Nakupovanie a trávenie voľného času je v súčasnosti obrovským fenoménom najmä pre ľudí žijúcich vo veľkých mestách. Častokrát rodiny trávia víkendy v obrovských nákupných centrách, ktoré im poskytujú všetko čo potrebujú od posedenia pri fontáne, naobedovania sa až po zabavenie sa v kinách alebo športovanie vo fitness centrách. Nákupné centrá dospeli do štádia, keď ich neustále sa zväčšujúca rozloha a narastajúci počet obchodov a zábavných miest spôsobuje, že ľudia sú často dezorientovaní a v tých horších prípadoch totálne stratení.

Štatistiky hovoria, že v súčasnosti disponuje telefónom viac ako 80% svetovej populácie, pričom smartfón vlastní okolo 40% z nich. Používatelia smartfónov sú zvyknutí, že je ľahké nájsť reštauráciu v meste, prípadne nechať sa navigovať na najbližšiu autobusovú zastávku. To však neplatí ak sa nahádza vo vnútri nejakej budovy.

Ako je všeobecne známe, GPS signál nie je dostupný v budovách. Na navigáciu v takýchto priestoroch je potrebné vymyslieť nový spôsob. Je potrebné zabezpečiť, že takýto spôsob bude možné nasadiť do už fungujúcej infraštruktúry budovy, a samozrejme uvažovať aj o širokom nasadení u používateľov.

Cieľom tejto práce je vymyslieť a navrhnuť architektúru systému na navigáciu a následne implementovať potrebné časti na jej úspešné fungovanie.

1.2 Zoznam skratiek

GPS - Global Positioning System

1.3 Slovník pojmov

2 Analýza

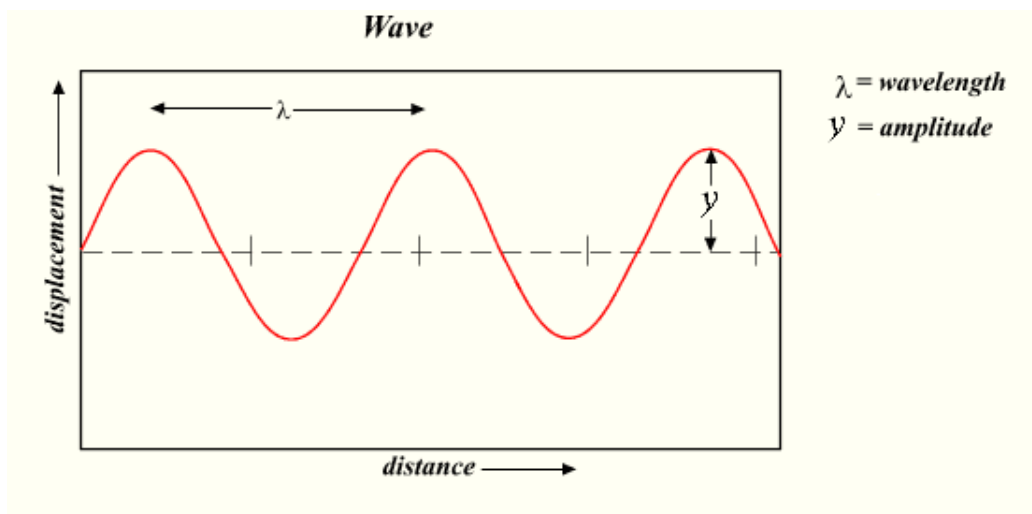
V úvodnej časti tejto kapitoly podrobne analyzujeme zvukové vlny a ich správanie sa v prostredí. Ďalej analyzujeme frekvenčné spektrá vyskytujúce sa v hudbe a v ruchu, rôzne prístupy modulácie signálu a modulácie kódov do vysielania, venujeme sa metóde stochastickej rezonancie na detegovanie originálneho signálu zo šumu a prinášame prehľad rôznych prístupov na lokalizáciu v priestore.

Taktiež zdokumentujeme najčastejšie využívané systémy na reprodukciu zvuku vo veľkopriestorových objektoch, ako aj charakteristiky reproduktorov umiestňovaných do takýchto budov. V poslednej časti analýzy zdokumentujeme rôzne možnosti modulácie signálu do zvuku.

2.1 Zvukové vlny

Zvuk je generovaný vibrujúcimi objektami. Vibrujúci objekt produkuje zvukové vlny vo vzduchu (alebo inom médiu), pretože sa pohybuje k a od vzduchu vedľa neho. Keď sa objekt hýbe k vzduchu, molekuly vzduchu sa od neho odrazia s väčšou ako normálnou energiou a rýchlosťou. Na moment má preto vzduch pri objekte väčšiu ako normálnu koncentráciu molekúl vzduchu – stane sa oblasťou kompresie. Tieto molekuly s väčšou energiou a rýchlosťou narážajú do ostatných molekúl a tak sa táto oblasť šíri ďalej. Keď sa objekt hýbe smerom od vzduchu, molekuly vzduchu sa od neho odrazia s menšou energiou a rýchlosťou ako normálne. Na moment má preto vzduch pri objekte menšiu ako normálnu koncentráciu molekúl vzduchu – stane sa oblasťou riednutia. Tieto molekuly s menšou energiou a rýchlosťou narážajú do ostatných molekúl a tak sa táto oblasť šíri ďalej [5].

Zvukové vlny sú viditeľné, keď sa znázorní graf koncentrácie vzduchových molekúl na zvolenom mieste, ktorým prechádzajú striedajúce sa pulzy koncentrácie a riednutia. Krivka grafu znázorňuje zmeny v koncentrácii, začína v bode, kedy je koncentrácia normálna a pulz koncentrácie. Vzďialenosť každého bodu na krivke od osi x znázorňuje zmenu v koncentrácii vzhľadom na normálnu [5].



Obr. 1: Zmeny v koncentrácii vzduchových molekúl¹

Každá kompresia a následné riedenie tvoria jeden cyklus. Frekvencia zvuku je meraná v cykloch za sekundu. Amplitúda je najväčšia hodnota, ktorou sa koncentrácia líši od normálnej. Vlnová dĺžka zvuku je vzdialenosť, ktorú prekoná za jeden cyklus. Je závislá od rýchlosti zvuku a frekvencie, podľa vzorca:

$$\text{vlnová dĺžka} = \frac{\text{rýchlosť}}{\text{frekvencia}}$$

alebo

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Z toho vyplýva, že zvuky s vyššou frekvenciou majú kratšie vlny ako tie s frekvenciou nižšou. Zvukové vlny v spektre počuteľnom pre ľudí (15 Hz – 20 kHz) majú vlnové dĺžky od 23 metrov do 1,7 centimetra.

Intenzita udáva množstvo prenesenej energie. Je priamo úmerná druhej mocnine amplitúdy. Intenzita je udávaná v jednotkách watt na centimeter štvorcový (W/cm²) alebo v decibeloch (db). Decibelová škála je definovaná nasledovne: Intenzita 10-16 W/cm² je rovná 0 db. Každé zdesaťnásobenie amplitúdy vo W/cm² znamená nárast o 10 db.

Intenzita zvuku sa rapídne znižuje so vzdialenosťou od zdroja. Pre malé objekty, ktoré šíria energiu uniformne vo všetkých smeroch platí, že intenzita je nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti od zdroja.

¹Prevzaté z <http://www.dicts.info/img/ud/a/amplitude.png>

Výška (pitch) zvuku závisí od frekvencie, vo všeobecnosti zvýšenie frekvencie znamená zvýšenie výšky zvuku. Ak sa zdroj zvuku hýbe relatívne rýchlo smerom k poslucháčovi, má zvuk vyššiu výšku, ak sa naopak hýbe od poslucháča má nižšiu výšku. Toto je spôsobené Dopplerovým efektom kvôli tomu, že zvuk sa šíri vo vlnách.

Vo všeobecnosti zvýšenie intenzity spôsobuje zvýšenie hlasitosti. Hlasitosť sa však nezvyšuje priamo proporcionálne s intenzitou. Hlasitosť zvuku sa zdvojnásobuje každým zvýšením intenzity o 10 db. Hlasitosť je tiež ovplyvnená frekvenciou, keďže ľudské ucho vie vnímať niektoré frekvencie lepšie ako iné. Napríklad zvuk s frekvenciou 2-5 kHz je počuteľný pri intenzite 0 db, s frekvenciou 100 Hz pri intenzite 30 db a s frekvenciou 10 kHz pri intenzite 20 db. 120-140 db je hranica, ktorá spôsobuje fyzickú bolesť [5].

Rýchlosť zvuku závisí od elasticity a hustoty média, ktorým sa šíri. Všeobecne sa zvuk šíri rýchlejšie v kvapalinách ako v plynách a rýchlejšie v pevných látkach ako v kvapalinách. Čím je väčšia elasticita média a menšia hustota, tým sa zvuk šíri rýchlejšie, čiže

$$\text{rýchlosť} = \frac{\text{elasticita}}{\text{hustota}}$$

Rýchlosť zvuku v materiáloch závisí aj od teploty (hlavne u kvapalín a plynov), pretože zmena teploty ovplyvňuje hustotu materiálu [5].

2.2 Správanie sa zvukových vln

Tak ako všetky ostatné vlny, aj zvukové vlny sa môžu odrážať, lámať a ohýbať.

2.2.1 Odraz

Zvuk sa konštantne odráža od rôznych povrchov [5][14]. Väčšina z nich nie je pozorovaná, pretože dva identické zvuky, ktoré sú vzdialené menej ako 1/15 sekundy nie sú ľudským uchom rozpoznateľné. Ak je odrazený zvuk počutý odlišne, tak sa nazýva ozvena.

Zvuk sa odráža od povrchu pod rovnakým uhlom pod akým naň dopadol. Tento fakt umožňuje sústrediť zvuk pomocou zakrivených odrazových priestorov, presne ako sa zakrivené zrkadlá používajú na sústredenie svetla.

2.2.2 Lom

Keď sa zvuková vlna šíri z jedného materiálu na druhý pod určitým uhlom, tak väčšinou zmení rýchlosť, čo spôsobuje zakrivenie začiatku vlny [5][14].

2.2.3 Ohyb

Keď sa zvukové vlny šíria okolo objektu alebo cez otvor v prekážke, tak sa okraj prekážky alebo otvor správa ako sekundárny zdroj zvuku, ktorý vysiela zvukové vlny rovnakej vlnovej dĺžky a amplitúdy, ale nižšej intenzity ako originálny zdroj [5][14]. Šírenie zvukových vln sekundárnym zdrojom sa nazýva ohyb alebo difrakcia. Vďaka tomuto fenoménu môže byť zvuk počutý aj za rohom napriek faktu, že zvuk sa väčšinou šíri priamočiarno.

2.2.4 Rušenie

Kedykoľvek zvukové vlny na seba vzájomne pôsobia, vzniká rušenie [5][14]. Ak sú vlny vo fáze, tak sa jednotlivé pulzy koncentrácie a riednutia zhodujú, čím vzniká silnejší zvuk všetkých zvukových vln (konštruktívne rušenie). Ak vlny nie sú vo fáze, tak sa jednotlivé pulzy koncentrácie a riednutia zoslabujú alebo úplne rušia (deštruktívne rušenie). Vzájomné pôsobenie zvukových vln má za výsledok novú zvukovú vlnu.

Vzájomné pôsobenie dvoch zvukových vln, ktoré majú veľmi blízke frekvencie, ale nie rovnaké produkuje tón so striedavo zvyšujúcou a znižujúcou sa intenzitou, pretože tieto vlny neustále prechádzajú medzi stavmi vo fáze a mimo fázy.

2.3 Analýza frekvenčných spektier v hudbe a ruchu

2.3.1 V hudbe

Kvôli úspešnej modulácii signálu do hudby je najprv nutné si rozanalyzovať aké frekvenčné spektrá sú bežne využité v hudbe. Vďaka tejto analýze budeme môcť povedať, ktoré frekvenčné spektrá sú voľnejšie (menej využité) a ktoré frekvenčné spektrá by sa eventuálne mohli zoslabiť, alebo odstrániť bez povšimnutia ľudského ucha.

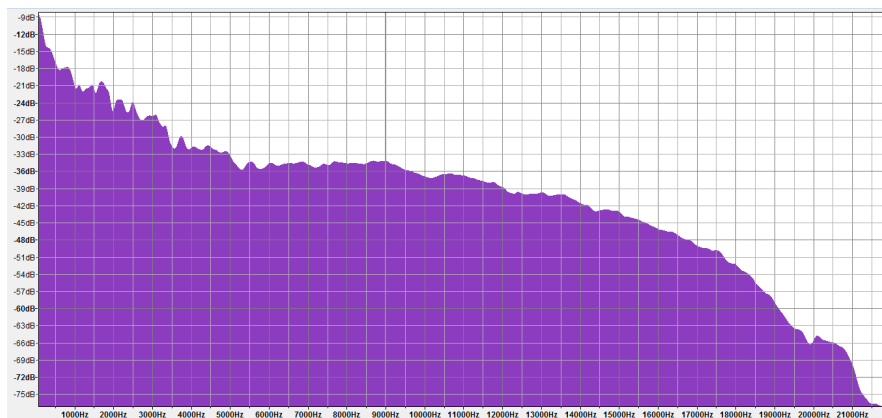
Je veľmi pravdepodobné, že centrálny audio systém obchodných centier má uloženú licencovanú hudbu v bezstratových formátoch ako sú WAV[9] alebo FLAC[16]. Bezstratové formáty ukladajú hudbu v dokonalej digitálnej podobe, tak ako bola zachytená pri nahrávaní prechodom cez analógovo-digitálne prevodníky zvukových kariet alebo iného hardvéru. Pri analýze som použil hudobné súbory vo formáte WAV. Tento formát je proprietárny pre spoločnosť Microsoft a je to najrozšírenejší bezstratový formát. Analýza vo formáte FLAC by priniesla rovnaké výsledky, takže výber formátu nie je dôležitý, základný predpoklad je, že používame bezstratový formát.

Ako skladby som vybral 2 štýlovo rôzne skladby - *Run run run* a *Wake me Up*, ktoré sú často hrané v rádiách, alebo všeobecne vo svete.

Na získanie frekvenčnej analýzy som použil program *Audacity*.

Poznámky ku grafom:

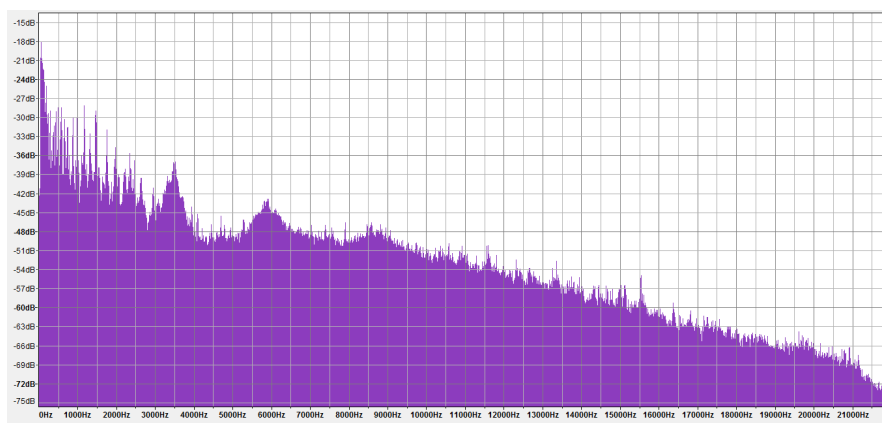
- Ak je súbor vzorkovaný vo vzorkovacej frekvencii 44,1 kHz, vidíme frekvenčný rozsah 0-22050 Hz. To je dôsledok Nyquistovej teóremy [8], ktorá hovorí o zrkadlení frekvencií.² Pri 96kHz frekvencii to je frekvenčný rozsah 0-48 kHz.
- Keďže súbor nemožno ohodnotiť reálnou hlasitosťou(to môžeme až po prehraní reproduktormi do priestoru), používa sa na ohodnotenie hlasitosti rôznych frekvencií relatívna *dB* stupnica [12]. Hodnoty amplitúd sú teda zadané v jednotkách relatívnych *dBFS*, kde pri 16 bitovej *PCM* modulácii je 0 dB maximálna zachytiteľná hodnota(číslo 32767) a najnižšia zachytiteľná hodnota je -96 dB (číslo 1).
- Príklady *dBFS* hodnôt:
 - **-6 dB** = 0.5 * amplitúda;
 - **-20 dB** = 0.1 * amplitúda;
 - **-30 dB** = 0.03162 * amplitúda;
 - **-50 dB** = 0.003162 * amplitúda.



Obr. 2: Frekvenčné spektrum - Run run run - Celeste Buckingham

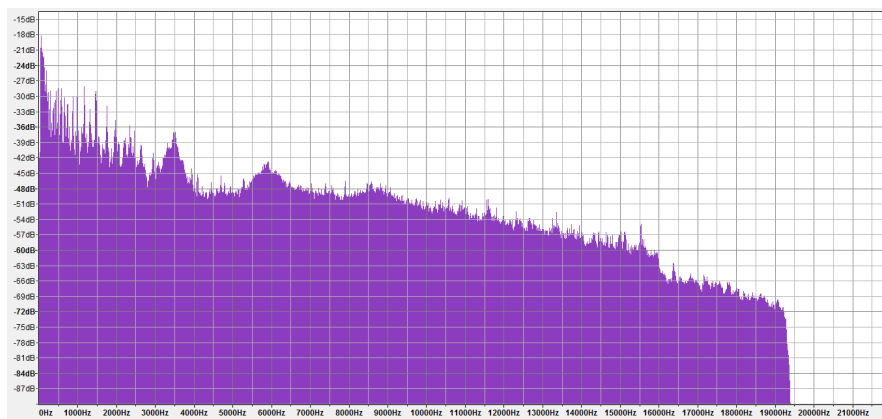
Prvý obrázok (Figure 2) je frekvenčné spektrum skladby Run Run Run(Celeste Buckingham). Súbor bol nahraný v 44.1 kHz vzorkovacej frekvencii. Najvýraznejšie frekvencie sú do 3.5 kHz, zvuky s frekvenciou nad 20 kHz majú tak nízku amplitúdu, že sú prakticky nepočuteľné. Ostatné frekvencie sú relatívne vyvážené.

²Pri danej vzorkovacej frekvencii je možné zachytiť len polovičný rozsah frekvencií.



Obr. 3: Frekvenčné spektrum - Avicii - Wake me up - FLAC

Druhý obrázok (Figure 3) je skladba Wake me Up(Avicii) vo formáte WAV. Podobne ako v predošlom príklade je vidno, že frekvencie do 3.5 kHz sú najvýraznejšie. Pri zvyšovaní frekvencie od 8.5 kHz až do 21 kHz vidno postupné takmer lineárne znižovanie amplitúdy.



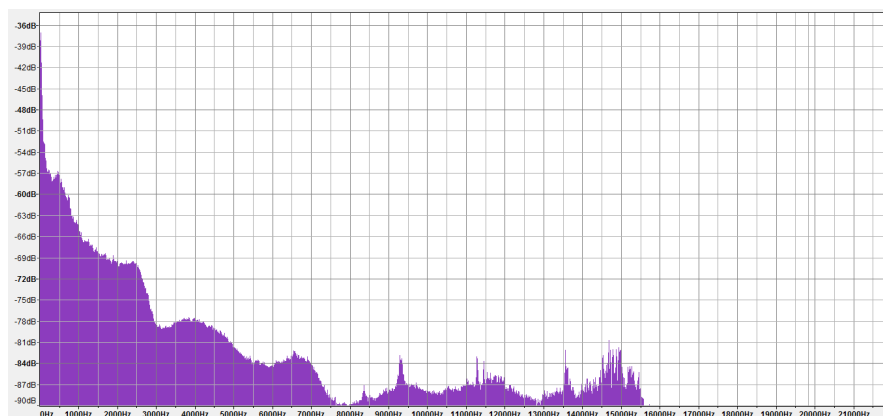
Obr. 4: Frekvenčné spektrum - Avicii - Wake me up - MP3(256 Kbps)

Ako tretí obrázok (Figure 4) ešte poskytnem frekvenčné spektrum rovnakej skladby - Wake me Up(Avicii) ale vo formáte MP3 s *bitrate*-om 256 Kbps. Je tiež, možné že audio systém obchodného centra bude prehrávať skladby vo formáte MP3, kvôli tomu tu bude zobrazený rozdiel frekvenčného spektra medzi týmito dvoma formátmi.

Frekvenčné spektrum je veľmi podobné, najdôležitejšie je úplné odrezanie frekvencií nad 19.3 kHz vyššie, ktoré formát MP3 kvôli lepšej kompresii úplne vyradí, pretože ich nepovažuje za uchu príliš dôležité. Pokiaľ by teda hudba z centrálného audio systému bola vysielaná v stratovom formáte MP3, tak frekvencie nad 19.3 kHz sú úplne voľné bez nutnosti filtrovania.

2.3.2 Hluk v obchodnom centre

Okrem frekvenčných spektier hudobných skladieb som zanalyzoval ešte jednu nahrávku bežného ruchu v nepracovných hodinách v anonymnom obchodnom centre.



Obr. 5: Frekvenčné spektrum - Ruch v obchodnom centre

Na tomto obrázku (Figure 5) je možné vidieť, že všeobecne amplitúda hluku takmer všetkých frekvencií až na tie najnižšie nie je až tak veľká - pohybuje sa medzi hodnotami -57 dB a -87 dB, čo sú dosť nízke hodnoty hluku, ktoré by nemali byť až tak rušivé pri analýze. Nad frekvenciami 15.5 kHz do 22kHz celé pásmo úplne voľné. Taktiež pásmo 8 kHz a 13 kHz je čiastočne voľné.

2.3.3 Zhodnotenie

Ako najlepšie frekvencie z hľadiska voľného priestoru v hudbe a ruchu obchodného centra s ohľadom na nepočuteľnosť u ľudí sa javia frekvencie nad 19.3 kHz s maximom samozrejme 22 kHz. Tieto frekvencie pravdepodobne z hudby ani nebude nutné odfiltrovať, pretože ich amplitúdy sú príliš nízke. Pri prehrávaní formátom MP3 úplne odpadáva nutnosť filtrovania, ktorú už kompresia vykonala za nás. Postupné klesanie amplitúdy môžeme sledovať u frekvencií od 10 kHz viac.

2.4 Modulácia signálov do vysielania

Na základe analýzy existujúcich riešení sme dospeli k bližšej analýze niektorých prístupov na zistenie polohy, moduláciu signálu a moduláciu kódov do vysielania.

2.4.1 CDMA

Code Division Multiple Access je metóda digitálneho multiplexovania používaná na prenos viacerých digitálnych signálov prostredníctvom jedného zdieľaného média. Táto metóda je taktiež používaná v GSM. Signály sú odlišené tým, že každý používa odlišné, vhodne zvolené kódovanie.

Majme účastníkov Alicu a Boba, s ortogonálnymi kódmi $k_A : (1, 1)$ a $k_B : (1, 1)$ a správami pre nich v tvare ortogonálneho vektoru $A : (1, 0, 1, 0)$ a $B : (0, 1, 1, 1)$.

Kódovanie správ je realizované pomocou kódov účastníkov k prislúchajúcej správe a to použitím k pre jednotku a pre nulu k . Pre Boba teda dostávame $(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$ a pre Alicu $(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$. Správu pošleme obom naraz, spočítanú, čiže $(0, -2, 0, 2, 2, 0, 0, 2)$.

Dekódovanie je realizované podobným princípom. Vektor prenásobí každý svojím kódom. Bob dostane $((1, 1) \cdot (0, 2), (1, 1) \cdot (0, 2), (1, 1) \cdot (2, 0), (1, 1) \cdot (0, 2)) = (2, 2, 2, 2)$ čo odpovedá $(1, 1, 1, 1)$ resp. $(0, 1, 1, 1)$. Alicino dekodovanie bude totožné: $((1, 1) \cdot (0, -2), (1, 1) \cdot (0, 2), (1, 1) \cdot (2, 0), (1, 1) \cdot (0, 2)) = (2, 2, 2, 2)$ – zodpovedajúce vyslanému $(1, 0, 1, 0)$ [22].

2.4.2 FDMA

Frequency Division Multiple Access je deterministická metóda prístupu k médiu ako protokol na rozdelenie média. FDMA poskytuje užívateľom individuálne pridelenie jedného alebo niekoľkých frekvenčných pásiem alebo kanálov, čo je bežný prístup v satelitných systémoch.

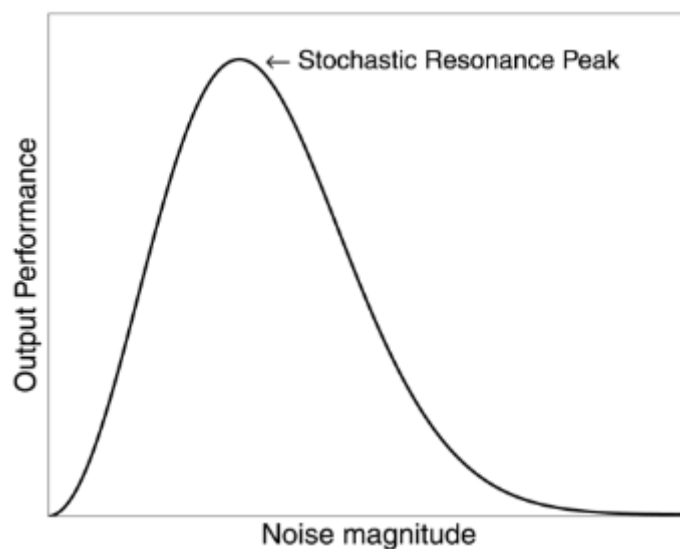
Základné princípy určujú, že:

- vysielateľ ako zdieľaný prostriedok využívajú viacerí účastníci, pričom vysielajú všetci ale každý na rozdielnej frekvencii
- môže byť použitý pre analógový tak ja digitálny signál
- nie je náchylné na problémy časovania
- každý užívateľ počúva na rozdielnej frekvencii

Táto metóda by v kombinácii s TDMA (na oddelenie vysielania nášho signálu od hudby) mohla pomôcť odlíšiť reproduktory [18].

2.5 Stochastická rezonancia

Stochastická rezonancia je fenomén, pri ktorom je signál, ktorý je príliš slabý, aby bol detegovaný sensorom, zosilnený pridaním šumu do signálu, ktorý obsahuje široké spektrum frekvencií. Frekvencie v šume korešpondujúce s frekvenciami v signáli spolu rezonujú, čím sa zosilňuje originálny signál ale nie zvyšok šumu. Ďalej môže byť šum dostatočný, aby bol detegovaný sensorom, čo nie je problém, lebo sensor ho môže odfiltrovať, čím efektívne deteguje originálny, pred tým nedetegovateľný signál [3].



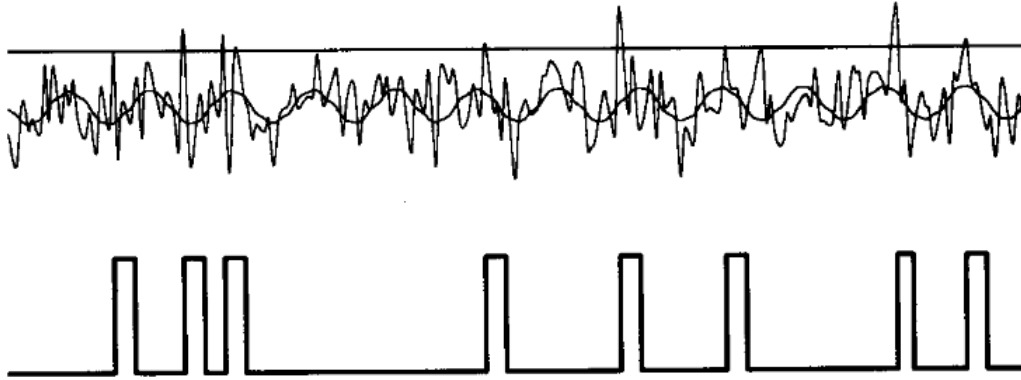
Obr. 6: Pomer medzi kvalitou detekcie signálu a intenzitou šumu ¹

Ako je vidieť na obrázku, optimálna intenzita šumu má za výsledok najlepšie zlepšenie detekcie signálu a ďalšie navyšovanie intenzity šumu znižuje schopnosť detekcie signálu.

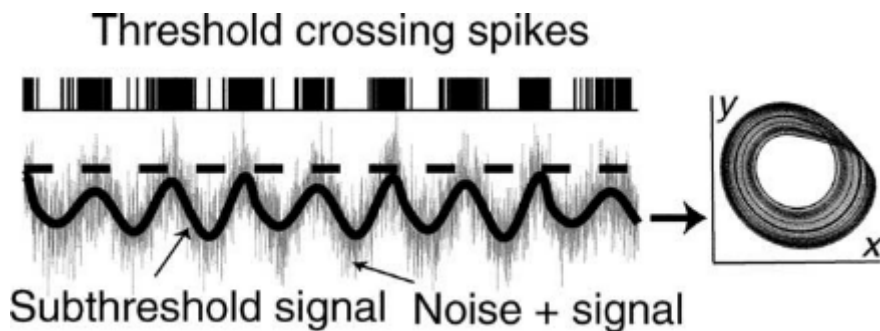
Najjednoduchšia forma stochastickej rezonancie je prahová stochastická rezonancia alebo nedynamická stochastická rezonancia. Pri nej sa zvolí určitý prah, ktorý samotný šum ani signál nedosiahne, ale pri skladaní amplitúd oboch výsledný signál už prekročí túto hodnotu [17].

Na obrázkoch je možné vidieť aplikáciu prahovej stochastickej rezonancie, kde šum ani signál samostatne nemajú potrebnú intenzitu na prekonanie prahu, ale pri sčítaní ich amplitúd už je prah výsledným signálom prekonaný.

¹Prevzaté z What Is Stochastic Resonance? Definitions, Misconceptions, Debates, and Its Relevance to Biology, PLoS Computational Biology — www.ploscompbiol.org, 1 May 2009 — Volume 5 — Issue 5 — e1000348



Obr. 7: Aplikácia prahovej stochastickej rezonancie ¹



Obr. 8: Aplikácia prahovej stochastickej rezonancie ²

Existuje aj iná forma, dynamická stochastická rezonancia, ktorá ale existuje len v dynamických, nelineárnych, stochastických systémoch. Táto forma však vyžaduje teóriu matematiky dynamických systémov, preto sa budeme zaoberať len prahovou stochastickou rezonanciou [17].

Pri prahovej stochastickej rezonancii sú dôležité dve charakteristiky, detekcia signálu a chybnú detekciu signálu. Ideálna hodnota intenzity šumu ako aj voľba ideálneho šumu by umožňovala 100% možnosť detekcie signálu a 0% možnosť chybnéj detekcie signálu. V praxi sa teda snažíme priblížiť čo najlepšie to ide k týmto hodnotám – s rastúcim šumom sa zvyšuje pravdepodobnosť ako detekcie signálu, tak aj chybnéj detekcie signálu, preto treba zvoliť hodnotu, kde bude rozumná pravdepodobnosť detekcie signálu a pravdepodobnosť chybnéj detekcie signálu bude stále relatívne nízka.

¹Prevzaté z Stochastic resonance and the benefits of noise: from ice ages to crayfish and SQUIDS, Kurt Wiesenfeld & Frank Moss, Nature, vol 373, 5 January 1995

²Prevzaté z Stochastic resonance and sensory information processing: a tutorial and review of application Frank Mossa, Lawrence M. Wardb, Walter G. Sannita, 17 September 2003, Clinical Neurophysiology 115 (2004) 267–281

Optimálne množstvo hluku je blízko zvoleného prahu, ale tak, aby daný prah neprekračoval (alebo len minimálne). Blízkosť signálu k prahu je tiež významný faktor, pretože čím je amplitúda menšia (čiže sa zväčšuje vzdialenosť signálu a prahu), tým je potrebný silnejší šum a zvyšuje sa možnosť chybnnej detekcie signálu [4].

2.6 Metódy lokalizácie v priestore

Metódy lokalizácie relevantné k nášmu projektu sú založené na statických referenčných bodoch (v našom projekte reproduktory) a pohyblivom prijímači (mobilný telefón). Referenčné zariadenia sú teda nepohyblivé a ich poloha je dopredu známa. Súradnice i -teho referenčného zariadenia: $[X_{RZi}; Y_{RZi}]$ Súradnice prijímaču: $[X_M; Y_M]$

2.6.1 Metóda Call-ID (príslušnosť k bunke) (proximity)

Referenčné zariadenie pokrýva svojím signálom určitú plochu, ktorú nazývame bunka. Ak prijímač deteguje práve jedno referenčné zariadenie, nachádza sa vo vnútri jeho bunky a prijímaču sa prideliť automaticky poloha referenčného zariadenia, čiže

$$[X_M; Y_M] = [X_{RZ}; Y_{RZ}]$$

Ak prijímač deteguje viac ako jedno referenčné zariadenie, zistí intenzitu signálu jednotlivých referenčných zariadení a zvolí si referenčné zariadenie s najväčšou intenzitou signálu a prijímaču sa prideliť poloha tohto referenčného zariadenia,

$$[X_M; Y_M] = [X_{RZi}; Y_{RZi}]$$

kde RZi je referenčné zariadenie s najsilnejším signálom. Presnosť tejto metódy je určená veľkosťou bunky a hustotou rozmiestnenia referenčných zariadení.

2.6.2 Proximity s výpočtom ťažiska

Ak prijímač deteguje len jedno zariadenie je táto metóda identická s predchádzajúcou,

$$[X_M; Y_M] = [X_{RZ}; Y_{RZ}]$$

Ak však prijímač deteguje viac referenčných zariadení, vypočíta svoju polohu ako

priemer z polôh všetkých detegovaných referenčných zariadení,

$$[X_M; Y_M] = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{RZi}; \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_{RZi} \right]$$

kde N je počet detegovaných referenčných zariadení. Nevýhodou tejto metódy môže byť nerovnomerné romiestnenie referenčných zariadení, ktorá môže viesť k nepresnému odhadu polohy.

2.6.3 Proximity s výpočtom váženého ťažiska

V prípade, ak prijímač deteguje len jedno referenčné zariadenie, situácia je stále rovnaká,

$$[X_M; Y_M] = [X_{RZ}; Y_{RZ}]$$

Ak prijímač deteguje viac referenčných zariadení, vypočíta svoju polohu ako vážený priemer z polôh všetkých referenčných zariadení, pričom váhy sú pridelované podľa intenzity zachyteného signálu jednotlivých referenčných zariadení,

$$[X_M; Y_M] = \left[\frac{\sum_{i=1}^N X_{RZi} \cdot W_i}{\sum_{j=1}^N W_j}; \frac{\sum_{i=1}^N Y_{RZi} \cdot W_i}{\sum_{j=1}^N W_j} \right]$$

Kde N je počet detegovaných referenčných zariadení a $[W_i], i = 1, 2, \dots, N$ sú vstupné váhy. Pridelenie váh jednotlivým signálom by malo odstrániť nepresné odhady polohy kvôli nerovnomernému rozmiestneniu referenčných zariadení. Intenzita signálu však môže kolísať a preto ani táto metóda nemusí dosiahnuť ideálnu presnosť, hoci z tejto trojice je najpresnejšou.

2.6.4 Metóda fingerprint (odtlačok prsta)

Táto metóda pozostáva z dvoch krokov. V prvom kroku sa vytvorí digitálna mapa signálov, databáza dvojíc – poloha prijímača a intenzita signálov prijímaných z referenčných zariadení v dosahu. Databáza sa vytvorí buď praktickým meraním alebo použitím matematických metód (použitím matematických metód klesá presnosť). Druhým krokom je určovanie polohy. Prijímač namerá intenzitu signálov všetkých referenčných zariadení v dosahu a tieto hodnoty porovná s databázou. Za správnu polohu je zvolený bod s najpodobnejšou úrovňou signálov. Presnosť metódy závisí od hustoty bodov v databáze. Nevýhodou tejto metódy je lokalizácia na základe intenzity signálu, ktorá môže kolísať a tým viesť k nepresnému odhadu polohy.

2.6.5 Metóda postupného výpočtu polohy

Podmienkou v týchto výpočtoch je znalosť počiatočnej polohy a k nej sa postupne pripočítavajú vektory vzdialenosti, ktoré sa počítajú zo známeho smeru, rýchlosti a času pohybu podľa

$$X_M = X_0 + L \cdot \cos\alpha$$

$$Y_M = Y_0 + L \cdot \sin\alpha$$

Na zistenie rýchlosti je možné použiť akcelerometre v mobilných telefónoch a na zistenie smeru kompas.

2.6.6 Time Of Arrival

Metóda, ktorá je niekedy nazývaná aj Time of Flight, založená na meraní času od vyslania signálu po jeho príjem. Vďaka tomu, že poznáme rýchlosť šírenia zvuku môžeme určiť vzdialenosť vysielačnej stanice v danej miestnosti. Na určenie polohy pomocou tejto metódy by sme potrebovali aspoň 3 vysielače so známou polohou. Nutnosťou pri tejto implementácii je synchronizácia vysielača a prijímača čo sa dá dosiahnuť niekoľkými spôsobmi:

- presnými synchronizačnými hodinami na oboch stranách
- dvomi signálmi s rozdielnymi frekvenciami (pri posune o viac ako 2π nedetekovateľné)
- referenčným bodom

Značnou nevýhodou tohto prístupu je nutnosť presnej synchronizácie medzi vysielačmi a prijímačom čo je v našom prípade nevyhovujúci atribút, ktorý môže spôsobiť nepresnosti pri určovaní polohy prijímača a nárast náročnosti hardvérovej realizácie [23].

2.6.7 Multilaterácia

Multilaterácia je navigačná technika založená na meraní rozdielov vzdialeností dvoch staníc, ktoré majú známu pozíciu a vysielajú svoj signál v známom čase. Na základe tohto merania nám vznikne nekonečný počet bodov určujúcich polohu (kruh). Presná

poloha sa získava priesečníkom takýchto bodov niekoľkých vysielačích staníc. Tento spôsob výpočtu polohy sa používa v mnohých systémoch medzi ktoré patrí napr. aj GPS.

Na zameranie polohy v dvojdimenzionálnom prostredí nám stačia tri vysielačie stanice a vtedy hovoríme o trilaterácii.

Výpočet polohy je realizovaný na základe Time Difference of Arrival (TDoA), pričom základnými predpokladmi sú:

- t_0 ako počiatočný čas v ktorom sa začne z reproduktorov vysielať signál
- t_i ako čas v ktorom mikrofón zachytí signál z reproduktoru i
- c ako rýchlosť zvuku
- $[x, y, z]$ udávajú pozíciu mikrofónu
- $[X_i, Y_i, Z_i]$ udávajú pozíciu i -teho reproduktoru

Čas šírenia signálu a vzdialenosť (d) medzi reproduktorom a mikrofónom sú vo vzťahu:

$$d_i = c(t_i - t_0) = \sqrt{(x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + (z - Z_i)^2}$$

Pričom túto rovnicu počítame pre každý reproduktor samostatne. Čas t_i v ktorom sme prijali daný signál môžeme získať od operačného systému mobilného zariadenia. Teda nám zostanú neznáme súradnice mobilného zariadenia $[x, y, z]$ a čas t_0 v ktorom sa začal signál vysielať.

Týmto pádom nám zostávajú 4 neznáme x, y, z a t_0 , na riešenie ktorých sú potrebné 4 nezávislé rovnice. Vzhľadom na skutočnosť, že na každý reproduktor charakterizuje jednu rovnicu, budeme potrebovať minimálne 4 reproduktory na zistenie všetkých hodnôt. Akákoľvek nelineárna optimalizačná metóda môže byť použitá na vypočítanie a minimalizáciu následovnej rovnice:

$$f(x, y, z, t_0) = \sum_i^1 [\sqrt{(x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + (z - Z_i)^2} - c(t_i - t_0)]^2$$

Zároveň môžeme hodnotu súradníc z a Z_i považovať za konštantnú (priemerná výška v ktorej je držaný smartfón je 1,25m), čím nám vznikajú iba 3 neznáme t_0, x a y . V praktickej aplikácii sa zistilo, že je lepšie resp. presnejšie používať na výpočty viac zdrojov zvuku, pokiaľ tieto zdroje nie sú príliš vzdialené (tiché) alebo si vzájomne neclonia.

Ďalším pre nás podstatným zistením je, že pri kontinuálnom zisťovaní polohy nám stačí t_0 vypočítať na začiatku a potom iba sledovať počet nahraných vzoriek, keďže sa vysielanie signálu opakuje s periódou T , ktorá je známa.

Následným testovaním bolo zistené, že na presné zistenie polohy je ideálny počet $n + 1$ reproduktorov, pričom n je počet neznámych v rovniciach. Tým sa odstráni pravdepodobnosť výberu chybného výstupu [23].

2.7 Systémy na reprodukciu zvuku využívané v nákupných centrách

V každom nákupnom centre je potreba inštalácie ozvučovacieho systému, či už z dôvodu bezpečnosti, a teda pre účely poplašného systému, alebo pre prehrávanie zvukovej kulisy na pozadí. V súčasnosti ponúka riešenia kompletného ozvučenia viacero známych spoločností zameraných na produkciu akustických produktov. Medzi takéto spoločnosti patria najmä BOSCH, BOSE, Philips, atď. My sme sa pri analýze zamerali na dve takéto riešenia:

- Bosch Praesideo
- Philips SM30 / SM40

Tieto produkty patria medzi najvyužívanejšie riešenia vo veľkopriestorových objektoch, a preto sme si ich vybrali ako modelové architektúry akustických systémov. V ďalšej časti tieto produkty zanalyzujeme a opíšeme podrobne, pričom sa zameriame najmä na faktory, ktoré súvisia s týmto projektom, a to:

- podporované zdroje signálu
- zosilňovače
- ústredne
- reproduktory
- možnosti zapojenia

Z nášho pohľadu je potrebné sa zamerať najmä na zapojenie celej architektúry v zmysle počtu výstupných kanálov a prípadnej možnosti modulácie akustických signálov do už existujúcej akustickej stopy (hudby z rádia, cd, atď.) v reálnom čase. Je potrebné zistiť do akej miery sú takéto systémy modulárne a rozšíriteľné.

V ďalšej časti zanalyzujem uvedené akustické systémy pričom sa zameriam na vyššie spomenuté charakteristiky jednotlivých architektúr.

2.7.1 Philips SM30 / SM40

Systémy Philips SM30 a SM40 sú kompaktné, flexibilné a modulárne systémy na menžment zvuku vo veľkopriestorových objektoch s jednoduchou operáciou. Podporujú rôzne možnosti zapojenia jednotlivých komponentov, pričom takýto distribučný systém obsahuje:

- Jedno kontrolné centrum obsahujúce mikroprocesor a plug-in moduly
- Stanice hlásateľa
- Zosilňovače, ku ktorým sú pripájané reproduktory rozmiestnené do geografických alebo funkčných zón

Systém podporuje maximálne 6 staníc hlásateľa konfigurovaných z kontrolného centra a je navrhnutý na simultánnu reprodukciu rozličných akustických signálov v odlišných zónach. V ďalšej časti opíšem základné vlastnosti a funkcie jednotlivých komponentov systému Philips SM30.

Kontrolné centrum

Centrálnym bodom každého systému je kontrolné centrum, obsahujúce mikroprocesor na kontrolu celého systému a 12 slotov použiteľných na rozšírenie systému prostredníctvom plug-in modulov. V štandardnej konfigurácii obsahuje systém napájací modul, obsahujúci koncovky pre hlavný zdroj a záložný +48V DC zdroj, a line out modul.

Systém je mienený na prevádzku dvojkanálového zapojenia. Vstupom pre kanál určený na prenos oznamov je spravidla stanica hlásateľa, prípadne zdrojové médium s nahrávkami. Pre kanál určený na prenos hudby na pozadí môže byť vstupom ľubovoľné zariadenie pripojené line in vstupom. Zosilňovače pre obidva kanály sú pripojené do výstupov Line Out modulu. Dvojkanálové zapojenie umožňuje neprerušované prehrávanie zvuku na pozadí a oznamov.

Stanica hlásateľa

Stanica hlásateľa slúži na logické a komplexné metódy smerovania a vysielania oznamov a hudby na pozadí. Keďže každý modul pre vstup zo stanice hlásateľa dokáže prijímať signál z dvoch takýchto staníc, celé kontrolné centrum poskytuje možnosť zapojenia celkovo 6 staníc hlásateľa. Stanica hlásateľa obsahuje elektretový kondenzátorový mikrofón, zabudovaný akustický kompresor, zabezpečujúci udržiavanie konštantnej hladiny akustického signálu na výstupe aj pri zmene vstupnej hlasitosti hlasu, a vyvažovaný line level výstup, zabezpečujúci umiestnenie staníc hlásateľa do vzdialenosti až 1000 m od kontrolného centra.

2.7.2 Bosch Praesideo

Bosch Praesideo patrí k najmodernejším akustickým systémom využívaným vo veľkopriestorových objektoch a je častým výberom pri aktualizácii zo systémov podobných systému Philips SM30. Rovnako ako tieto systémy je BOSCH Praesideo modulárnym systémom, pričom poskytuje nespornú flexibilitu v počte zón, staníc hlásateľa, audio vstupov a výstupov, kontrolných vstupov a výstupov, atď.

Architektúra systému je založená na reťazení zariadení, čo umožňuje zapojenie zariadenia v ľubovoľnej časti "siete" bez akéhokoľvek obmedzenia ostatných zariadení. Zariadenia sú medzi sebou prepojené optickými prepojmami a medeným párom pre zdroj napätia. Využívané sú dve optické jadrá na prenos dát a audio signálov, pričom systém ponúka spracovanie a prenos audio signálov a kontrolných dát výlučne v digitálnej podobe, čo má za následok zlepšenie kvality zvuku. V ďalšej časti opíšem jednotlivé komponenty systému BOSCH Praesideo.

Sieťová riadiaca jednotka

Sieťová riadiaca jednotka je centrálnym prvkom celého systému, s možnosťou smerovania až 28 súbežných audio kanálov, dodávky energie do systému, oznamovania o chybách a celkovej kontroly systému. Audio vstupmi môžu byť stanice hlásateľa, hudba na pozadí alebo akéhokoľvek lokálne audio zariadenie, pričom samotné zariadenie má 4 analógové audio vstupy a 4 analógové audio výstupy. Jednotka dokáže menežovať maximálne 60 uzlov (zosilňovače signálu, audio expandéry, stanice hlásateľa, atď.) a je navrhnutá na redundantné sieťové zapojenie.

Zosilňovače

Systém Praesideo ponúka štyri typy zosilňovačov, líšiacich sa v počte kanálov a menovitým výkonom každého kanála (1x500W, 2x250W, 4x125W a 8x60W). Každý zosilňovač ponúka možnosť výberu výstupného napätia 100V, 70V alebo 50V. Audio vstup je privádzaný cez optický sieťový kábel. Zosilňovače sú vybavené monitorovaním zosilnenia a prepínacích relé.

Stanica hlásateľa

Stanica hlásateľa slúži na logické a komplexné metódy smerovania a vysielania oznamov a hudby na pozadí.

Audio expandér

Audio expandér dokáže vkladať externé audio do systému a extrahovať audio zo systému. Audio vstupy môžu byť smerované do rôznych zón permanentne alebo na základe určitých vopred definovaných podmienok. Každý zo štyroch audio výstupov môže byť naprogramovaný na extrahovanie audio signálu z ktoréhokoľvek zo štyroch audio vstupov.

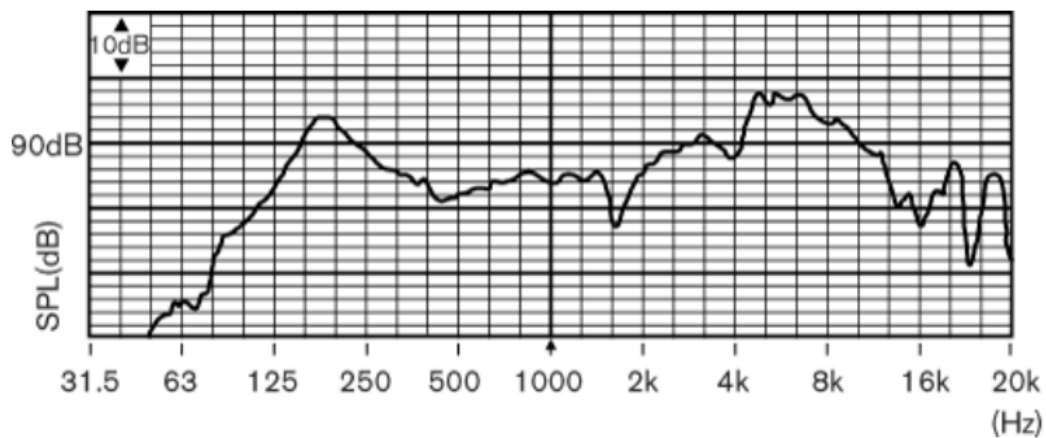
2.8 Charakteristika reproduktorov využívaných v nákupných centrách

V nákupných centrách a podobných veľkopriestorových objektoch sa zvyčajne používajú stropné reproduktory. Ako už bolo spomenuté pri opise systémov na reprodukciu zvuku v nákupných centrách, vstupným napätím pre reproduktory zvyčajne býva hodnota 100V. Táto hodnota je zvolená najmä z dôvodu, že je reproduktory častokrát potrebné umiestňovať pomerne ďaleko od zosilňovačov, a teda pri prenose môže vzniknúť pomerne vysoký útlm. Pre naše účely najzaujímavejšími špecifikáciami sú najmä frekvenčná odozva, efektívny frekvenčný rozsah, maximálny výkon vo wattoch a impedancia reproduktoru. Tieto vlastnosti sme sa snažili analyzovať pre reproduktory v rôznych cenových hladinách. Prehľad analyzovaných reproduktorov a ich technickej špecifikácie uvádzame v nasledujúcej tabuľke.

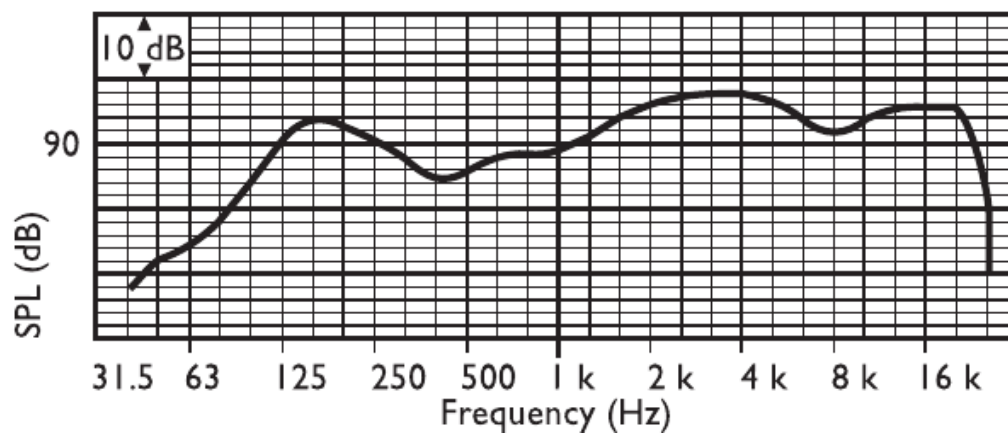
Model	Maximálny výkon [W]	Efektívny frekvenčný rozsah [Hz]	Menovité napätie [V]	Menovitá impedancia [Ω]	Cena [€]
BOSCH LHM 0606/10	9	80 – 18 000	100	1667	15
Monacor EDL-26	10	80 – 14 000	100	-	30
BOSCH LBC 3086/41	9	90 – 20 000	100	1667	40
Monacor EDL-10TW	10	50 – 20 000	100	-	50
BOSCH LBC 3099/41	36	60 – 18 000	100	417	70

Obr. 9: Porovnanie charakteristík reproduktorov

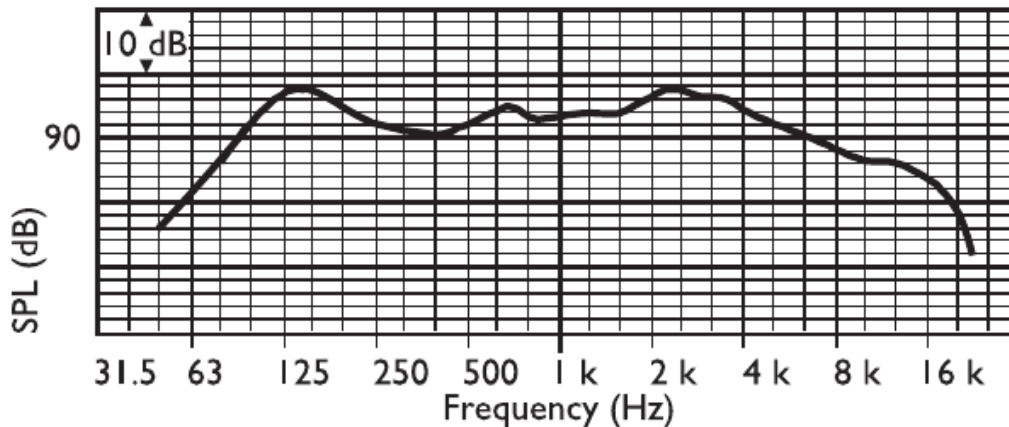
Spoločnosť BOSCH vo svojich špecifikáciách uvádza aj frekvenčnú odozvu svojich modelov. Preto pre ich reproduktory uvedieme aj tento údaj, keďže je pre naše projekt zaujímavý.



Obr. 10: Frekvenčná odozva reproduktoru BOSCH LHM 0606/10



Obr. 11: Frekvenčná odozva reproduktoru BOSCH LBC 3086/41



Obr. 12: Frekvenčná odozva reproduktoru BOSCH LBC 3099/41

2.9 Vmodulovanie signálu do hudby

Na modulovanie nášho požadovaného signálu do hudby je možné použiť viacero programovacích jazykov. Keďže sa pravdepodobne v budúcnosti budeme uberať smerom na čipy (*Arduino* alebo *Raspberry Pi*), ktoré sa o budú starajú o generovanie a modulovanie signálu do hudby, rozoberiem aj možnosti programovania pre tieto čipy.

2.9.1 Wolfram Mathematica a Matlab

Na úrovni *PCM* modulácie vstupného signálu je možné vypočítať hodnoty signálu modulovaného zvuku, a to súčtom dvoch signálov, nášho sínusového "pípnutia" zvuku (hudby) zo vstupu. Z tohoto súčtu sa vytvorí zmiešaný signál, ktorý bude obsahovať naše pípnutie. Pokiaľ je počas toho potrebné filtrovať alebo nejako inak upraviť vstupný signál (hudbu), je to možné urobiť.

Signál ktorý chceme modulovať do hudby je možné vytvoriť ľubovoľnej funkcie (sínus/square), na frekvencii, akú chceme a s dĺžkou akú chceme. Tento signál môžeme programovacími technikami tvarovať do kódu - kódovať ho, teda vytvárať postupnosti bitov na základe vybraného typu kódovania.

Táto metóda produkuje latenciu, ktorá je daná náročnosťou modulácie a úpravy signálu a rýchlosťou procesora.

Programy *Matlab* a *Wolfram Mathematica* ponúkajú podobné možnosti práce s číslami, tiež generovanie a moduláciu do signálu a jeho výstup v reálnom čase, a teda obe by mali zvládnuť vyriešiť tento problém.

Pre čip *Raspberry Pi* sú oficiálne podporované jazyky *Wolfram Mathematica* [15] a tiež *Matlab* [13]. Čip *Arduino* nepodporuje tieto jazyky oficiálne.

2.9.2 CSound

Jazyk *CSound* ponúka jednoduchšie generovanie sínusových a iných signálov a ich výstup. Je to prostredie primárne vyvinuté na vytváranie zvukov a tiež hudby, kvôli tomu nie je úplne vhodné pre náš projekt. Tvorenie cyklov a následné kódovanie je náročnejšie, možno aj nemožné. *CSound* ale podporuje audio vstup a výstup v reálnom čase s dobrým výkonom a teoreticky by bolo možné použiť jeho knižnice v spojení s inými programovacími jazykmi, ako sú *Python* alebo *C*.

Podpora *CSound* pre *Arduino* je oficiálne opísaná [6], pre *Raspberry Pi* je tiež ale neoficiálna.

2.9.3 Python

Je možné použiť skriptovací jazyk *Python* spoločne s inými jazykmi na dosiahnutie komplexnejších potrieb, ako je kódovanie správ. Výkon je možné doladiť *C* funkciami.

2.9.4 Java

Java kód zmiešaný s *C* kódom pre kritické časti pre výkon. Knižnice pre prácu so zvukom existujú.

2.10 Počuteľnosť frekvencií nad 19kHz

2.10.1 Človek

Ľudské ucho má priemerný frekvenčný rozsah 20Hz-20kHz. Tento rozsah sa postupne vekom znižuje a to viac u mužov ako u žien, deti môžu počuť aj niečo málo nad 20kHz.[7]

2.10.2 Zvieratá

Ultrazvukové píšťalky pre psov fungujú na frekvenciách od 23-54 kHz, čo je nad rozsah počutia človeka.

Psi tento zvuk všeobecne nijak neinterpretujú, neboja sa ho, ale zvyčajne spozornejú keď ho počujú, lebo to nie je zvyčajný zvuk. Problém môže nastať vtedy, ak je pes vycvičený na tieto zvuky. Môže s týmto zvukom mať asociáciu, že má pribehnúť k

majiteľovi, alebo že robí niečo zle a iné asociácie. Záleží od výcviku psa a okrem toho záleží aj od dĺžky zvuku, teda pes môže byť vycvičený napr. na dva krátke hvizdy, jeden dlhý hvizd alebo iné kombinácie hvizdov.

3 Existujúce riešenia

Pri začatí prác na našom tímovom projekte nás samozrejme zaujímali aj už existujúce riešenia v rámci navigácii pomocou zvuku vnútri budovy. Pri prieskume sme narazili na desiatky, ak nie stovky prác a odborných článkov zaoberajúcich sa touto problematikou no nie všetky spĺňali naše kritéria a mnoho z nich využívalo tie isté princípy a líšili sa iba v nepatrných detailoch. V tejto kapitole si uvedieme tie systémy a práce, ktoré nás najviac inšpirovali a oslovili.

3.1 Shopkick

Shopkick je americká spoločnosť založená v roku 2009, ktorá vyvinula aplikáciu pre smartfóny a tablety pomocou ktorej získajú užívatelia body za vojsenie do partnerských obchodov [1]. Ďalšie body môžu potom nazbierať skenovaním čiarových kódov alebo QR kódov na tovare a aj nákupom v danom obchode. Za nazbierané body užívatelia potom dostanú rôzne darčekové a zľavové poukážky. Momentálne sú partnermi 9 obchodných reťazcov a približne 70 značiek (medzi nimi aj Mondelez, Colgate, Disney a HP). Spoločnosť Shopkick obdrží za každý bod, ktorý dostane užívatel' od príslušného partnera finančnú odmenu. V štvrtom kvartáli roku 2012 navýšila aplikácia svojim partnerským spoločnostiam zisk o 200 miliónov amerických dolárov, čím sme získali inšpiráciu a náhľad na skutočnosť, že systém, ktorý vyvíjame má praktické využitie aj ako marketingový produkt. Na rozdiel od iných aplikácii, ktoré používajú určovanie polohy sa Shopkick nespolieha na trianguláciu pomocou GPS satelitného systému a to hlavne kvôli jeho odchýlkam, vďaka ktorým by nebolo možné spoľahlivo určiť či sa zákazník v obchode nachádza alebo nie. Preto na účely tejto aplikácie použili samostatné reproduktory, ktoré vysielaajú signál na frekvencii vyššej ako 20kHz, nepočuteľnej ľudským uchom ale detekovateľnej mikrofónom v mobilnom zariadení. V prípade že je signál vysielaaný pomocou existujúcich zvukový súprav, vyskytujú sa časté komplikácie s detekciou polohy v priestoroch obchodu. Bližšie technické špecifikácie žiaľ spoločnosť Shopkick nezverejnila na žiadnom z dostupných zdrojov.

3.2 Daredevil

Daredevil je projekt, ktorý vznikol spoluprácou Illinoiskej univerzity, Microsoftu a univerzity Duke [2]. Projekt funguje na báze zamerania mobilného telefónu v miestnosti pomocou zoskupení mikrofónov a následnej triangulácie vysielaaného signálu.

Daredevil používa minimálne dve zoskupenia mikrofónov upevnené na vysokom bode ako napr. protiľahlé steny alebo dokonca strop v bodoch s čo najlepšou viditeľnosťou, čím sa minimalizuje dopad odrazov zvuku od okolitých materiálov a prekážok. Predpokladom je nainštalovaná aplikácia, ktorá vygeneruje a následne prehrá zvuk na určitej frekvencii. Jedným z pozorovaní v tomto projekte bol jav pozorovania vysielaného zvuku na rôznych frekvenciách. Odlíšenie zariadení ktoré v danom čase vysielajú je zabezpečené pomocou Time Division Multiplex (TDM) čiže časového multiplexu, pričom synchronizáciu a priradenie príslušnej frekvencie vykonáva príslušný server, ktorý taktiež v neskoršom kroku bude vykonávať výpočet polohy. Aplikácia používa amplitúdovú moduláciu na zakódovanie jedinečného identifikátora pre každé zariadenie (taktiež predelené serverom).

Následne je softvérovo vygenerovaný zvuk, ktorý sa podľa prideleného TDM časového rozvrhu prehrá. Ako bolo už naznačené, zoskupenia mikrofónov sú priamo napojené na lokálny server na ktorom beží softvér pre lokalizáciu zdroja zvuku. Lokálny server na základe nahrávok z mikrofónov vypočíta uhly pod ktorými dorazil zvuk do mikrofónového zoskupenia.

Keďže sú koordináty x a y každého zoskupenia mikrofónov vopred známe a odovzdané ako argumenty pri spustení softvéru na lokálnom serveri je možné pomocou triangulácie vypočítať koordináty x a y telefónneho zariadenia, ktoré mu potom budú cez sieť odoslané. Presnosť tohto systému dosahuje cca 0.97 metra. Technické parametre implementácie: Zvolené frekvenčné pásmo pre túto implementáciu bolo 18 kHz, hlavne vzhľadom na schopnosť ľudského ucha vnímať frekvencie v rozsahu od 20Hz do 20kHz, ktorá sa však vekom mení (znižuje) a obmedzenia reproduktorov vydávať zvuky želanej frekvencie a amplitúdy. Zoskupenie mikrofónov pracuje v rozsahu $\pm 50^\circ$ s mikrofónom nasmerovaným na každých 5° , pri frekvencii 21kHz je vzdialenosť medzi mikrofónmi 8.16mm Časové okno na prehratie signálu telefónom bolo 750ms vzhľadom na oneskorenie v prijímaní príkazu na prehratie (100ms), oneskorenie kvôli časovej synchronizácii siete (150ms) a dostatočne dlhej vzorke signálu (500ms) Pri frekvencii 10kHz bola chyba pri presnosti zamerania a v priemere $3,8^\circ$ čo je cca 0,97m a vzdialenosť na ktorú bolo možné telefón detegovať bola približne 10 metrov

Tento spôsob implementácie nie je vhodný pre naše účely hlavne na základe princípu používania mikrofónov a tým pádom aj triangulácie. Žiaľ v našom prípade sa nemôžeme spoliehať na to, že zariadenie bude vybavené viacerými mikrofónmi a že budeme mať možnosť inštalovať dodatočný hardvér. Napriek tomu nás tento spôsob implementácie nasmeroval na riešenia pomocou Time of Arrival (TOA) hlavne vzhľadom na smerovosť mikrofónov v mobilných zariadeniach. Ak by sme sa pokúšali odhadnúť resp. vypočítať

vzdialenosť vysielача od mobilného zariadenia pomocou výšky amplitúdy narazili by sme na množstvo problémov a to hlavne v rámci „zorného poľa“ mikrofónu. V prípade ak by sa medzi vysielачom a mikrofónom nachádzalo cudzie teleso alebo dokonca dostatočne hlučný šum v okolí, zachytené dáta by boli nepoužiteľné.

3.3 Lokalizácia vo vnútri budovy pomocou riadených okolitých zvukov

Pri našom výskume v rámci lokalizácie pomocou Time of Arrival sme narazili na projekt, ktorý vznikol spoluprácou Kalifornskej univerzity a FX Palo Alto Laboratory, ktorý sa zaoberal využitím už existujúcej infraštruktúry vysielачov (reproduktorov) na vysielanie (pre ľudské ucho) takmer nepočuteľných zvukov a následného zamerania polohy [20].

Zvuk ktorý bol prehrávaný z reproduktorov, bol pseudonáhodný biely šum, ktorý je možné kombinovať s hudbou alebo inými zvukmi určenými na prekrytie. Pre jednoduchú synchronizáciu vysielaného zvuku boli na prehrávanie použité, ľahko dostupné, zvukové karty pre 5.1 resp. 7.1 reproduktorové zostavy. Na správne fungovanie bolo taktiež potrebné vzájomne synchronizovať zdroj vysielania a nahrávacie zariadenie (mobil, tablet).

Prehrávaný signál obsahuje periodické pseudo náhodné sekvencie s periódou približne 0.5 sekundy, pričom kombinácia tohto signálu a hudby má malý vplyv na výkon systému. V tomto móde nie je potrebná prvotná synchronizácia medzi vysielачom a prijímačom a taktiež nie je potrebný server na realizáciu výpočtov. Zariadenie nahráva zvuk a v prípade ak chce vedieť svoju polohu, jednoducho ju odošle na server a ten mu ju pomocou trilaterácie vypočíta.

Pre nás podstatnými zisteniami z tohto projektu je prístup pomocou Time Difference of Arrival, čo nás nasmerovalo na ďalší smer v rámci výskumu. Použitie bieleho šumu na zakódovanie vysielania by mohlo byť v našom projekte taktiež použiteľné pri reálnom nasadení.

4 Návrh riešenia

V tejto časti uvádzame požiadavky na architektúru systému a mobilnú aplikáciu vyplývajúce zo zadania a taktiež z analýzy riešenia. Požiadavky rozdeľujeme na funkcionálne a nefunkcionálne. Zo špecifikácie bude potom jasná kompletná funkcionálna vytvorenej aplikácie a celková architektúra navrhovaného systému. Po uvedení požiadaviek navrhujeme riešenie implementácie mobilnej aplikácie.

4.1 Špecifikácia požiadaviek

V nasledovnej časti špecifikujeme všetky nami identifikované požiadavky na systém, rozdelením na funkcionálne a nefunkcionálne požiadavky.

4.1.1 Funkcionálne požiadavky

Ťažiskovou funkcionálnou požiadavkou našej mobilnej aplikácie bude lokalizácia v rámci jednej budovy resp. miestnosti. Táto lokalizácia bude graficky vyobrazená na mape daného priestoru v ktorej bude lokalizácia prebiehať a bude zobrazená na displayi mobilného telefónu. Doplnkovou požiadavkou systému zo strany servera, bude možnosť stiahnutia mapy z databázy servera na klientsky telefón. Táto požiadavka je len doplnková z dôvodu možného problémového nasadenia vo veľkých verejných priestranstvách a preto je možné, že sa bude testovať len v laboratórnych podmienkach.

4.1.2 Nefunkcionálne požiadavky

Jednou z najdôležitejších nefunkcionálnych požiadaviek všetkých mobilných aplikácií je nízka energetická náročnosť aplikácií, čo súvisí nepriamo úmerne výdržou batérie. Z uvedeného vyplýva požiadavka, že samotná lokalizácia polohy zariadenia nemá výrazne skrátiť výdrž batérie. Grafické rozhranie musí byť jednoduché a intuitívne na ovládanie, čo patrí medzi ďalšie dôležité nefunkcionálne požiadavky. Ďalšou nefunkcionálnou požiadavkou je obmedzenie týkajúce sa spôsobu lokalizácie, ktorá musí byť realizovaná pomocou audiosignálov, z ktorého vyplývajú ohraničenia ako samotná presnosť lokalizácie, alebo nasaditeľnosť systému v prostredí s vysokým hlukom ako sú napríklad nákupné centrá z dôvodu vysokého šumu. Ďalším ohraničením vyplývajúci z použitia audiosignálu ako prostriedok k lokalizácii je rušivosť zmodifikovaného audiosignálu, ktoré znehodnocuje hudobný prejav práve vysielaného audiozáznamu.

4.1.3 Spracovanie zachyteného audiosignálu

Mikrofón zachytáva signál spojité v čase, ktorý potrebujeme rozložiť na funkciu do frekvenčnej oblasti. Ide o transformáciu signálu z časovej oblasti do frekvenčnej oblasti. Mikrofón kvantuje audiosignál v určitých intervaloch, čím digitalizujeme analógový signál, a vytvárame diskretný signál. Transformácia signálu do frekvenčnej oblasti sa vykonáva pomocou Fourierovej transformácie avšak len v prípade ak ide o spojité funkciu. V prípade ak ide o diskretný signál hovoríme o diskretnej Fourierovej transformácii. Zložitosť tejto transformácie je $O(N*N)$, preto boli vyvinuté rýchlejšie algoritmy zvané rýchla Fourierova transformácia (Fast Fourier Transform), ktorých zložitosť je $O(N \log N)$.

Kvôli výkonnostným obmedzeniam mobilnej platformy a čo možno najväčšej úspore energie sme sa rozhodli použiť FFT algoritmus na výpočet transformácie signálu. Na výpočet FFT sme využili open-source projekt JTransforms, pomocou ktorého sme aplikovali FFT na vstupný audiosignál [21].

4.2 Návrh riešenia

4.2.1 Návrh architektúry

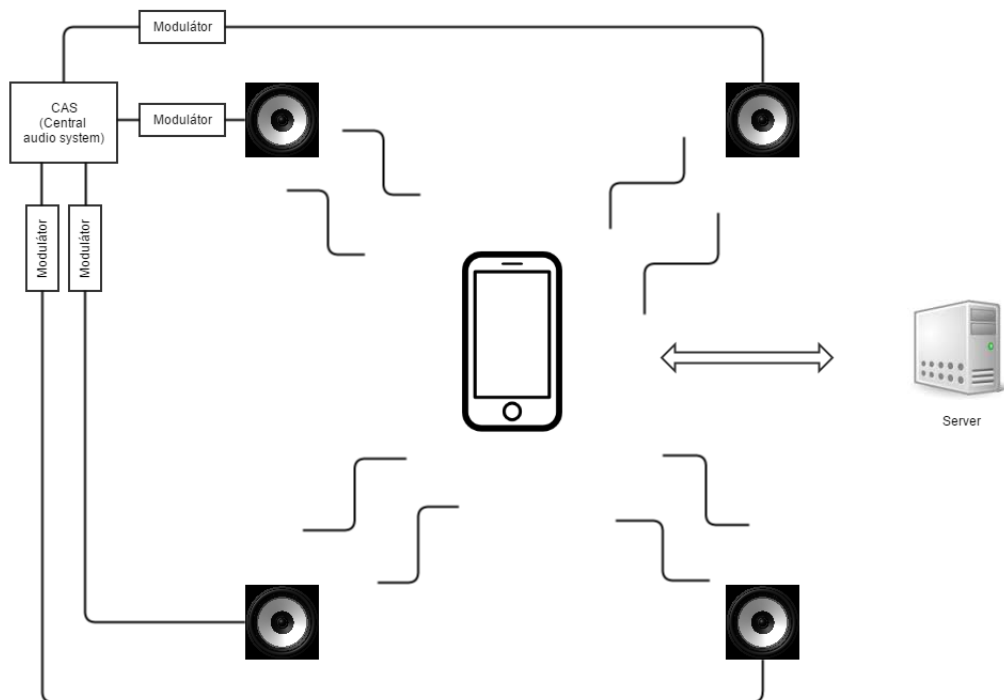
System pozostáva zo sústavy reproduktorov, ktoré budú vysielat' upravený audiosignál. Tento audiosignál bude pozostávať z hudobných skladieb do ktorého namodulujeme náš lokalizačný signál.

Modulácia lokalizačného signálu sa bude odohrávať v modulovacích moduloch (viď. na obrázku „Modulátor“).

Všetky modulátory budú napojené na CAS (centrálny audio systém), ktorý bude prehrávať hudobné skladby vo forme analógového audiosignálu do modulátorov.

Smartphone ako ťažisko celej architektúry bude analyzovať lokalizačný signál namodulovaný do hudobného audiosignálu a pomocou tohto namodulovaného signálu určí svoju aktuálnu polohu.

Ďalším prvkom systému je server, na ktorom budú nahrané mapy jednotlivých nákupných centier, a bude poskytovať ďalšie doplnkové služby, ktoré sa neskôr počas vývoja došpecifikujú.



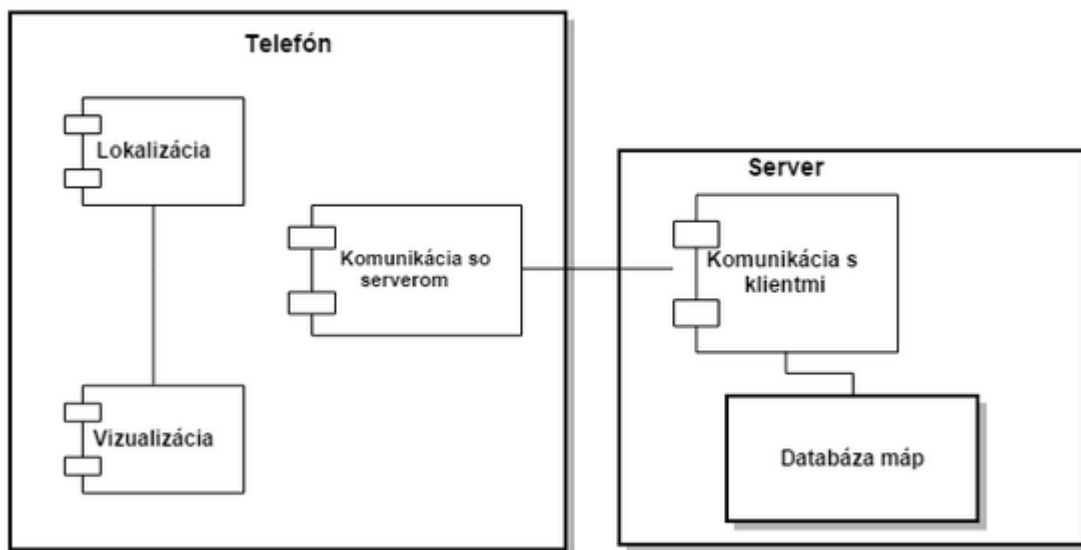
Obr. 13: Navrhovaná architektúra systému

4.2.2 Návrh mobilnej aplikácie

Identifikovali sme dve hlavné moduly v návrhu mobilnej aplikácie (viď obr.):

- Lokalizácia
- Vizualizácia

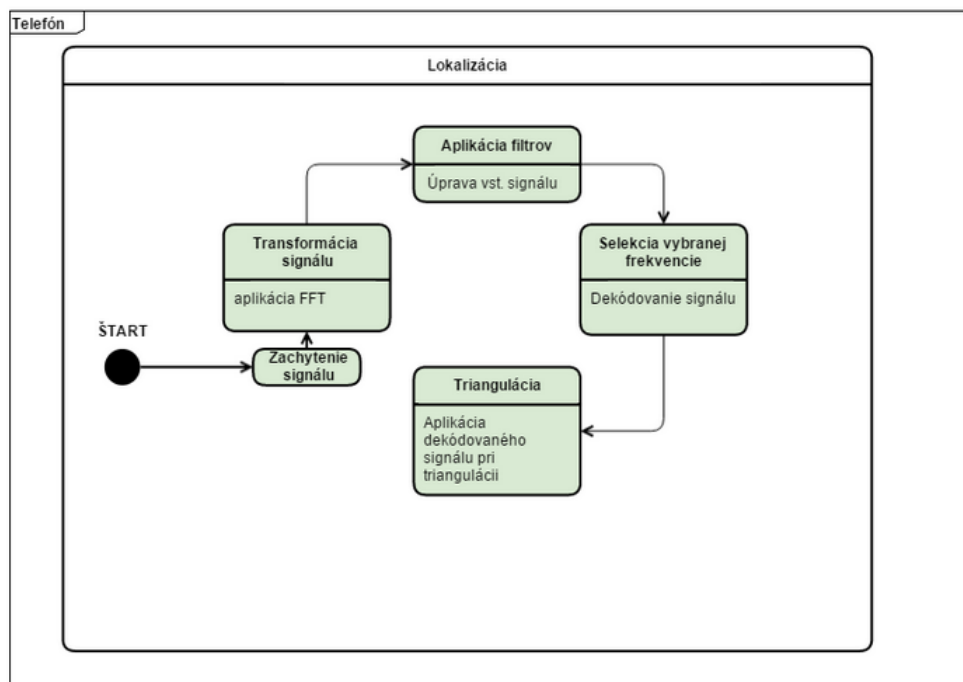
Komunikáciu so serverom bude zabezpečovať osobitný modul (viď. obrázok) „Komunikácia so serverom“, ktorá bude zabezpečovať všetky služby poskytované serverom.



Obr. 14: Navrhovaná architektúra mobilnej aplikácie

Model lokalizácie je zodpovedný za všetky úkony potrebné na zistenie aktuálnej polohy telefónu. Tento modul sme podrobnejšie zobrazili pomocou stavového diagramu (viď obr. č.x). Od okamihu zachytávania vstupného audiosignálu, signál je spracovávaný v niekoľkých etapách:

1. Transformácia signálu – priebeha okamžite ako prvý krok spracovania vstupného signálu, ktorého výstupom je signál zobrazený vo frekvenčnom spektre.
2. Aplikácia filtrov – vstupom je výstup predchádzajúceho bodu, čiže signál zobrazený v časovom spektre, na ktorý sa aplikujú filtre podľa vopred dohodnutých špecifikácií.
3. Selekcia vybranej frekvencie – vstupom je orezaný signál v určitom frekvenčnom spektre, z ktorého sa vyselektujú signály na určených frekvenciách. Následne sa signál dekóduje pomocou nami určeného spôsobu kódovania a výstupom sú binárne 0 a 1.
4. Triangulácia – vstupom sú binárne 0 a 1, ktoré sa použijú pri aplikácii matematických vzorcov na výpočet polohy.



Obr. 15: Modul lokalizácie

Výstup modulu „Lokalizácia“ je vstupom pre modul „Vizualizácia“, ktorého úlohou bude transformovať výstupné údaje z triangulácie do súradníc zobrazovanej mapy a následne graficky zobrazíť polohu užívateľa.

V serverovej časti sme identifikovali, dve moduly a to modul zodpovedný za komunikáciu so smartphonom, ktorého úlohou bude zabezpečiť komunikáciu s telefónom, tento modul budú využívať všetky ostatné moduly, ktoré budú potrebovať komunikovať s telefónom. Ďalším modulom je modul, ktorý bude održiavať mapy jednotlivých budov.

V neskoršom priebehu riešenia sa môžu došpecifikovať ďalšie moduly na strane servera, ktoré budú realizovať ďalšiu doplnkovú funkcionálnosť.

4.2.3 Voľba optimálnej frekvencie

Po úvodnej analýze a oboznámením sa s riešením problémom bolo dôležitou úlohou zvolenie pracovnej frekvencie, na ktorej bude celý náš navigačný systém fungovať. V ideálnom prípade by bolo vhodné zvoliť frekvenciu, ktorú ľudské ucho nepočuje, čiže 20 kHz a viac. V našom prípade ale bude zvolená pracovná frekvencia závisieť od dvoch vecí:

1. frekvenčnej charakteristiky reproduktora, ktorý bude signál vysielat

2. frekvenčnej charakteristiky mikrofónu, ktorý bude signál zachytávať

Reproduktory v nákupných centrách bývajú väčšinou širokopásmové [11]. Slúžia na prenášanie celého počuteľného spektra zvuku. Nakoľko sú namáhané, ich kvalita je obmedzená. Využívajú sa v nákupných centrách, rádiách a v spotrebnej elektronike. V priemere dokápujú frekvencie od 100 Hz do 10000 Hz. Na nižšie frekvencie je potrebný osobitný basový reproduktor (do 1500 Hz), pre vyššie výškový reproduktor (> 2 kHz). Na frekvencie 300 – 6000 Hz sú určené stredopásmové reproduktory. V našom projekte budeme uvažovať širokopásmové reproduktory.

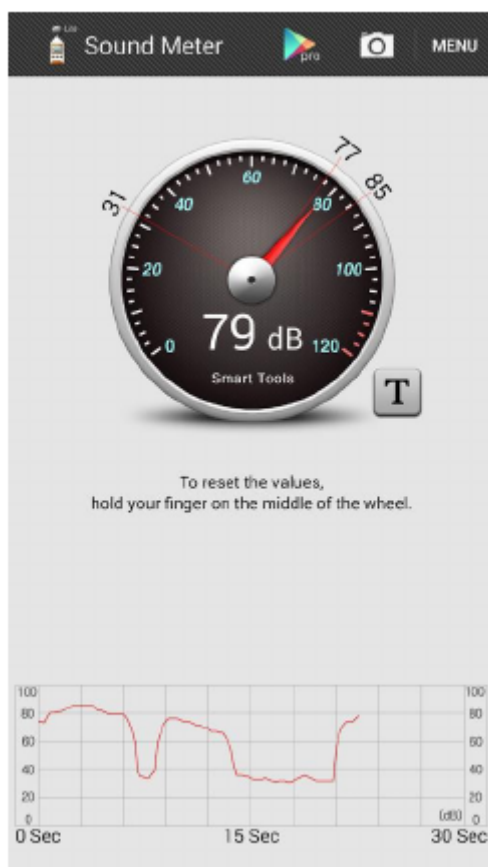
Druhým aspektom pri zisťovaní pracovnej frekvencie bola frekvenčná charakteristika mikrofónov v bežných mobilných zariadeniach. Frekvenčná charakteristika mikrofónu určuje, ako je mikrofón schopný prijímať frekvenčné spektrum. Meranie frekvenčnej charakteristiky mikrofónov sme uskutočnili v experimentálnych podmienkach – tichá miestnosť o rozmeroch 10 x 4 m. Testovali sme zariadenia od dvoch popredných výrobcov smartfónov – Samsung a HTC. Konkrétne sa jednalo o telefóny:

- HTC Evo 3D
- Samsung Galaxy S3 (I9300)

Ďalšou dôležitou charakteristikou mikrofónu je jeho smerová charakteristika, čiže jeho priestorová citlivosť [10]. Pre naše účely by bol potrebný mikrofón so všesmerovou charakteristikou, čiže intenzita prijatého signálu nezávisí na smere dopadu zvukovej vlny na mikrofón. Pokiaľ by intenzita závisela od smeru dopadu zvuku, predstavovalo by to problém. Poloha používateľa by sa potom menila v závislosti od natočenia k reproduktoru.

Meranie

Na meranie intenzity zvuku sme použili voľne dostupný softvér pre OS Android – Sound Meter (obrázok) od spoločnosti Smart Tools [19]. Tento softvér umožňuje merať intenzitu signálu na základe údajov prijatých na mikrofóne zariadenia a tieto údaje v real-time vykresľovať do grafu, ako závislosť času (s) od intenzity (dB).



Obr. 16: Aplikácia Sound Meter

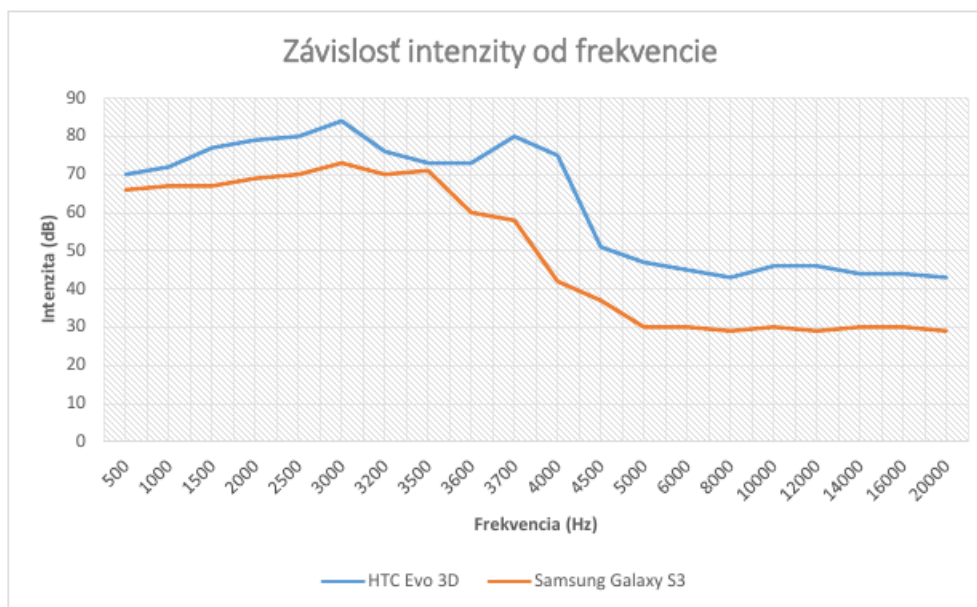
Počas referenčného ticha ukazoval Samsung hodnotu intenzity 30 dB a HTC hodnotu 40 dB. Pri návšteve rušného nákupného centra mala intenzita zvuku hodnotu 73dB (Samsung) a 90dB (HTC). Vyššie namerané hodnoty u HTC môže naznačovať citlivejší mikrofón, alebo len softvérové zosilnenie. Taktiež, maximálna intenzita merateľná na oboch telefónoch je hardvérovo obmedzená. Pre Samsung Galaxy S3 bola určená na 84 dB, na HTC Evo 3D je to 136 dB. Ako vysielač signálu (reproduktor) sme použili prehrávač Philips AZ 783/12.

Tento experiment bol rozdelený do troch častí:

1. Meranie závislosti intenzity od zvolenej frekvencie
2. Závislosť intenzity optimálnej frekvencie od vzdialenosti od vysielača
3. Smerová charakteristika (priestorová citlivosť) mikrofónov

V prvej časti experimentu sme telefóny položili do konštantnej vzdialenosti od reproduktora. Do reproduktora sme následne vysielať frekvencie v rozsahu od 20 Hz do 20

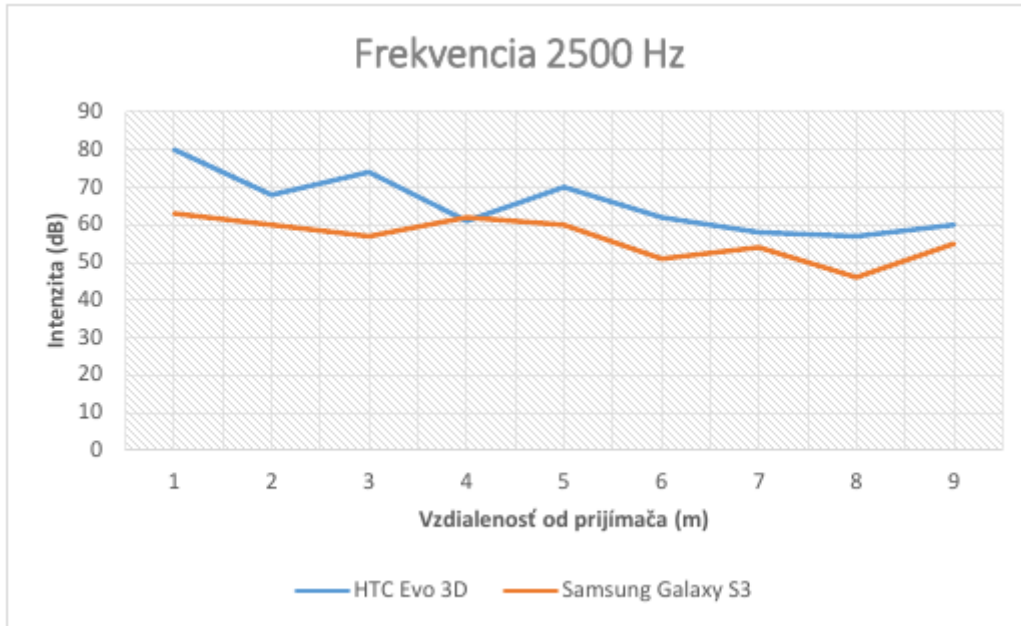
kHz a na telefónoch pozorovali zmenu intenzity prijatého signálu. Závislosť intenzity od frekvencie je zobrazená na nasledujúcich obrázkoch. Na x-ovej je znázornená frekvencia v hertzoch (Hz), na y-ovej osi je to intenzita signálu v decibeloch (dB).



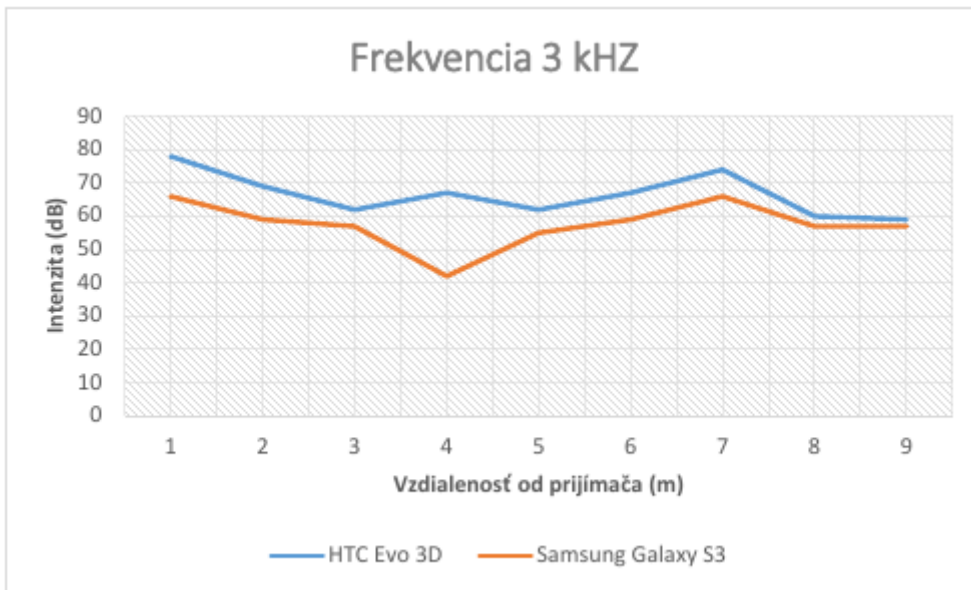
Obr. 17: Závislosť intenzity od frekvencie

Ako možno pozorovať, obe zariadenia majú veľmi podobnú frekvenčnú charakteristiku. Najvyššie hodnoty sme dosahovali pri intenzite okolo 3kHz. Od 4kHz začala intenzita rapídne klesať. To odpovedá faktu, že tieto mikrofóny sú prispôbené na prenos ľudskej reči, ktorá sa pohybuje na rozhraní 300 – 3400 kHz.

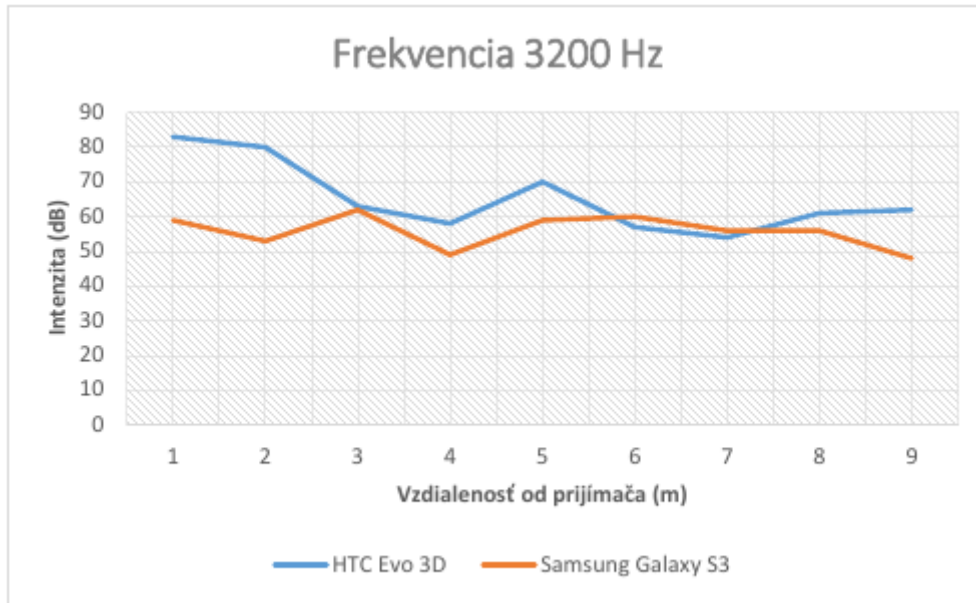
Po uskutočnení tohto merania sme si za vhodné frekvencie zvolili pásmo 2500 – 4000 Hz. Následne sme na zvolených frekvenciách na intervale vykonali merania intenzity signálu, vzhľadom na vzdialenosť od vysielača.



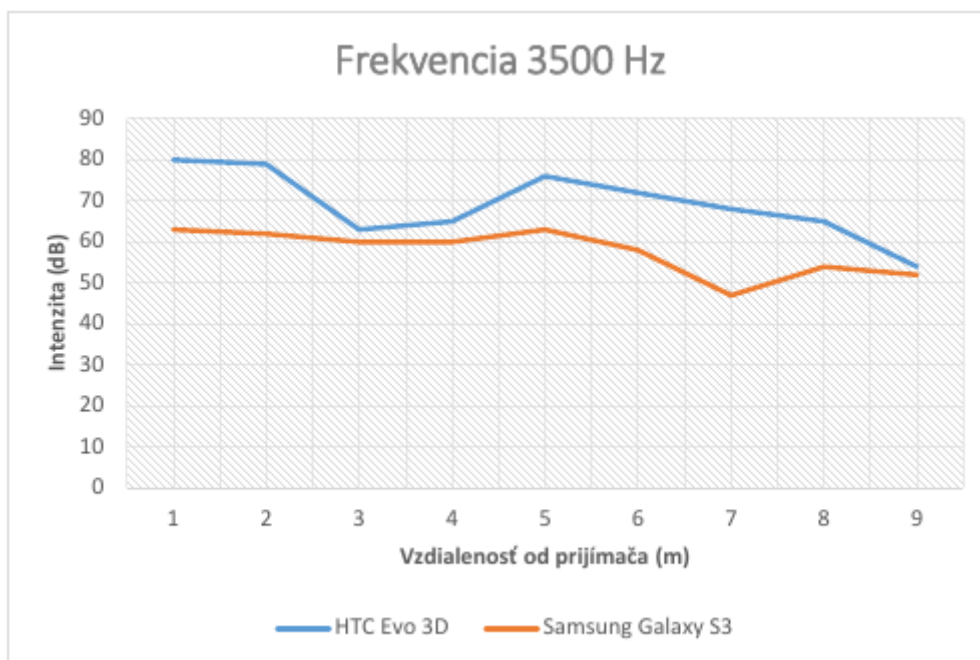
Obr. 18: Meranie intenzity signálu na frekvencii 2500 Hz



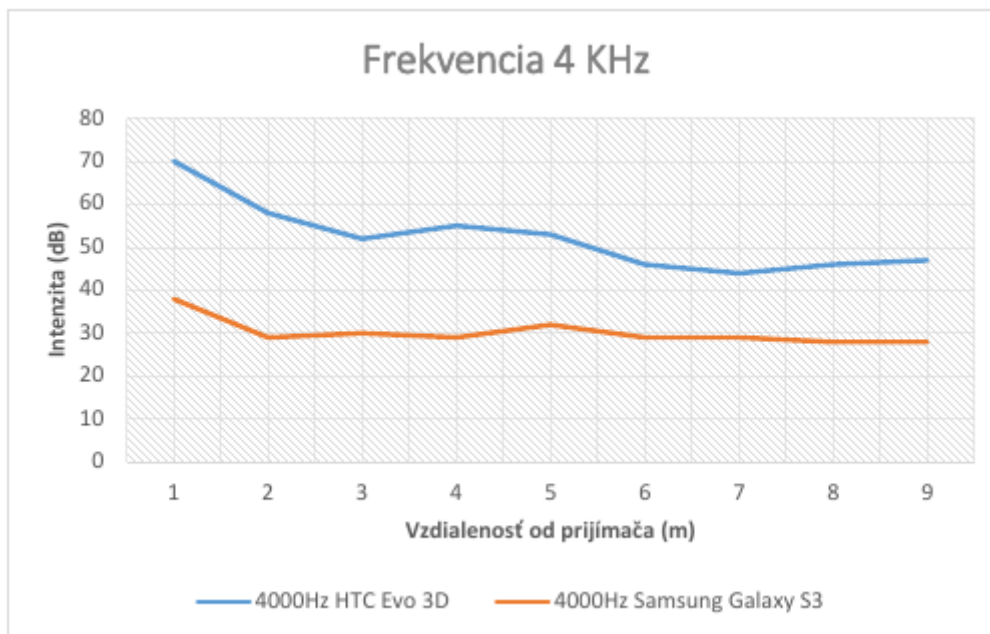
Obr. 19: Meranie intenzity signálu na frekvencii 3000 Hz



Obr. 20: Meranie intenzity signálu na frekvencii 3200 Hz



Obr. 21: Meranie intenzity signálu na frekvencii 3500 Hz



Obr. 22: Meranie intenzity signálu na frekvencii 4000 Hz

Na základe dosiahnutých výsledkov meraní (obrázky) má zvolená pracovná frekvencia hodnotu v rozmedzí od 2500 do 3500 Hz.

Posledným krokom experimentu bolo zistiť smerovú charakteristiku a priestorovú citlivosť mikrofónov. Na toto meranie sme použili frekvenciu 3 kHz. Telefón (Samsung Galaxy S3) sme položili v konštantnej dĺžke od vysielača a postupne ho otáčali. Pri každom otočení sme odčítali hodnotu intenzity. Na HTC Evo 3D sme spozorovali rovnaké správanie.

uhol (°)	intenzita (dB)
0	55
45	55
90	48
135	56
180	54
225	52
270	38
315	52

Obr. 23: Smerová charakteristika a priestorová citlivosť mikrofónov

Ako možno vidieť, intenzita signálu sa mení s uhlom otočenia telefónu.

Na základe experimentov sme zistili optimálne frekvenčné pásmo pre náš projekt – 3kHz. To ale môže predstavovať problém, s viacerých dôvodov. 3kHz sa nachádzajú v spektre frekvencií, ktoré počuje ľudské ucho. Taktiež, šum okolia zodpovedá frekvenciám od 8 kHz nižšie, čo by mohlo spôsobiť rušenie nášho vysielaného signálu a znepresniť (prípadne znemožniť) správnu lokalizáciu používateľa.

Ďalším problémom je smerová charakteristika a priestorová citlivosť mikrofónov. Pokiaľ budeme zameriavať užívateľa podľa intenzity prijatého signálu, mohlo by sa stať, že aj otočenie užívateľa na mieste by potenciálne mohlo zmeniť jeho polohu. Fakty zistené v tomto experimente negatívne vplývajú na celkovú realizovateľnosť nášho projektu.

Literatúra

- [1] <http://www.shopkick.com>. Shopkick. [Online], 2014, <http://www.shopkick.com/press>.
- [2] Agarwal Constandache and Choudhury Tashev. Daredevil: Indoor Location Using Sound. . *Mobile Computing and Communications Review*, 18(2), 2014, <http://www.shopkick.com/press>.
- [3] en.wikipedia.org. Stochastic Resonance. [Online], 2014, http://en.wikipedia.org/wiki/Stochastic_resonance.
- [4] Gregory P. Harmer, Bruce R. Davis, and et.al. A Review of Stochastic Resonance: Circuits and Measurement. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, 51(2), April 2002.
- [5] [HowStuffWorks.com](http://www.howstuffworks.com). Sound. [Online], 18 August 2009, <http://science.howstuffworks.com/sound-info.htm>.
- [6] <http://en.flossmanuals.net/>. CSOUND AND ARDUINO. [Online], 2014, <http://en.flossmanuals.net/csound/csound-in-arduino/>.
- [7] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/>. Sensitivity of Human Ear. [Online], 2014, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/earsens.html>.
- [8] <http://mathworld.wolfram.com/>. Nyquist Frequency. [Online], 2014, <http://mathworld.wolfram.com/NyquistFrequency.html>.
- [9] <http://msdn.microsoft.com/>. Multiple channel audio data and WAVE files. [Online], 2014, [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/dn653308\(v=vs.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/dn653308(v=vs.85).aspx).
- [10] <http://sk.wikipedia.org/>. Mikrofón. [Online], 2014, <http://sk.wikipedia.org/wiki/Mikrof%C3%B3n>.
- [11] <http://sk.wikipedia.org/>. Reproduktor (elektroakustický menič). [Online], 2014, [http://sk.wikipedia.org/wiki/Reproduktor_\(elektroakustick%C3%BD_meni%C4%8D\)](http://sk.wikipedia.org/wiki/Reproduktor_(elektroakustick%C3%BD_meni%C4%8D)).
- [12] <http://www.jimprice.com/>. Understanding dB. [Online], 2014, <http://www.jimprice.com/prosound/db.htm>.

- [13] <http://www.mathworks.com/>. Simulink Support Package for Raspberry Pi Hardware. [Online], 2014, <http://www.mathworks.com/help/supportpkg/raspberrypi/index.html>.
- [14] <http://www.physicsclassroom.com/>. Reflection, Refraction, and Diffraction. [Online], 2014, <http://www.physicsclassroom.com/class/waves/Lesson-3/Reflection,-Refraction,-and-Diffraction>.
- [15] <http://www.wolfram.com/>. Raspberry Pi. [Online], 2014, <http://www.wolfram.com/raspberry-pi/>.
- [16] <http://xiph.org/>. FLAC. [Online], 2014, <http://xiph.org/flac/documentation.html>.
- [17] Frank Mossa, Lawrence M. Wardb, and et.al. *Stochastic resonance and sensory information processing: a tutorial and review of application*, pages 267–281. 17 September 2003.
- [18] Ciampa Olenewa. *Wireless# guide to wireless communications*. 2007.
- [19] play.google.com. Sound Meter. [Online], 2014, <https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.sound&hl=sk>.
- [20] Rishabh, Kimber, and Adcock. Indoor localization using controlled ambient sounds. *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 13 November 2012.
- [21] sites.google.com. JTransforms. [Online], 2014, <https://sites.google.com/site/piotrwendykier/software/jtransforms>.
- [22] vucako.wordpress.com. CDMA 101. [Online], November 06, 2014 , <http://vucako.wordpress.com/2005/12/08/240410cdma101php/>.
- [23] Zekavat and et.al. *Handbook of Position Location Theory, Practice and Advances*. 2011.