

UNIVERZA NA PRIMORSKEM  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN  
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Zaključna naloga

**Doživljajsko učenje na primeru podoživljanja ehlokacije**

(Experiential learning in the case of reliving echolocation)

Ime in priimek: Patrik Kocjančič

Študijski program: Računalništvo in informatika

Mentor: doc. dr. Matjaž Kljun

Somentor: asist. dr. Klen Čopič Pucihar

Somentor: doc. dr. Branko Kavšek

Koper, september 2016

## Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Patrik KOCJANČIČ

Naslov zaključne naloge: Doživljajsko učenje na primeru podoživljanja eholokacije

Kraj: Koper

Leto: 2016

Število listov: 47

Število slik: 19

Število prilog: 1

Število strani prilog: 1

Število referenc: 43

Mentor: doc. dr. Matjaž Kljun

Somentor: asist. dr. Klen Čopič Pucihar

Somentor: doc. dr. Branko Kavšek

Ključne besede: eholokacija, zvok, frekvenca, senzor, mono, stereo, Android

### **Izвлеček:**

Zaključna naloga predstavlja opis pojma eholokacije, kdo jo uporablja in kje jo lahko srečamo. Eholokacija je sposobnost živih bitij, ki omogoča nekaterim živalim in tudi nekaterim ljudem premikanje v prostoru na drugačen način. Eholokacija temelji na oddajanju visoko frekvenčnih zvokov, kateri se odbijejo od ovir in se vrnejo kot odmevi k sprejemniku.

Zaključna naloga predstavlja tudi izdelavo prototipa Android aplikacije, ki bo simuliral eholokacijo. Sistem je implementiran s pomočjo programskega jezika Java, C in C++. Prototip sprejema podatke okolja s globinsko kamero in nato oddaja zvočne signale uporabniku. Frekvenca zvočnih signalov se spreminja s prejeto razdaljo od predmeta, in sicer bližje kot je predmet višja bo frekvenca, medtem ko dlje kot je predmet nižja bo frekvenca. Cilj naloge je spoznati eholokacijo in jo poskušati uporabiti na 2 načina (mono, stereo) za premikanje v prostoru. Pri tem želimo tudi izvedeti kateri način je boljši za uporabo.

## Key words documentation

Name and SURNAME: Patrik KOCJANČIČ

Title of the final project paper: Experiential learning in the case of reliving echolocation

Place: Koper

Year: 2016

Number of pages: 47

Number of figures: 19

Number of appendices: 1  
43

Number of appendix pages: 1

Number of references:

Mentor: Assist. Prof. Matjaž Kljun, PhD

Co-Mentor: Assist. Klen Čopič Pucihar, PhD

Co-Mentor: Assist. Prof. Branko Kavšek, PhD

Keywords: echolocation, sound, frequency, sensor, mono, stereo, Android

### **Abstract:**

The thesis presents a description of the concept of echolocation, who uses it and where you can meet it. Echolocation is the ability of living organisms, which allows certain animals and also some people moving into the area in a different way. Echolocation based on the transmission of high frequency sounds, which are reflected from the obstacles and return as echoes to the receiver.

The thesis also presents prototype Android apps that will simulate echolocation. The system is implemented using the Java programming language, C and C ++. The prototype receives environment data with depth camera and then emit an acoustic signal to the user. The frequency of the sound signals received varies with the distance of object, namely, the closer than is the object higher will be frequency, while further than is the object lower will be frequency. The aim of this project is to understand echolocation and trying to use 2 ways (mono, stereo) to move into the area. In doing so, we also want to know which method is better to use.

## Zahvala

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Matjažu Kljun in somentorju dr. Klenu Čopič Pucihar za napotke in strokovno pomoč pri izdelavi zaključne naloge. Prav tako se zahvaljujem študentom UP FAMNIT, ki so sodelovali pri raziskavi.

# Kazalo vsebine

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Pregled področja</b>	<b>3</b>
2.1	Obstoječi sistemi eholokacije . . . . .	6
2.1.1	Zajemanje podatkov . . . . .	6
2.1.2	Predstavitev podatkov . . . . .	7
2.2	Obstoječi sistemi za navigacijo . . . . .	8
2.3	Cilj našega projekta . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Zasnova</b>	<b>10</b>
3.1	Funkcijske zahteve . . . . .	10
3.2	Sistemske zahteve . . . . .	11
3.2.1	Naprave za prejemanje podatkov iz okolja . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Implementacija prototipa</b>	<b>14</b>
4.1	Priprava sistema . . . . .	14
4.2	Izdelava prototipa . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Evaluacija prototipa</b>	<b>19</b>
5.1	Opis prototipa . . . . .	19
5.2	Pilotna študija 1: Prepoznavanje lika . . . . .	19
5.3	Pilotna študija 2: Prepoznavanje likov v dveh ravninah . . . . .	20
5.4	Študija 3: Navigacija v prostoru . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Rezultati in razprava</b>	<b>24</b>
6.1	Rezultati pilotnih študij . . . . .	24
6.2	Rezultati študije 3 . . . . .	25
6.3	Nadaljnje delo . . . . .	31
<b>7</b>	<b>Zaključek</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>Literatura in viri</b>	<b>33</b>

# Kazalo slik

1	Slika prikazuje ehlokacijo netopirja. Vir: [42] . . . . .	4
2	Celoten sistem oddajanja in sprejemanja zvočnih signalov pri delfinu. Vir: [41] . . . . .	5
3	Slika prikazuje shemo delovanja sistema. . . . .	10
4	Slika prikazuje Structure IO senzor podjetja Occipital, ki omogoča glo- binsko skeniranje prostora. Vir: [40] . . . . .	13
5	Primerjava med mono in stereo. Črni kvadrati prikazujejo kje v spreje- tem okvirju želimo prebrati vrednosti za mono(levo) in stereo (desno). .	17
6	Primerjava med mono in stereo s funkcijo scan. Črni kvadrati prikazujejo kje v sprejetem okvirju želimo prebrati vrednosti za mono(levo) in stereo (desno). Puščice pa prikazujejo območje premikanja vzorcev v okvirju.	18
7	Liki za prepoznavanje pri lažjem delu pilotne študije 1 . . . . .	20
8	Liki za prepoznavanje pri težjem delu pilotne študije 1 . . . . .	20
9	Liki za prepoznavanje pri pilotni študiji 2 . . . . .	21
10	Uporabnik z vso opremo za izvajanje študije . . . . .	21
11	Tloris prostor v katerem uporabnik išče izhod . . . . .	23
12	S stereo načinom lahko potujemo po robovih lika . . . . .	24
13	Graf pikazuje povprečen čas glede na poskus uporabe . . . . .	26
14	Graf pikazuje povprečen čas glede na način uporabe . . . . .	26
15	Graf pikazuje povprečno število obratov glede na poskus uporabe . . . .	28
16	Graf pikazuje povprečno število obratov glede na način uporabe . . . . .	28
17	Graf pikazuje povprečno število trkov glede na poskus uporabe . . . . .	29
18	Graf pikazuje povprečno število trkov glede na način uporabe . . . . .	30
19	Skala SUS vrednosti, iz katere lahko razberemo pomen SUS ocene. Vir: [43]	30

# Kazalo prilog

A Izvorna koda

## Seznam kratic

*tj.* to je

*npr.* na primer

*št.* število

*itd.* in tako dalje

*ipd.* in podobno



# 1 Uvod

Vid ljudem predstavlja najpomembnejši vir za sprejemanje informacij iz okolja. Ljudje ki vidimo, ga jemljemo kot nekaj samoumevnega, a ko pogled ni mogoč zaradi zastora vida ali pomanjkanja svetlobe, se zavemo njegovega neprecenljivega pomena. Za pridobivanje informacij, kjer eden od naših najpomembnejših čutov nam ne more pomagati, so nekatere živali ter nekateri ljudje razvili dovršen sistem. Imenujemo ga eholokacija ali biosonar.

Eholokacija je sposobnost živih bitij, ki omogoča nekaterim živalim in tudi nekaterim ljudem premikanje v prostoru na drugačen način. Eholokacija temelji na uporabi visoko frekvenčnih zvokov in na poslušanju odmevov. Oddani zvoki potujejo po prostoru dokler ne prispejo do kakšnih ovir od katerih se odbijejo in se vrnejo kot odmevi k sprejemniku. V tem primeru sta oddajnik in sprejemnik enaka. Sprejemniku je potrebno te odmeve še interpretirati in nato izdelati sliko prostora. Izraz eholokacija sta skovala Donald Griffin in Robert Galambos, ki sta prva dokazala njen obstoj pri netopirjih leta 1938, čeprav je šele Lazzaro Spallanzani dokazal, da so netopirji sposobni premikanja v popolni temi brez da bi pri tem uporabljali oči [3].

Eholokacija je en izmed zelo najuspešnejših specializacij narave. Približno 25 % vseh živečih vrst sesalcev uporablja to tehniko za dojetje okolice. Z eholokacijo lahko živali vidijo drugo žival in pri tem lahko izvedo kam se premika, kako velika je, za kakšno žival gre, in tudi druge značilnosti le-te. Izkaže se za zelo učinkovit proces, ki ga imajo za zaznavanje okolja, ko se vid postane neučinkovit, na primer v podzemnih prostorih, ki jih sonce po dnevi ne doseže, ponoči in tudi motni ali umazani vodi. Različne študije so pokazale da za zaznavanje teh oddanih glasov jim omogoča protein prestin, ki ga imamo tudi ljudje in služi povišanju glasnosti zvoka. Brez tega proteina je zaznavanje visokih frekvenc zvoka nemogoče [1–4].

Četudi imamo tudi ljudje protein prestin, eholokacije ne uporabljamo kot primaren vhodni podatek pri navigaciji. Zato bomo v nalogi preučili pojem eholokacije in skušali soočiti ljudi kako lahko žival vidi oz. kako si predstavlja prostor okoli sebe, brez da bi pri tem uporabljala oči. Predvidena rešitev naloge temelji na simulaciji eholokacije z uporabo virtualne resničnosti se lahko uporabnika sprehaja po prostoru s pomočjo zvoka. V sklopu naloge želimo izdelati simulator eholokacije, preučiti različne možnosti tehnične izvedbe tega in preizkusiti najprimernejšo rešitev z izdelavo prototipa [4].

Drugo poglavje opisuje pregled področja ehlokacije in sistem, ki jo uporabljajo. Podrobneje predstavlja kako nekatere živali in v nekaterih primerih tudi človek uporabljajo to metodo zaznavanja sveta vsakodnevno. V tem poglavju so opisani sistemi, ki uporabljajo ehlokacijo za zajemanje informacij in kako te podatke lahko predstavimo ter nekaj različnih pristopov k tej metodi.

Tretje poglavje opisuje funkcijske in systemske zahteve rešitve.

Četrto poglavje predstavlja v podrobnem implementacijo prototipa.

Peto poglavje predstavlja evaluacijo prototipa.

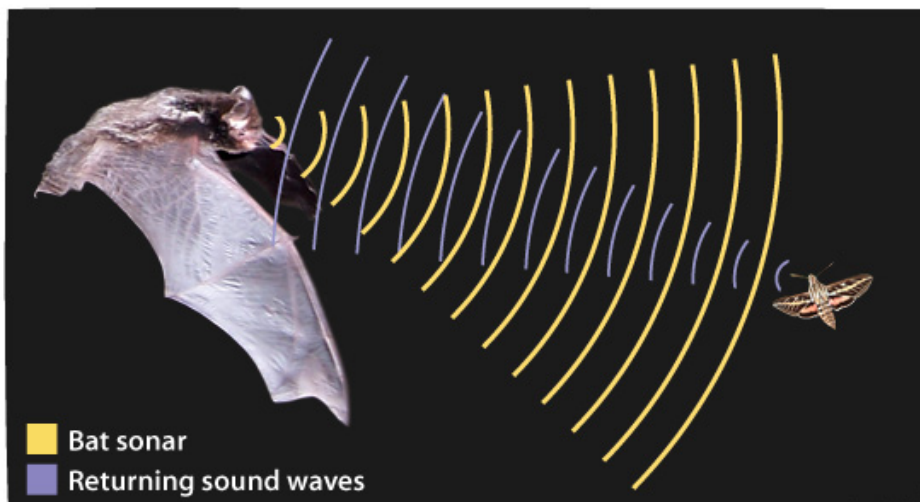
## 2 Pregled področja

Eholokacija deluje na podlagi oddajanja visoko frekvenčnih zvokov in poslušanju odmeva v realnem času. Obstajata dve različni obliki ehlokacije: aktivna in pasivna. Proizvajanje zvokov in prejemanje informacije o lokaciji od odbitih odmevov, je znano kot aktivno ehlokacijo. Pasivna ehlokacija pa je interpretacija odmevov iz zvokov, ki ga proizvaja okolica. Uporaba te tehnike zahteva občutljivost in hitro analizo lastnosti samostojnih ustvarjenih zvokov in njenih odmevov, kot tudi zvoke in odmevov proizvedenih iz okolice [5].

Kot način zaznavanja in razumevanja prostora ga uporablja kar nekaj živalskih vrst. Različne študije so pokazale, da zaznavanje odmevov omogoča protein prestin. Prestin je zelo pomemben, saj pomaga pri ojačanju zvočnih signalov v notranjem ušesu. Četudi imajo vsi sesalci prestin med katere spada tudi človek, lahko ehlokacijo uporablja le 25% vseh živečih vrst sesalcev. Najbolj znani uporabniki ehlokacije iz sveta sesalcev so netopirji in zobati kiti. Približno 1100 vrst netopirjev in približno 80 vrst zobatih kitov uporablja to tehniko. Njihov ehlokacijski sistem se razlikuje, saj so organi, ki proizvajajo in sprejemajo zvočne signale različni [2, 6].

Netopirji proizvajajo zvok v grlu in uporabljajo usta za oddajanje zvoka, redkeje tudi nos. Z ehlokacijo netopirji lahko redno izpolnjujejo zelo zahtevne naloge odkrivanja, sledenja, prepoznavanja in prestrezanja letelih insektov ter tudi izogibanje ovir, na primer vegetacija. Bližji kot je neki oviri višja bo hitrost ponavljanja oz. večkrat bo netopir oddajal in sprejemal zvoke v določenem intervalu. Za izračun razdalje in velikosti plena, premikajo ušesa gor in dol neodvisno. Posamezna vrsta netopirjev uporablja različen razpon frekvenc, saj je to odvisno od okolja, kjer netopir živi in od plena, ki ga lovi. Slika 1 prikazuje, kako se zvok odbija od plena. Ampak obstajajo tudi izjeme v vrsti netopirjev, ki uporabljajo različne frekvence zvokov od ostalih osebkov iste vrste, zato je identifikacija vrste po oddanih zvočnih signalih nemogoča. Frekvence, ki jih uporabljajo netopirji segajo od 8 kHz do več kot 210 kHz, kar je večinoma zunaj območju človeškega zaznavanja zvoka, saj ljudje lahko slišimo le frekvence od 0.2 kHz do 20 kHz [3, 7–9].

Iz letelih se zdaj pomaknimo na vodne sesalce, in sicer zobate kite. Najbolj znan predstavnik zobatih kitov, ki uporablja ehlokacijo je delfin. Delfini proizvajajo zvoke s stiskanjem zraka skozi svoje nosne votline pod zgornjo dihalno odprtino. Nato zvoki

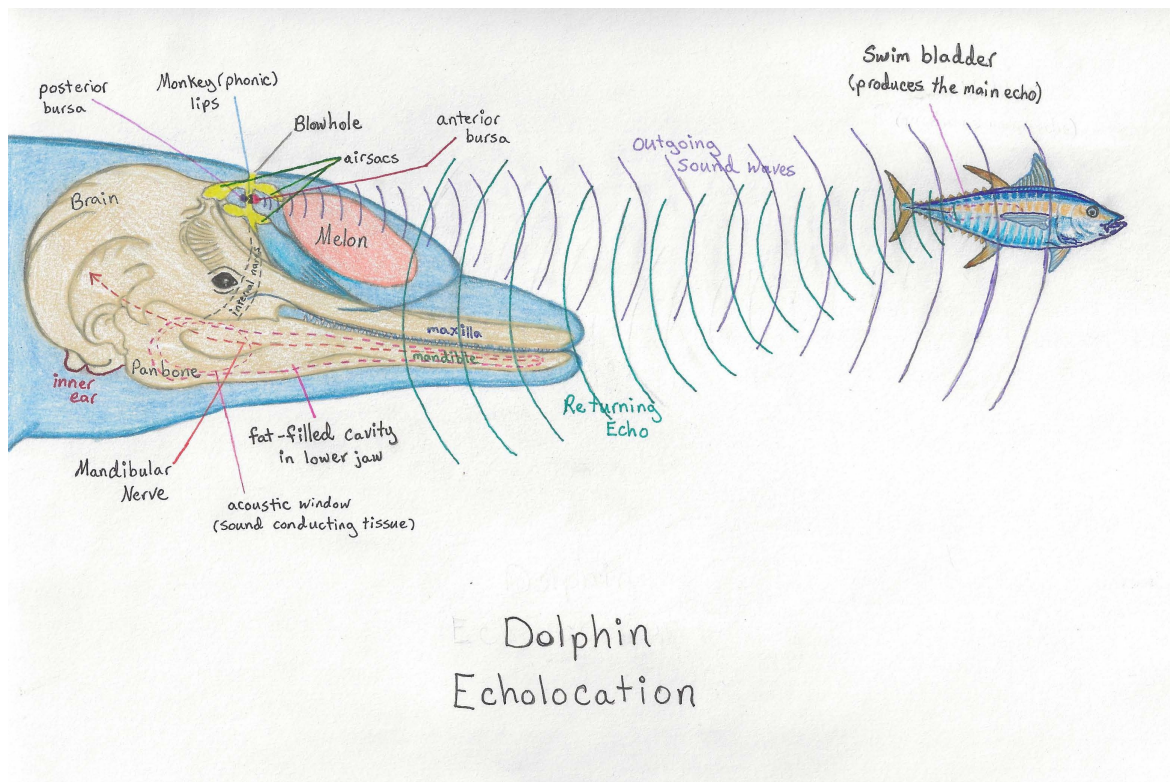


Slika 1: Slika prikazuje ehlokacijo netopirja. Vir: [42]

potujejo skozi melono. Melona je strukturno del nosnega aparata in je sestavljena iz maščobnega tkiva. Najdemo jo v čelu vseh zobatimi kitov in deluje kot akustična leča. Zvočni signali, ki so projecirani iz melone imajo visoko frekvenco in so močno usmerjeni naprej v vodo pred delfinom. Ko so zvočni valovi odbijejo od predmeta, se odmevi vrnejo k delfinom. Delfini sprejmejo odmeve s svojo spodnjo čeljustjo. Sprejeti zvoki oz. odmevi se iz spodnje čeljusti prenesejo v srednje uho, notranje uho in na koncu v možgane preko slušnega živca. Možgani prejmejo zvočne valove v obliki živčnih impulzov in omogoči delfinu interpretirati prejete odmeve. Delfini uporabljajo ehlokacijo v kombinaciji z vidom, saj lahko tako določi obliko, hitrost, razdaljo, velikost, smer potovanja, in celo nekaj osnovnih dejstev o notranji strukturi objektov okoli njih. Ta informacija je ključnega pomena za delfini, da bi našli hrano in smer v temi ali umazani vodi. Celoten sistem ehlokacije delfina je prikazan na sliki 2 [10, 11].

V nasprotju z netopirji in delfini je naša sposobnost sluha preslaba, da bi z ehlokacijo lahko dovolj natančno dojemali prostor okoli nas. Kljub temu se jo lahko naučimo tudi ljudje s primernim učenjem in če jo uporabljamo vsak dan. Za večino ljudi je lahko to tudi nemogoče razumeti, kako lahko nadomestiti vid z ehlokacijo, ampak nekaterim je to že uspelo. Slepim ljudem so ponavadi boljši pri učenju in uporabi ehlokacije kot ljudje, ki vidijo. Vendar se lahko tudi drugi ljudje približajo točnosti slepih strokovnjakov ehlokacije [12].

Do sedaj ni nobenih statističnih podatkov o tem, koliko slepih ljudi uporablja ehlokacijo, vendar se večina ljudi, ki ima poslabšan vid ali pa celo slepi, približajo ehlokaciji, saj si želijo, da bi lahko spet videli oz. ocenili prostor okoli njih. To počnejo s pomočjo zvočnih klikov poizvedenih z namensko napravo, palico. usti ali s prsti [13].



Slika 2: Celoten sistem oddajanja in sprejemanja zvočnih signalov pri delfinu. Vir: [41]

Znanstveniki so odkrili, da v možganih slepih vizualni korteks ni postal neuporaben, vendar se je razvil tako da ob uporabi ostalih čutov postane aktiven, čeprav ne dobi nobene slike iz vidnega živca. Z ehlokacijo si slepi ljudje lahko samo ustvarijo svojo sliko okolice, ki lahko z veliko treninga postane vedno bolj natančna in omogoča slepim veliko stvari, ki prej niso bili zmožni, npr. kolesarjenje [14].

Daniel Kish in Ben Underwood sta dober primer ljudi, ki uporabljajo ehlokacijo v svojem vsakdanu. Obema so diagnosticirali retinoblastom, to je redka oblika raka, ki se hitro razvija v nezrelih celicah v mrežnici. Najdemo ga skoraj izključno pri majhnih otrocih do 5 let. Zato so jim odstranili oči, saj je to najučinkovitejša oblika zdravljenja retinoblastoma in edini načina za popolno odstranitev rakastih celic ter preprečitev širjenja raka, če poseg ni izvršen preveč pozno. Kljub izgubi vida se nista vdala in se naučili ehlokacije. Daniel Kish se lahko vozi z gorskim kolesom in zazna stavbe 1.000 metrov stran. Sposoben je tudi razlikovati kovinsko ograjo od lesene samo z informacijami odmevov. Medtem ko Ben Underwood je bil sposoben teka, igranja košarke, vožnje s kolesom, rolanja, igranja nogometa, in rolkanje. S svojo ehlokacije je lahko zaznal lokacijo objektov, tako natančno, da se je lahko vmes dveh avtomobilov zapeljal s kolesom brez da bi pri tem trčil [15–19].

## 2.1 Obstoječi sistemi eholokacije

Eholokacija je zelo dober način zaznavanja prostora na zemlji in tudi pod vodo. Eholokacija je bila zmeraj le zmožnost živih bitij, ki imajo protein prestin. Čeprav ima človek tudi ta protein je ne znamo vsi uporabljati, zato je bila potrebna izdelava naprav, ki to počnejo za nas. Vsaka eholokacijska naprava mora omogočati zajemanje in predstavitev informacij. V naslednjih podpoglavjih so predstavljeni različni načini zajemanja in predstavitev informacij.

### 2.1.1 Zajemanje podatkov

Zajemanje podatkov je sistematičen pristop k zbiranju in merjenju podatkov iz različnih virov, da bi dobili čimbolj popolno in natančno sliko območja interesa. Zbiranje podatkov omogoča odgovor na pomembna vprašanja, ovrednotenje rezultatov in napovedi o prihodnjih verjetnosti [20].

V nadaljevanju tega poglavja bomo predstavili nekaj sistemov za zajemanje podatkov, ki temeljijo na eholokaciji za svoje delovanje.

#### Sonar

Sonar je metoda, ki uporablja zvok za določati prisotnost, lokacijo in vrsto objektov v morju. Sonar deluje na principu eholokacije, in sicer akustični valovi se odbijajo od predmetov in z merjenjem časa, ki so ga odmevi uporabili za se vrniti nazaj, lahko določimo razdaljo. Sonar se bistveno razlikuje od radarja in elektro-optike, ker se običajno uporablja na ladjah in čolnih, saj uporabljajo vodo kot propagacijski medij. Obstajajo aktivni sistemi sonar in pasivni sonar sistemi. V aktivnem sistemu sonar je vir akustičnega vala del sonarja. Električna energija iz oddajnika je potrebno pretvoriti v akustično energijo. Če lahko pretvornik samo prejema, potem se imenuje hidrofona, medtem ko če je možno le pošiljanje, se imenuje projektor. V mnogih primerih, lahko pretvornik deluje kot oddajna in sprejemna naprava, ki je običajno primerno za sonar. V pasivnem sistemu sonar, vir akustičnega vala ni del sonarja. Raven vira ni vnaprej znana. Pasivni viri se delijo v dve glavni kategoriji: širokopasovni in ozkopasovni viri. Širokopasovni viri ustvarjajo akustično energijo v širokem frekvenčnem območju. Tipični širokopasovni viri so hrup bodisi iz propelerja, tok hrupa in nekatere pogonske sisteme (primer: paro). Ozkopasovne viri oddaja v majhnem pasu okoli posameznih frekvenc ali razreda frekvenc. Tipični viri so različni deli strojev na vsaki ladji. Na primer, črpalke, motorji, proizvodnja električne opreme in pogonskih sistemov [21–23].

## Ehosondiranje

Eho-sondiranje je podvodni zvočni sistem, ki se uporablja za merjenje globine vode s pomočjo prenosa zvočnih impulzov in vibracij v vodo. Ima štiri glavne elemente. Prva je pretvornik, ki generira vse zvočne vibracije, in sprejema odbite vibracije, to je sonar. Druga komponenta je generator impulzov. Ta proizvaja električno nihanje za pretvornik. Tretja komponenta je ojačevalec. Njegova naloga je, da ojača električno nihanje, ki jih proizvaja pretvornik ko prejme odmev zvočne vibracije. Četrta in zadnja komponenta snemalnik, ki se uporablja za merjenje in končno prikaže globino vode. Eho-sonda odda impulz zvoka neposredno navzdol od dna ladje. Zvočne vibracije potujejo skozi vodo, se odbijejo od morskega dna in nato potujejo navzgor, dokler jih ne sprejme sprejemnik. Nato se globina vode lahko izračunamo po naslednji formuli:

$$\text{razdalja} = \frac{t * v_{\text{voda}}}{2}$$

Za hitrost zvoka v vodi se kar prevzeme vrednost 1500 ms<sup>-1</sup>, medtem ko če želimo bolj natančno vrednost jo lahko pridobimo iz Carter tabel hidrografskega urada, ali pa se lahko merijo s sondo za merjenje hitrosti zvoka t ali iz podatkov CTD (Conductive Temperature Depth). [24]

## Medicinski ultrazvok

Medicinska ultrazvok je diagnostična tehnika slikanja, ki temelji na uporabi ultrazvoka. Uporablja se za prikaz notranje strukture telesa, in sicer kit, mišic, sklepov in notranjih organov. Cilj ultrazvoka je iskanje vira bolezni ali izključitev vsakršne patologije. Osnovno načelo ultrazvoka je isto kot pri sondiranju globine v oceanografskih študiju oceanskega dna. Ultrazvočni valovi so omejeni na ozek žarek, ki se lahko potuje skozi telo, se absorbira ali odbija od medija proti kateremu je usmerjen. Pri tem je odvisno kakšen tip medija zadene. Na področju porodništva in ginekologije je ultrazvok postal zelo pomemben. S to tehniko lahko oceni velikost in zrelost ploda in položaj placente. To je hitera, relativno varna in zanesljiva metoda za diagnosticiranje nosečnosti. Možno je tudi označiti tumorje maternice in druge medenične mase [25,26].

### 2.1.2 Predstavitev podatkov

Zajete podatke je potrebno na kakšen način predstaviti, ker če ne so prejeti podatki brezpredmetni. Zato lahko rečemo, da je predstavitev izjemnega pomena za interpretacijo zajetih podatkov. Predstavitev je načeloma izvršena s dodatnimi napravami, medtem ko živalim, ki uporabljajo ehlokacije ta ni potrebna, saj to počnejo samo s pomočjo svojih možganov. Predstavitev podatkov je lahko bodisi vizualna bodisi zvočna. Vizualna predstavitev temelji na prikazovanju prejetih podatkov na zaslonu,

slikah ipd. Na ta način je veliko lažje razumevanje teh podatkov. Medtem ko pri zvočni predstavitvi je veliko težje razumevanje podatkov in zaznavanje manjših razlik pri delovanju. V zaključni nalogi smo se osredotočili na zvočno predstavitev, saj je naš cilj predstaviti ehelokacijo netopirja.

## 2.2 Obstoječi sistemi za navigacijo

V tem poglavju bomo spoznali nekaj sistemov, ki omogočajo navigacijo samo z uporabo zvoka.

Prvi navigacijski sistem za slepe in slabovidne temelji uporabi RGB-D<sup>1</sup> kamere. RGB-D kamere so sistemi za zaznavanje, ki zajemajo RGB slike skupaj z informacijami globine za vsak pixel posebej. Sistem je sestavljen iz pametnega telefona, RGB-D kamere, navigacijskega algoritma za delo v realnem času in haptičnim sistemom povratnih informacij. Vmesnik pametnega telefona zagotavlja učinkovit način za komunikacijo s sistemom z uporabo avdio in haptično povratno informacijo. Navigacijski algoritem gradi tudi 3D zemljevid voxlov (3d pixel) okolja. Sistem povratnih informacij je sestavljen iz štirih mikro vibracijskih motorjev, ki so namenjeni za vodenje slabovidnih uporabnikov po izračunani poti in za zmanjšanje kognitivne obremenitve. Navigacija v zaprtih prostorih s tem sistemom uspešno preprečuje trčenja in izboljšuje mobilnost uporabnika [27].

Naslednja naprava je tudi prenosna (MeloSee) in deluje tako, da pretvori 2D matriko globine slike v melodijo v realnem času. Jakosti zvoka je odvisna od oddaljenost sensorja in predmeta. Sistem je sestavljen iz dveh glavnih delov: kodirnik mrežnice, ki pridobiva le pomembne informacije iz slike in generator zvoka, ki proizvaja stereo melodijo. RGB-D ASUS Xtion kamera (predhodna različica Kinect sensorja), ki je pritrjen na glavah udeležencev, zajema zemljevid globine za kodirnik in ta oddaja zvok v realnem času na slušalke [28].

## 2.3 Cilj našega projekta

Cilj našega projekta je spoznati, kako se lahko živali znajdejo v okolju samo z uporabo zvoka in simulirati njihovo metodo zaznavanja za učenje ljudi v okolju brez svetlobe, kjer oči nam ne morajo pomagati. Zato smo pri tem spoznali pojem ehelokacije in njeno uporabo v vsakdanu živali, ki to metodo uporablja. Pomagali si bomo z metodami prejemanja in predstavljanja podatkov, ki smo jih opisali v prejšnjih podpoglavjih.

---

<sup>1</sup>RGB-D kamera: RGB-D kamera ali globinska kamera, ki omogoča zajemanje globine za vsak pixel v RGB sliki



V nadaljevanju te zaključne naloge bomo predstavili rešitev, ki temelji na zgoraj opisanih tehnologijah. Za zaznavanje prostora smo spoznali nekaj različnih rešitev, ampak nam sam mobilni telefon ni zadoščal, saj ni omogočal zaznavanje globine predmetov, zato smo mogli uporabiti dodaten senzor. Čeprav za večino uporabnikov ni to primerno, saj predstavlja dodaten strošek, smo za potrebe našega sistema mogli le-tega uporabiti.

V našem primeru smo se odločili za podoben pristop kot večina ljudi, ki se ukvarja z ehlokacijskimi napravami za slepe. Odločili smo se za Structure IO senzor, katerega ni še noben uporabil v ta namen, saj smo ga imeli voljo in ni predstavljal dodatnih stroškov. Aplikacija bo s pomočjo senzorja sprejemala podatke o globini, jih obdelala in nato oddajala zvočne signale uporabniku v realnem času.

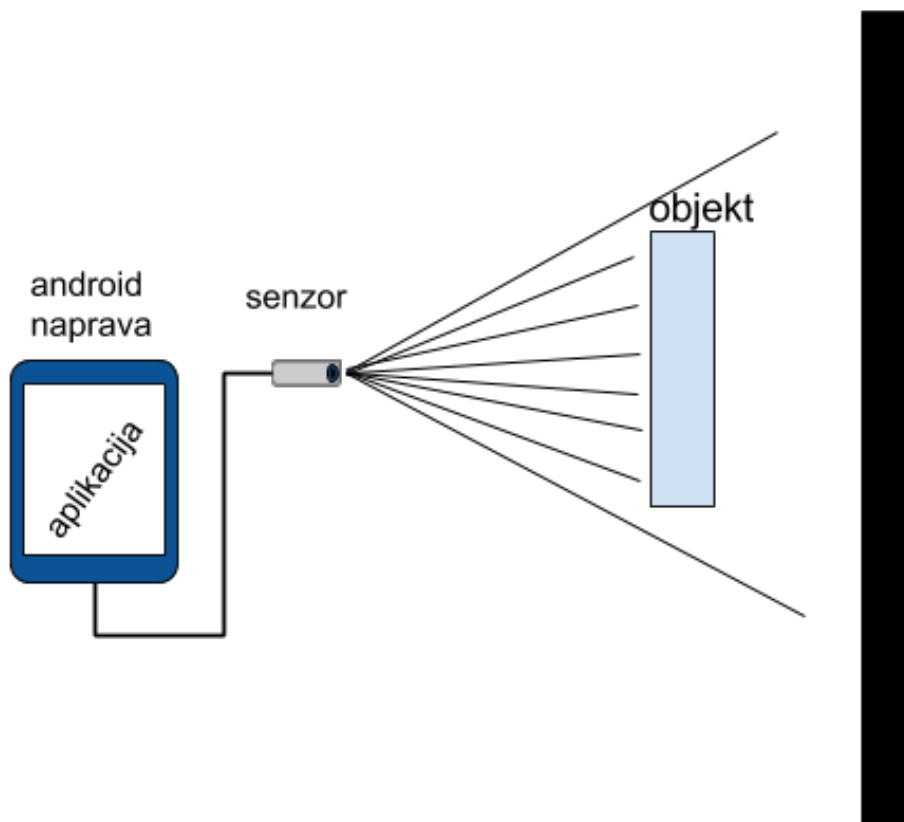
Pri izdelavi prototipa smo ugotovili, da lahko pridobimo podatke o prostoru in oddajamo zvok na dva načina, zato smo raziskavo razširili. Dodali smo še razpravo ali človek dojema boljše mono ali stereo ehlokacijske frekvence zvoka, saj nismo našli nikjer raziskav o zaznavanju okolja samo z zvokom, ki opisuje oba načina uporabe.

## 3 Zasnova

V naslednjih poglavjih bomo predstavili funkcionalne in systemske zahteve sistema za zvočno dojetanje prostora.

### 3.1 Funkcijske zahteve

Zamišljen sistem v okviru zaključne naloge mora uporabniku omogočiti dojetanje prostora in objektov v njem brez uporabe vida. Za uporabo potrebujemo napravo na katero je priključena globinska kamera za merjenje globine oziroma razdalje do objektov in sten prostora. Celoten sistem je viden na sliki 3.



Slika 3: Slika prikazuje shemo delovanja sistema.

Aplikacija razvita za namen zaključne naloge mora zbirati podatke s pomočjo senzorja in nato oddajati zvočne signale. Zvočni signali so odvisni od razdalje med senzorjem in objektom. Bliže kot je objekt višja bo frekvenca zvoka in dlje kot je objekt nižja bo frekvenca zvoka. Če je objekt preveč oddaljen od senzorja aplikacija ne oddaja slišnih zvokov.

Vmesnik aplikacija za potrebe testiranja omogoča uporabniku izbiro različnih parametrov:

- izbiro matrike velikosti sredinskega dela celotnega vzorca, ki ga vrača senzor, na podlagi katere se računa oddaljenost od objektov,
- mono zvočna povratna informacija glede na oddaljenost senzorja do najbližje točke v matriki izbrane velikosti,
- stereo zvočna povratna informacija glede na oddaljenost od središčne matrike izbrane velikost leve in desne polovice celotnega vzorca, ki ga vrača senzor,
- izbiro največje razdalje za katero aplikacija še oddaja zvočno informacijo,
- izbira ponovitev zvočne povratne informacije na sekundo,
- izbira zvoka povratne informacije.

## 3.2 Systemske zahteve

Pri sistemski zasnovi bi se lahko odločili za zvočno dožemanje navideznega ali realnega prostora. Pri navideznem prostoru bi morali uporabniku le tega generirati in mu ga nato na primer z naglavnim prikazovalnikom (Google Cardboard, Oculus Rift, HTC Vive) in slušalkami zvočno prikazati kot je to opisano v zgornjem poglavju Funkcionalnih zahtev. Pri tem bi uporabnik ne videl dejanske slike navideznega prostora, ampak dobival le zvočno informacijo odvisno od umerjenosti pogleda v prostoru. Glede na to, da se navidezni prostor in realen prostor po katerem se uporabnik dejansko premika, lahko razlikujeta, bi to lahko privedlo do slabe uporabniške izkušnje. Ena možnost rešitve te težave bi bila uporabniku preprečiti premikanja po navideznem prostoru, kar zelo omeji uporabnost sistema. Zato smo se odločili za zvočni opis realnih prostorov po katerih se lahko uporabnik premika.

Pri tem je bila potrebna uporaba dodatnega senzorja, ki bi lahko sprejemal podatke iz okolja. V naslednjem podpoglavju bomo opisali nekaj različnih senzorjev oz. naprav, ki nam bi lahko pomagale pri izdelavi prototipa za zaključno nalogo in na koncu izbrali napravo, ki nam bolj ustreza.

### 3.2.1 Naprave za prejemanje podatkov iz okolja

V tem poglavju bomo opisali strukturo in delovanje nekaterih sistemov za zajemanje 3d podatkov iz okolja. Sistemi, ki jih bomo opisali so Lidar, Kinect, Google Tango in Structure IO<sup>1</sup>.

Lidar (Light Detection and Ranging) je daljinska metoda zaznavanja, ki uporablja svetlobo v obliki pulzirajočega laserja za merjenje območja na Zemlji. Senzor oddaja konstantne kratke impulze energije proti zemlji in le nekaj te energije se vrne nazaj k sensorju. Svetlobni impulzi v kombinaciji z drugimi podatki ustvarijo natančne tridimenzionalne informacije o obliki Zemlje in njene površinske lastnosti. Osnovna razlika med Lidar in Radar je Lidar uporablja mnogo krajše valovne dolžine elektromagnetnega spektra za posneti predmet. Običajno je to v območju ultravijolične in infrardeče. Lidar je sestavljen predvsem iz laserja, optičnega bralnika in specializiranega GPS sprejemnik. Letala in helikopterji, so najpogosteje uporabljene platforme za pridobitev podatkov Lidar širših območij. Lidar se veliki meri uporablja za raziskave atmosfere in meteorologije [29, 30].

Kinect je naprava za zaznavanje gibov, ki jo je razvil Microsoft za Xbox 360 in Xbox One igralne konzole ter Windows računalnike. Omogoča uporabnikom nadzor in interakcijo s konzolo oziroma računalnikom brez kontrolerja, skozi naravni uporabniški vmesnik z uporabo kretenj in glasovnih ukazov. Naprava sestavljen iz sensorjev med katerimi IR projektor, IR kamero in RGB kamere. IR kamera in projektor se uporabljajo za skupaj za pridobivanje točk v 3D prostoru, medtem ko RGB kamero se uporablja teksturo točk ali za prepoznavanje vsebine [31].

Projekt Tango je Google-ova tehnološka platforma, ki uporablja računalniški vid, ki omogoča mobilnim napravam, kot so pametni telefoni in tabličnimi računalniki, detekcijo svojega položaja glede na svet okoli sebe, ne da bi z uporabo GPS ali druge zunanje signale [32].

Structure IO senzor je naprava velikosti 119,2\*28\*29 mm , ki omogoča analizo globine prostora. Vidna je na sliki 4. Zaradi omejitev sensorja je možna le analiza globine med 40 cm in 3,5m. Senzor je izjemno natančen, saj pri 40 cm lahko maksimalno odstopanje le 0,5mm od realne vrednosti, medtem ko je pri 3m maksimalno odstopanje 30mm. Structure IO senzor spada med PrimeSense naprave, saj uporablja strukturiran sistem z infrardečo svetlobo za izrisati mrežo nevidnih pik na sceni. Te pike prebere senzor in v kombinaciji s slikami iz digitalnega fotoaparata izdelava sceno, ki vključuje globino. Ta metoda se včasih označuje kot "RGB-D", ker proizvaja tradicionalno rdečo, zeleno in modro sliko s "globinskimi" informacijami. Senzor je narejen za delovanje z iPad modeli, vendar je Occipital dodal možnost uporabe in razvijanja aplikacij za

---

<sup>1</sup>Structure IO: <http://structure.io/>

Android naprave [33, 34].



Slika 4: Slika prikazuje Structure IO senzor podjetja Occipital, ki omogoča globinsko skeniranje prostora. Vir: [40]

## 4 Implementacija prototipa

V tem poglavju bomo opisali pripravo sistema za izdelavo prototipa in izdelavo prototipa od dodatne strojne opreme do uporabljenih knjižnic.

### 4.1 Priprava sistema

Prototip smo se odločili da ga bomo razvili v razvojnem okolju Eclipse. Eclipse podpira veliko število programskih jezikov, med katerimi tudi Javo. Okolje vsebuje vse potrebno za razvoj programske opreme. Vsebuje urejevalnik programske kode, ki nam omogoča preprosto pisanje kode, saj nas opozarja na napake, omogoča samodejno vključevanje dodatnih knjižnic, samodejno zaključuje programske ukaze ter nam predlaga potrebne popravke. Prav tako vsebuje prevajalnik programske kode ter najpomembneje razhroščevalnik, ki nam omogoča pregled programske kode med izvajanjem, vrstico po vrstico. Omogoča tudi enostavno uvažanje knjižnic [35].

Za razvijanje prototipa aplikacije je še potrebno vključiti ADT (Android Developer Tools) vtičnik, ki je namenjen za gradnjo android aplikacij in omogoča uporabo Android SDK (Android Software Development Kit). Android SDK je nabor razvojnih orodij za razvijanje aplikacij za platformo Android. ADT razširja zmožnosti Eclipse, tako da omogoča uporabnikom kreacijo novih android projektov, kreacijo uporabniških vmesnikov za aplikacije, dodajanje paketov, razhroščevanje svoje aplikacije z uporabo Android SDK orodja in možnost izvoza .apk datoteke [35].

Za potrebe našega prototipa smo vključili tudi NDK (Native Development Kit) orodja, ki nam omogočijo uporabiti tudi C / C++ kodo. Izključna uporaba NDK ni dobro za razvoj aplikacij, ker povečuje kompleksnost, zato večina aplikacij ne bo imela koristi od tega. Vendar pa je lahko koristno v primerih, ko se želi:

- izbira pridobiti dodatne zmogljivost iz naprave za intenzivne aplikacije, kot so igre ali fizikalne simulacije ali
- ponovna uporaba lastnih ali tujih C ali C++ knjižnic [36].

## 4.2 Izdelava prototipa

Po določitvi in uskladitvi zahtev našega sistema, smo začeli z izdelavo prototipa. Odločili smo se za razvoj in izdelavo aplikacije za mobilni telefon z operacijskim sistemom Android s pomočjo Eclipse. Aplikacija je sestavljena iz 2 delov:

- Prvi del je namenjen glavnemu meniju, kjer lahko nastavimo nekaj parametrov za uporabo aplikacije.
- Drugi del je glavni del aplikacije (simulacija ehlokacije)

Prvi del aplikacije je precej enostaven, saj imamo glavni meni, kjer lahko izbiramo nekaj parametrov za uporabo aplikacije med katerimi imamo način predvajanja (mono/stereo), ton predvajanja in še nekaj manjših nastavitev. Spodaj pa je še gumb "Start" za začetek simulacije po izbiri parametrov.

Pri drugem delu aplikacije se izvaja simulacija ehlokacije. Pri tem delu je bila ključno sprejemanje podatkov o razdalji oz. globinske slike prostora, zato smo za delo sistema potrebovali še dodatno napravo z globinsko kamero, saj s mobilnim telefonom ni mogoče zbirati le-teh. Pri izbiranju senzorja, ki bi lahko ustrezal potrebam in izgradnji našega sistema smo predelali nekaj možnosti in na koncu odločili za Structure IO senzor, ki ga je izdelalo podjetje Occipital. Razlogi za izbiro tega senzorja so naslednji:

- ustreza potrebam našega sistema,
- število izdelanih android aplikacij je zelo nizko,
- možnost izposoje.

Čeprav je po specifikaciji senzorja maksimalna predlagana razdalja 3,5m smo pri izdelavi prototipa ugotovili, da lahko senzor pridobi globinske vrednosti tudi do 5m oddaljenosti od predmeta. Kot drugi globinski senzorji, ki uporabljajo infrardečo svetlobo, Structure senzor ni primeren za delo na prostem ob močni sončni svetlobi, ker količina infrardeče svetlobe v okolju ovira njegovo delovanje. Uporaba senzorja z Android napravo je le možna tako da jih povežemo z "haker" in USB OTG (USB On The Go) kabloma. USB "haker kabel" je veliko več kot samo USB kabel, saj odklene številne zmogljivosti, ki so že vgrajene v Strukturo senzorju. Haker kabel bo omogoča pretok 3D podatkov s senzorja na združljivo USB napravo, in sicer mobilno napravo Android ali drugo napravo, ki uporablja operacijski sistem Mac OS X, Windows ali Linux. Medtem ko USB OTG omogoča komunikacijo med mobilnimi napravami. Tradicionalno mobilne naprave lahko povežete samo z Mac / PC preko USB, vendar USB OTG omogoča, da naprave za neposredno povezavo med seboj. USB OTG definira

dve vlogi za naprave: A-napravo in B-napravo, ki določajo gostitelja in porabnika. A-naprava je ponudnik električne energije, in B-naprava je potrošnik. V konfiguraciji je privzeta povezava, kjer je A-naprava šef B-naprave in jo lahko uporablja kot dodatna strojna oprema, kot so pomnilniki, tipkovnice itd [34, 37].

Naslednji korak po uspešni vzpostavitvi povezave je bil najpomembnejši, saj simulacija nebi delovala. Prvi izziv pri tem je bil sprejemanje podatkov s senzorja, saj direktna komunikacija samo z uporabo Javanskega jezika ni bila mogoča, zato smo uporabili OpenNI 2 gonilnik, ki smo jo prenesli s predlagane spletne strani (<http://structure.io/openni>) za uporabo senzorja Android napravami. OpenNI (Open Natural Interaction) omogoča delo z zajemanjem globine telesa in ročno sledenje, pa tudi druge oblike "naravne interakcije" vključno s prepoznavanjem glasovnih ukazov. OpenNI je napisan v C / C ++, tako da se med drugim lahko uporablja v različnih platformah. Medtem ko je OpenNI uradno podprta v novejših različicah operacijskega sistema Windows in Ubuntu je njegova uporaba v drugih distribucij Linux in Mac OS X dokumentirana za delo v spletnih forumih. PrimeSense je zaustavil prvotni OpenNI projekt, ko je Apple potrdil nakup PrimeSense za 360 milijonov dolarjev. Od takrat Occipital in drugi nekdanji partnerji PrimeSense še vzdržujejo različico OpenNI 2, ki je aktivna kot odprtokodna programska oprema, saj je potrebna za uporabo njihovih "Structure" izdelkov. OpenNI 2 vsebuje kar nekaj razredov, ampak le VideoStream razred je pomemben za pridobivanje toka podatkov v OpenNI. To zagotavlja možnost, da ročno branje podatkov v zanki. V našem primeru je še zelo pomemben VideoFrameRef, ki lahko enkapsulira le okvir iz toka podatkov na enkrat in tako da jih lahko sproti obdelamo [34].

Drugi izziv je bil obdelava sprejetih podatkov in oddajanje različnih frekvenc tona glede na te. Iz sprejetih okvirjev smo najprej prebrali vrednosti izbranega pixla in še nekaj pixlov na vsaki strani, tako da dobimo kvadrat. Stranice kvadrata so enake nastavljeni vrednosti v prvem delu. Podatek o globini smo prebrali s spodnjo vrstico kode:

```
depth = frame.getData().getShort(int pixel);
```

Iz prebranih globin se izračuna povprečje in iz tega sledi nastavitev frekvence in predvajanje zvoka. Za predvajanje zvokov smo preizkusili knjižnico ToneGenerator, SoundPool in razred GenerateSound, ki smo ga našli na internetu. ToneGenerator vsebuje metode za igranje DTMF (Dual Tone Multi Frequency), nadzornih in lastniških tonov na mobilnikih. Knjižnice ne omogoča spremembo frekvence tonov. GenerateSound in SoundPool pa to omogočajo, čeprav na različen način, zato je naša izbira padla na enega od teh. Izbrali smo knjižnico SoundPool, saj nam omogoča dodajanje, predvajanje in spreminjanje frekvence .mp3 datoteke.

SoundPool uporablja storitve MediaPlayer za dekodiranje zvoka v surovem 16-bitni

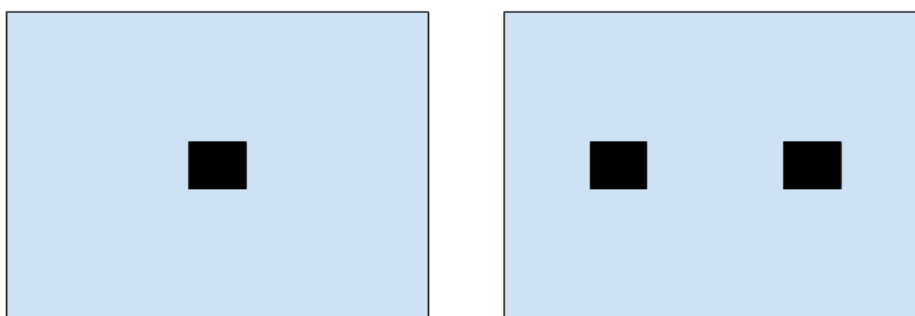


PCM mono ali stereo toku. To omogoča, da aplikacija pošilja stisnjene tokove, ne da bi trpeli obremenitve CPU in dekompresijske latence med predvajanjem. Poleg nizke latence predvajanja lahko SoundPool upravlja tudi številne avdio tokove, ki se izvajajo na enkrat. Ko je SoundPool objekt zgrajen, parameter `maxStreams` določa največje število tokov, ki jih je mogoče predvajati v času od tega enotnega SoundPool. Če je največje število tokov preseženo, bo SoundPool samodejno ustavil tokove najprej glede na prioriteto in nato glede na starost tokov z določeno prioriteto [38]. Konstruktor razreda Soundpool:

*SoundPool(int maxStreams, int streamType, int srcQuality)*

Po izbiri SoundPool-a smo potrbovali zvokove, zato smo izbrali kratke beep-e, ki smo jih našli na različnih spletnih straneh.

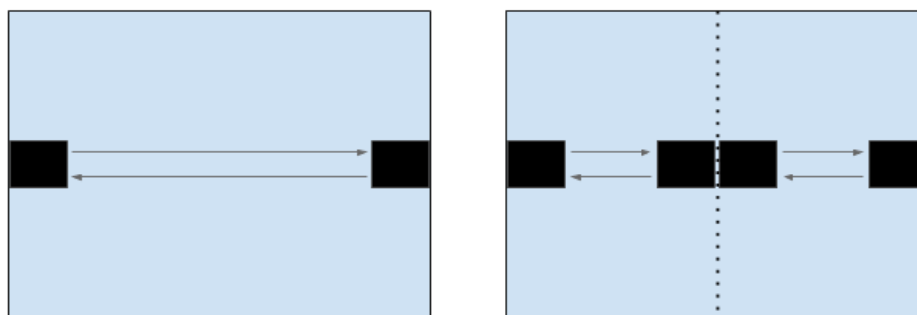
Kot smo že na začetku poglavja omenili aplikacija lahko deluje na 2 načina, zato se obdelava in predvajanje zvoka malo razlikuje za vsak način. Pri mono potrebujemo le en vzorec iz prebranega okvirja in na podlagi tega obdelamo in predvajamo pripadajočo frekvenco tona. Ton z isto frekvenco se predvaja na obe ušesi. Pri stereo pa potrebujemo 2 vzorca iz prebranega okvirja, saj vsako uho potrebuje svojega. Obdelavo vzorca in predvajanje smo nadgradili, tako da smo lahko omogočili, da ton, ki se predvaja ima lahko isto ali različno frekvenco na pripadajočem ušesu. Slika 5 prikazuje katere podatke obdelujemo pri mono in katere pri stereo načinu.



Slika 5: Primerjava med mono in stereo. Črni kvadrati prikazujejo kje v sprejetem okvirju želimo prebrati vrednosti za mono(levo) in stereo (desno).

Pri izdelavi prototipa smo poskušali dodati še funkcijo `scan`, ki nam je umogočala skeniranje prostora brez da bi se pri tem premikali. `Scan` funkcijo smo testirali pri obeh načinih. Ko je funkcija `scan` odključana, se je mono vzorec pri vsakem zajetem okvirju premikal levo oz. desno glede na položaj v prejšnjem okvirju. Vzorec se je premikal samo po sredini okvirja in ko je prišel na levi/desni konec je aplikacija oddal zvok na

levo/desno uho za prepoznavanje približne lokacije vzorca. Ob zagonu je vzorec začel na levi strani in ob branju vsakega okvirja se premaknil za določeno število pixlov v desno dokler ni prišel na desno stran, kjer je zamenjal usmerjenost in se vrnil na levo, itd. Seveda kot prej smo pri stereo potrebovali dva vzorca. Delovanje stereo s scan funkcijo je podobno mono s scan funkcijo, samo da so vzorci premikali le do in od polovice. To pomeni, da je ob zagonu levi vzorec začel na levi in desni na polovici okvirja. Vzorca sta se premikala proti desni dokler ni levi prišel do polovice in desni do desne strani okvirja, kjer sta zamenjala usmerjenost in se vrnila na levo proti začetnemu položaju, itd. Slika 6 prikazuje razliko med mono s scan funkcijo in stereo s scan funkcijo.



Slika 6: Primerjava med mono in stereo s funkcijo scan. Črni kvadrati prikazujejo kje v sprejetem okvirju želimo prebrati vrednosti za mono(levo) in stereo (desno). Puščice pa prikazujejo območje premikanja vzorcev v okvirju.

Dodajanje scan funkcije ni bilo uspešno, saj je bilo prepoznavanje lokacije skeniranega vzorca preveč težko. Kljub temu, da je aplikacija oddal zvok od skrajni levi/desni točki okvirja, se uporabnik nebi znašel, ko bi aplikacija zajemala srednji vzorec okvirja, saj uporabnik pozna samo dve točni lokaciji vzorca, medtem ko druge lahko samo ugiba. Funkcijo scan smo odstranili iz prototipa.

## 5 Evaluacija prototipa

Vsakemu izmed uporabnikov najprej opišemo aplikacijo in kako se frekvenca zvoka spreminja glede na razdaljo od objekta. Po opisu ima uporabnik možnost nastaviti nekaj parametrov za uporabo aplikacije.

Za evaluacijo prototipa smo testirali na novo razvito aplikacijo na različnih uporabnikih. Poleg tega smo uporabil študijo z vprašalnikom.

### 5.1 Opis prototipa

Prva izbira je med mono ali stereo predvajanjem tona. Mono predvajanje temelji na predvajanje istega tona in frekvence za obe ušesi glede na razdaljo od središčne točke vzorca. medtem ko stereo temelji na predvajanju istega tona, kjer je možna razlika v frekvencah za vsako uho. To pomeni, da sprejemamo razdaljo dveh točk v vzorcu in da sta frekvenci za vsako uho odvisne od svoje točke. Sledi izbira tona predvajanja, kjer si uporabnik lahko izbere ton, ki mu je najbolj všeč oziroma najbolj primeren za testiranje. Naslednje so nastavitve velikost sprejetega okvirja v vzorcu in števila ponovitev tona v sekundi in možnost nastavitve največje razdalje do objekta, kjer je še možno slišati tone. Zadnja možna nastavitev je nastavitev razdalje med stereo vzorci, to pomeni koliko pixlov je med središčnimi točkami od katerih zbiramo podatke o globini oz razdalji od objekta.

### 5.2 Pilotna študija 1: Prepoznavanje lika

Študija temelji na prepoznavanju lika pred seboj brez uporabe vida. Uporabniku smo najprej razložili nalogo, kako deluje aplikacija in senzor. Nato po izbiri mono/stereo načina in parametrov smo uporabnika posedli in mu zavezali oči. Pred njim smo postavili lik, ki jih je moral ugotoviti na razdalji 0,5m. Uporabnik je imel 2-3 minute za ugotoviti lik, ki stoji pred njim. Ko je uporabnik ugotovil lik pred njim ali pa po izteku predvidnega časa ugotavljanja, smo lik odstranili in uporabniku odvezali oči tako da je lahko narisal kar je uspel prepoznati s pomočjo senzorja. Ko je uporabnik narisal lik in ocenil koliko je siguren v to kar je narisal smo mu nazaj zavezali oči. Postopek smo ponovili za vse like. Študija je razdeljena na 2 dela, in sicer lažji in

težji. Pri vsakem delu študije se enkrat uporabi mono način in enkrat stereo način. Predvidena lika za lažji del so kvadrat in pravokotnik kot prikazano na sliki 7.



Slika 7: Liki za prepoznavanje pri lažjem delu pilotne študije 1

Pri težjem delu ravno tako uporabimo enkrat mono in enkrat stereo način. Predvidena lika za težji del sta prikazana na sliki 8.



Slika 8: Liki za prepoznavanje pri težjem delu pilotne študije 1

### 5.3 Pilotna študija 2: Prepoznavanje likov v dveh ravninah

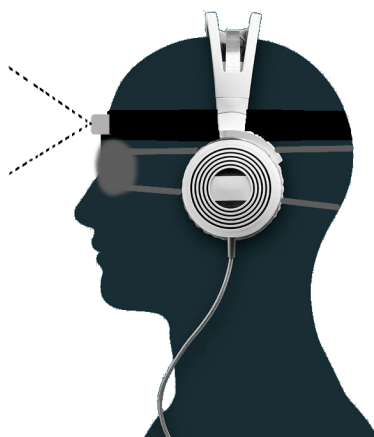
Študija temelji na prepoznavanju likov pred seboj brez uporabe vida. Uporabniku smo najprej razložili nalogo, kako deluje aplikacija in senzor. Nato po izbiri mono/stereo načina in parametrov uporabnika smo posedli in zavezali oči. Pred njim postavili like, ki jih je moral ugotoviti na razdalji 0,5m in 1m. Uporabnik je imel 5-6 minute za ugotoviti like, ki stojijo pred njim. Ko je uporabnik ugotovil like pred njim ali pa ko je iztekel predviden čas ugotavljanja, smo like odstranili in uporabniku odvezali oči tako da je lahko narisal kar je uspel prepoznati s pomočjo sensorja. Ko je uporabnik narisal like in ocenil koliko je siguren v to kar je narisal smo mu nazaj zavezali oči. Postopek smo ponovili še enkrat z drugim načinom za drugo kombinacijo likov. Predvideni kombinaciji likov sta prikazani na sliki 9.



Slika 9: Liki za prepoznavanje pri pilotni študiji 2

## 5.4 Študija 3: Navigacija v prostoru

Študija temelji na navigaciji oz. premikanju po prostoru in iskanju izhoda iz le-tega. Za varnost uporabnikov smo iz prostora odstranili vse nizke objekte kot so mize in stoli, saj lahko uporabniki pri izvajanju študije trčijo v njih. Uporabniku smo najprej razložili nalogo, kako deluje aplikacija in senzor ter ga opremili z vsem potrebnim. Oprema vključuje senzor, mobilni telefon, slušalke in nočno masko (Slika 10).



Slika 10: Uporabnik z vso opremo za izvajanje študije

Po izbiri mono/stereo načina in parametrov smo uporabnika posedli stol s kolesčki in ga zapeljali po labirintu do prostora, ki smo ga uporabljali za študijo, tako da uporabnik ne ve kako je prišel v prostor in kateri je ta prostor v katerem išče izhod. Uporabniku smo omejili časa iskanja izhoda na 5 minut. Uporabili smo tudi Google tango za zbiranje podatkov o lokaciji za kasnejše preverjanje opravljene poti. Naloga se je končala ko uporabnik najde izhod. Med izvajanjem naloge smo pri vsakem uporabniku merili čas, število trkov in število obratov glave. Po koncu uporabnika smo posedli nazaj na stol in nazaj po labirintu zapeljali na začetno mesto. Vsak uporabnik je takoj po nalogi dobil vprašalnik.

Vprašalnik je bil strukturiran tako:

- 1. del
  - nariši pot
  - prirejen SUS vprašalnik
  - nekaj vprašanj o doživetju eholokacije v nepoznanem prostoru
  - tloris prostora
- 2. del
  - nariši pot
  - prirejen SUS vprašalnik
  - nekaj vprašanj o doživetju eholokacije v poznanem prostoru
- splošni del
  - nekaj splošnih vprašanj o doživetju eholokacije

Vsak uporabnik je moral najprej narisati pot. Iz tega smo želeli izvedeti kakšno kontrolo ima uporabnik nad narejenimi premiki. Naslednji je SUS (System Usability Scale) vprašalnik. SUS omogoča zanesljivo orodje za merjenje uporabnosti. Sestavljen je iz vprašalnika s 10 trditvami in petimi možnostmi za odzivna trditvev, od zelo strinjam, do sploh ne strinjam. S pomočjo SUS vprašalnika se lahko oceni široko paleto izdelkov in storitev, vključno s strojno opremo, programsko opremo, mobilne naprave, spletnih strani in aplikacij. Poleg tega so meritve uporabnosti imajo več različnih vidikov:

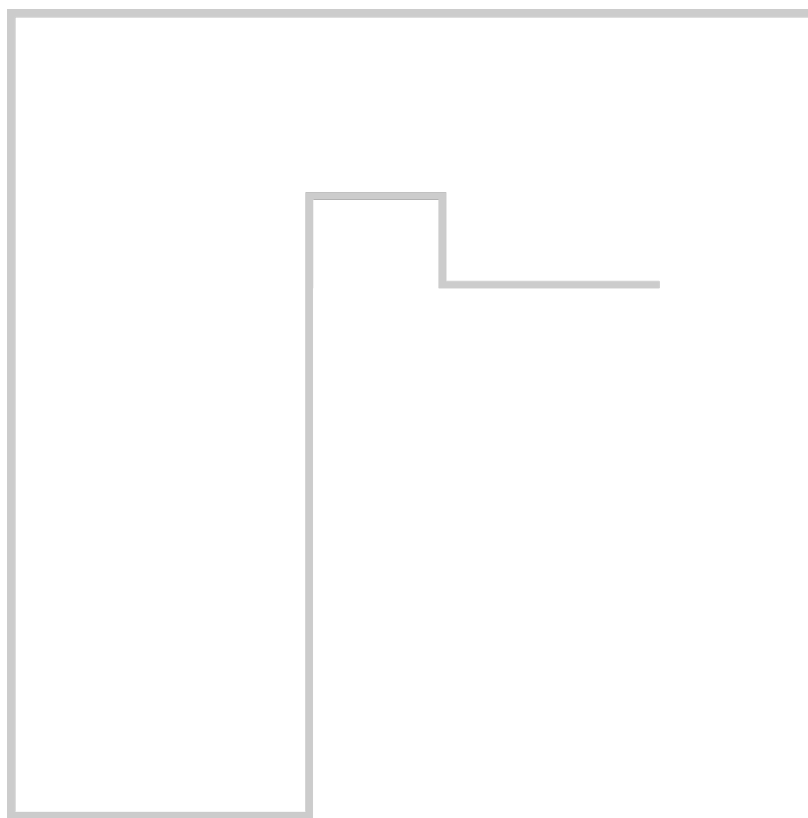
- Učinkovitost (uspešno doseganje svojih ciljev),
- izkoristek (koliko truda in sredstev je porabila za doseganje teh ciljev),
- zadovoljstvo (izkušnja je bila zadovoljiva) [39].

V našem primeru smo uporabili prirejen SUS vprašalnik, ker nekatera vprašanja niso bila primerna in iz tega izračunali primerno oceno (score). Rezultati uporabnikov za vsako vprašanje se seštejejo in se izračuna odstotek. V svojem SUS vprašalniku sem uporabili naslednja vprašanja:

- Menim, da je delo z eholokacijo zahtevno.
- Uporaba eholokacije se mi je zdela preprosta.
- Menim, da bi za uporabi eholokacije potreboval pomoč.

- Menim, da bi se večina uporabnikov hitro naučila uporabe ehokolacije.
- Uporaba ehokolacije se mi je zdela zelo težavna.
- Menim, da upravljam z ehokolacije samozavestno.
- Pred uporabo ehokolacije sem se moral/a veliko naučit.

Pri naslednjih vprašanjih je imel uporabnik možnost opisati kako je doživel ehokolacijo, in sicer kontrolo v prostoru, kaj ga je motilo, ipd. Pred koncem prvega dela vprašalnika je uporabnik imel možnost ogleda ter si zapomniti tloris prostora v katerem je bil (Slika 11). Postopek smo ponovili še enkrat, ampak v tem primeru je uporabnik poznal prostor. Po koncu je uporabnik spet dobil 2 del vprašalnika, ki je podoben prvemu samo brez tlorisa po tem še nekaj splošnih vprašanj on prototipu.



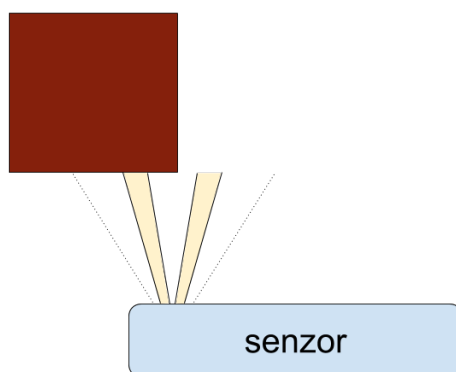
Slika 11: Tloris prostor v katerem uporabnik išče izhod

## 6 Rezultati in razprava

Poglavje predstavlja pregled uspešnosti raziskave, njihove prednosti in slabosti ter nadaljno delo.

### 6.1 Rezultati pilotnih študij

Kot je zgoraj napisano uporabniki niso testirali prvih dveh študij (pilotna študija 1 in pilotna študija 2), ki temeljijo na zaznavanju likov in zaznavanje likov v različnih ravninah. Že pri testiranju pilotne študije 1 smo prišli do nekaj ugotovitev. Pri mono, kjer smo potrebovali več koncentracije, saj smo mogli narediti več manjših premikov z in na lik tako, da smo lahko potovali po robovih lika. Medtem ko pri stereo ni bilo potrebno narediti teh premikov, saj smo lahko z dvema različnimi signali potovali po robovih. Eno uho je sprejemalo visoko frekvenčni zvok, drugo pa nič kot je prikazano sliki 12.



Slika 12: S stereo načinom lahko potujemo po robovih lika

Iz tega smo ugotovili, da je s stereo zaznavanje lika lažje od mono a kljub temu ostane precej zahtevno, saj si mora uporabnik zapolniti vse prejšnje premike senzorja in interpretirati frekvenco zvoka, ki jo je uporabnik zaslišal pri vsakem od teh. Po teh ugotovitvah smo zavrgli prvo pilotno študijo in tudi drugo pilotno študijo, saj sta si študije enake samo pri 2. študiji povečamo kompleksnost prepoznavanja likov. Zato smo se po tem osredotočili na 3. študijo.



## 6.2 Rezultati študije 3

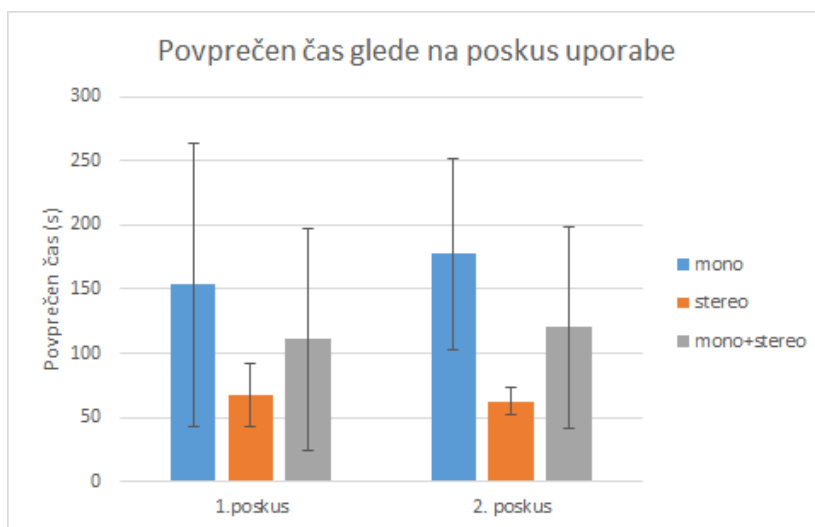
3. študija temelji na iskanju izhoda iz prostora. Prostor je prikaza na sliki P. Pri izvajanju študije smo testirali 8 uporabnikov. Polovica jih je poskusila mono način in polovica stereo način. Študija je potekala tako, da je vsak lihi uporabnik testiral mono način in vsak sodi uporabnik stereo način. Kot smo že prej omenili vsak uporabnik je med izvajanjem študije dvakrat iskal izhod iz prostora. Prvič je uporabnik iskal izhod v nepoznanem prostoru medtem ko za drugi poskus je poznal tloris prostora in kje se nahaja izhod iz tega, ampak pri obeh poskusih ni vedel kje bo začel.

Cilj študije je pridobiti podatke o načinih opisovanja okolice bodisi mono bodisi stereo in izbirati boljšega med njima, zato smo pri vsakemu uporabniku zbirali podatke o času, število obratov in trkov med izvajanjem študije in še nekaj podatkov z vprašalnikom. Postavili smo tudi hipotezo glede delovanja sistema, pri kateri smo predvidevali, da je stereo boljši način zaznavanja okolice, četudi je pri prejemanju dveh zvočnih signalov potrebna večja koncentracija.

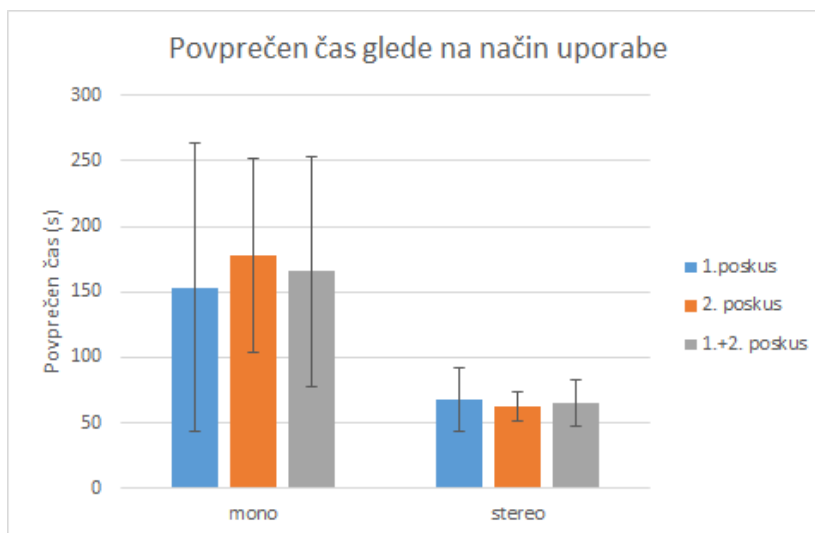
Na začetku analize podatkov smo primerjali čase, št. obratov in trkov vseh uporabnikov. Začeli smo s časom, kjer smo izračunali povprečen čas izvajanja mono in stereo načina pri prvem poskusu in pri tem ugotovili, da so uporabniki pri stereo načinu uporabili povprečno manj časa pri iskanju izhoda iz prostora. Povprečni časi so bili 153,5 sekund pri mono in 68 sekund pri stereo. Nato smo izračunali še povprečni čas za naslednji poskus, kjer je uporabnik poznal tloris prostora, ampak tukaj se je kljub pričakovanju boljšega rezultata zgodilo nekaj nenavadnega. Povprečni časi pri drugem poskusu so bili naslednji: 177,75 sekund za mono način in 62,75 sekund za stereo način. Kot je razvidno iz zgornjih števil se je povprečni čas iskanja izhoda pri mono načinu povečal za kar 24,25 sekund, medtem ko pri stereo načinu se je povprečen čas izboljšal za kar 5,25 sekund. Kot pričakovano se je povprečen čas pri uporabi stereo načina poboljšal, ampak pri mono načinu se je povprečen čas nepričakovano poslabšal. Ta rezultat je bil presenetljiv, saj bi povprečni uporabnik moral uporabiti manj časa pri iskanju izhoda iz poznane prostora. To pa se je zgodilo, ker so uporabniki razmišljali le na izboljšanje časa iz prvega poskusa in med izvajanjem čisto pozabili na tloris, ki so si ga lahko ogledali pred začetkom drugega poskusa.

Izračunali smo tudi standardni odklon in izvedli T-test nad podatki. Standardne odklone smo izračunali za vsak način dvakrat. Pri 1. poskusu mono načina je standardni odklon 110,29 sekund, medtem ko pri 2. poskusu nižja, in sicer 74,48 sekund. Razlog za tako visok standardni odklon pri 1. poskusu je vrednost, ki presega ostale vrednosti oz. osamelec, sicer bi bila vrednost nižja. Ker so vrednosti pri stereo načinu manjše, so tudi izračunani standardni odkloni manjši. Pri 1. poskusu stereo načinu je standardni odklon 24,51 sekund, medtem ko pri 2. poskusu je 11,18 sekund. Slike 13

in 14 prikazujejo graf povprečnega časa pri iskanju izhoda s standardnim odklonom.



Slika 13: Graf pikazuje povprečen čas glede na poskus uporabe



Slika 14: Graf pikazuje povprečen čas glede na način uporabe

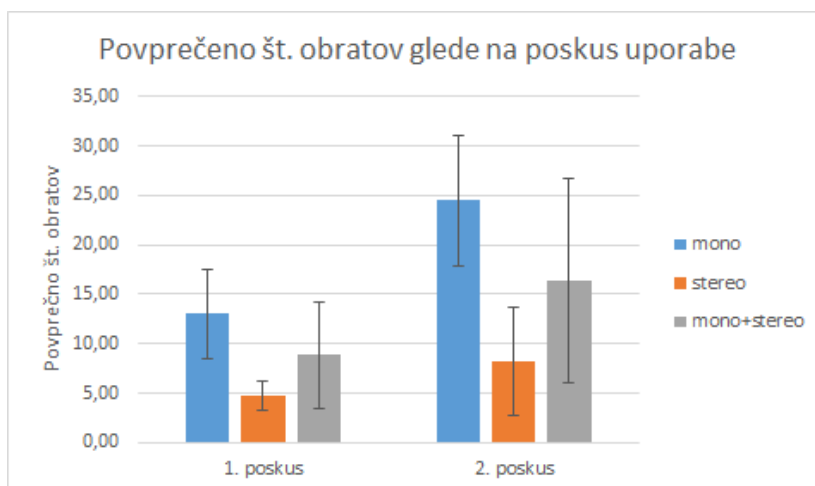
Iz grafov lahko opazimo, da je standardni odklon časa pri mono načinu precej večji kot pri stereo načinu in da so časi pri 2. poskusu večji kot pri 1. poskusu. T-test smo izvedli nad podatki, za pregled odvisnosti med 1. in 2. poskusom. Statistična analiza t-test odvisnih mono vzorcev je pokazala da povprečni vrednosti nista signifikantno različni ( $p = 0,76$ ; 95%;  $CI[-262, 250; 213, 749898]$ s) Statistična analiza t-test odvisnih

stereo vzorcev je pokazala da povprečni vrednosti nista signifikantno različni ( $p = 0,77$ ; 95%;  $CI[-46,441; 56,94118]_s$ ) Statistična analiza t-test odvisnih mono + stereo vzorcev je pokazala da povprečni vrednosti nista signifikantno različni ( $p = 0,7987405$ ; 95%;  $CI[-94,325; 75,325023]_s$ )

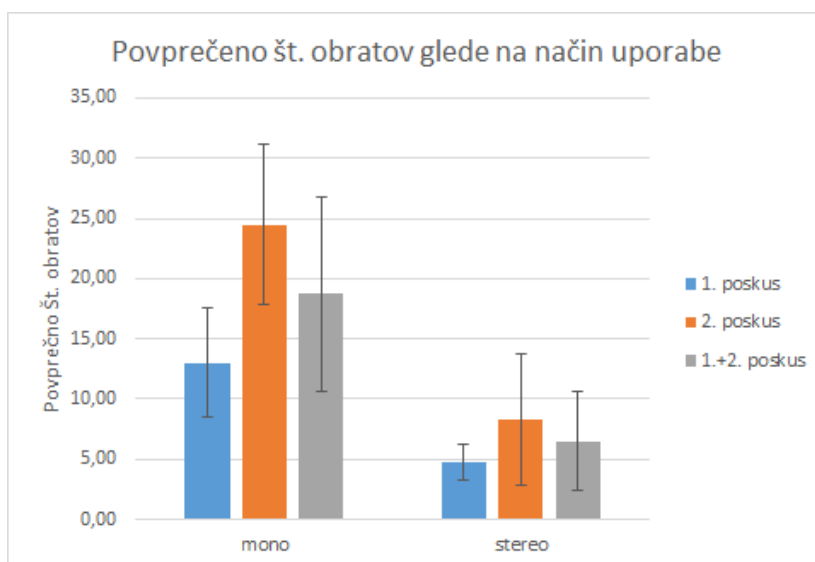
Naslednje podatke, ki smo analizirali so bili podatki o obratih. Kot obrat smo šteli le obrate s kotom med začetno točko pred obratom in končno točko po obratu, ki je večji od  $90^\circ$ , ker če ne bi bilo štetje manjših obratov preveč težko za seštet in nebi mogli izvesti analize nad temi podatki. Če se je uporabnik počasi obračal v eno smer in se pri tem ustavil in skoraj takoj spet začel premikati v isto smer smo to na koncu šteli kot en obrat ampak . Medtem ko če se je uporabnik obračal v levo in desno v kotu ki je manjši od  $90^\circ$  nismo šteli dodatnega obrata. Kot pri času smo najprej izračunali povprečno št. obratov za prvi poskus. Pri prvem poskusu je bilo povprečno št. obratov enako 13 pri mono načinu in 4,75 pri stereo načinu. Pridobljeni rezultati so bili pričakovani, saj stereo nam ustvari hodnik, ki je brez dodatnih ovir, seveda če so pred tem odstranjene majhne in ozke stvari. Medtem ko pri mono načinu je potrebno več obratov za detekcijo poti brez ovir. Ker je št. obratov odvisno od časa, se je pri mono načinu v drugem poskusu povprečno št. obratov povečalo na 24,50. Kljub temu da se je povprečni čas pri drugem poskusu stereo načina zboljšal, se je povprečno št. obratov povečalo za 3,50 na 8,25. Možen razlog za to je poskušanje izboljšanja časa iskanja izhoda, kot smo prej omenili.

Nato smo izračunali še standardni odklon in izvedli T-test nad podatki. Standardne odklone smo izračunali na enak način kot pri analizi časa. Pri 1. poskusu mono načina je standardni odklon 4,55 obratov, medtem ko pri 2. poskusu višja, in sicer 6,61 obratov. Tako kot prej so izračunani standardni odkloni manjši pri stereo načinu. Pri 1. poskusu stereo načinu je standardni odklon 1,5 obratov, medtem ko pri 2. poskusu je 5,44 obratov. Slike 15 in 16 prikazujejo grafe povprečnega števila obratov pri iskanju izhoda s standardnim odklonom.

Iz grafov lahko opazimo, da je št. obratov pri 2. poskusu večje kot pri 1. poskusu in da je št. obratov in posledično standardni odklon pri mono načinu večji kot pri stereo načinu. T-test smo izvedli nad podatki, za pregled odvisnosti med 1. in 2. poskusom. Statistična analiza t-test odvisnih mono vzorcev je pokazala da povprečni vrednosti sta signifikantno različni ( $p = 0,0032$ ; 95%;  $CI[-15,709; -7,2906]$  obratov) Statistična analiza t-test odvisnih stereo vzorcev je pokazala da povprečni vrednosti nista signifikantno različni ( $p = 0,2441$ ; 95%;  $CI[-11,560; 4,56037]$  obratov) Statistična analiza t-test odvisnih mono + stereo vzorcev je pokazala da povprečni vrednosti sta signifikantno različni ( $p = 0,00733$ ; 95%;  $CI[-12,2510; -2,7489309]$  obratov)



Slika 15: Graf prikazuje povprečno število obratov glede na poskus uporabe

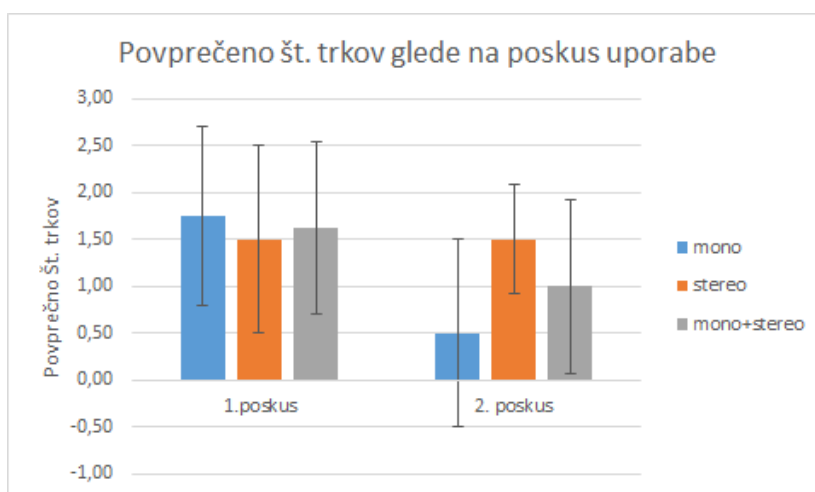


Slika 16: Graf prikazuje povprečno število obratov glede na način uporabe

Pred pregledom vprašalnika smo analizirali še podatke o trkih. Trke smo prištevali le takrat ko so uporabniki bili presenečeni nad storjenim trkom. Če je uporabnik le malo podrsal po zidu, ki ga je prej zaznal, se to ni prištelo kot trk. Tudi tukaj smo izračunali povprečno št. trkov pri obeh poskusih za oba načina. Pri prvem poskusu so rezultati skoraj isti, pri mono načinu je bilo povprečno št. enako 1,75 in 1,50 pri stereo načinu. Iz tega lahko sklepamo, da so uporabniki pri obeh načinih bili previdni, saj niso poznali prostora in so prvič uporabljali ta prototip. Rezultati drugega poskusa so malo več zanimivi, saj se je povprečno št. trkov znižalo na 0,50 pri mono načinu in povprečno št. trkov pri stereo načinu je ostalo enako prejšnjemu. Čeprav so rezultati stereo načina pri drugem poskusu neprečakovani, saj stereo bi moral omogočati veliko

lažje potovanje v prostoru s čim manj trki, lahko iz tega sklepamo, da se povprečni uporabnik mono načina več osredotoči na razlike v frekvenci kot uporabnik stereo načina.

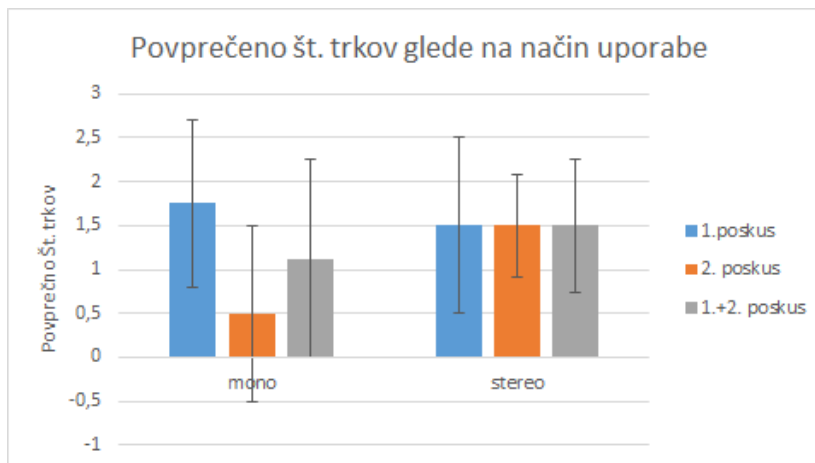
Kot pri ostalih analizah smo tudi tukaj izračunali standardni odklon in izvedli T-test nad podatki. Pri 1. poskusu mono načina je standardni odklon 0,96 trkov, medtem ko pri 2. poskusu višja, in sicer 1 trk. Tako kot pri mono smo tudi pri stereo načinu izračunali standardni odklon. Pri 1. poskusu stereo načina je standardni odklon 1 trk, medtem ko pri 2. poskusu je 0,58 trkov. Slike 17 in 18 prikazujejo grafe povprečnega števila trkov pri iskanju izhoda s standardnim odklonom.



Slika 17: Graf prikazuje povprečno število trkov glede na poskus uporabe

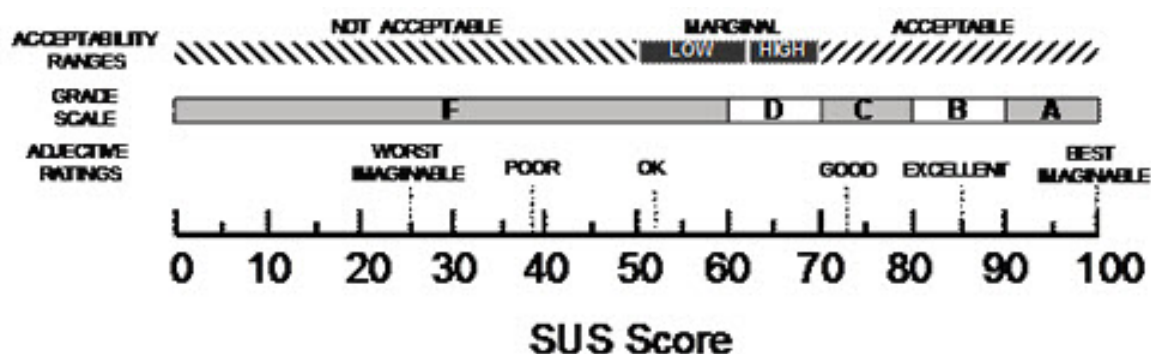
Iz grafov lahko opazimo, da je št. trkov pri 2. poskusu manjše kot pri 1. poskusu in kljub temu, da je št. trkov pri mono načinu manjše kot pri stereo načinu, je standardni odklon večji. T-test smo izvedli nad podatki, za pregled odvisnosti med 1. in 2. poskusom. Statistična analiza t-test odvisnih mono vzorcev je pokazala da povprečni vrednosti nista signifikantno različni ( $p = 0,1411$ ; 95%;  $CI[-0,752; 3,2519644]$  trkov) Statistična analiza t-test odvisnih stereo vzorcev je pokazala da povprečni vrednosti nista signifikantno različni ( $p = 1$ ; 95%;  $CI[-2,250; 2,250014]$  trkov) Statistična analiza t-test odvisnih mono + stereo vzorcev je pokazala da povprečni vrednosti nista signifikantno različni ( $p = 0,2495$ ; 95%;  $CI[-0,552; 1,802201]$  trkov)

Po analizi časa, št. obratov in trkov smo analizirali še prejete podatke preko vprašalnika. Kot smo že prej omenili vprašalnik je vseboval prirejen SUS vprašalnik. S pomočjo SUS vprašalnika smo lahko izvedli kaj uporabnik meni o prototipu in kako se je mnenje o prototipu spremenilo iz prvega do drugega poskusa pri vsakem



Slika 18: Graf pikazuje povprečno število trkov glede na način uporabe

načinu uporabe bodisi mono bodisi stereo. Najprej smo kot pri tradicionalnem SUS vprašalniku izračunal oceno posameznega vprašalnika. Najvišja ocena našega prirejenega SUS vprašalnika ni bila 100 (40 če ne zmnožimo z 2,5) kot pri tradicionalnem SUS vprašalniku, ampak le 28, saj smo odstranili 3 vprašanja in nismo zmnožili z 2,5. Nato smo izračunali povprečje vseh ocen za posamezni način pri danem poskusu in iz tega še vrednost v %, za lažje primerjanje vrednosti s tradicionalnimi SUS ocenami. To pomeni, da smo izračunali vrednosti za mono način pri 1. poskusu, mono način pri 2. poskusu in prav tako tudi pri stereo načinu za 1. ter 2. poskus. Pripadajoče vrednosti so: 66,96%, 60,71%, 66,96% in 66,07%. Seveda te vrednosti same po sebi nam ne povedo nič, zato smo si pomagali s sliko 19.



Slika 19: Skala SUS vrednosti, iz katere lahko razberemo pomen SUS ocene. Vir: [43]

S pomočjo slike 19 lahko razberemo, da po prejetih podatkih iz SUS vprašalnika je prototip še kar vreden in da je stereo način malo boljši iz vidika uporabe pri iskanju izhoda iz prostora.

Naslednji korak pri analizi podatkov je bila analiza ocen o težavnosti iskanja izhoda, ocen kontrole v njem in seveda če je pri tem tloris pomagal pri 2. poskusu iskanja izhoda. Iz podatkov o oceni težavnosti iskanja smo ugotovili, da se je povprečna težavnost kljub poznanemu prostoru povečala pri mono načinu medtem ko pa pri stereo načinu se je ta vrednost malo znižala. Ugotovili smo, da je povprečna težavno pri stereo načinu bodisi pri 1. poskusu bodisi 2. poskusu nižja od pripadajočih povprečnih vrednosti pri mono načinu. Povprečna kontrola se je pri obeh načinih povečala. Kljub temu da se je povprečna težavnost pri mono načinu povečala, se je povprečna kontrola malo izboljšala iz 1. poskusa na 2. poskus. Po analizi podatkov o težavnosti in kontroli lahko sklepamo, da je tloris pri drugem poskusu vsaj malo pomagal pri iskanju, čeprav se je težavnost iskanja povečala.

Na koncu smo ugotovili, da je stereo način boljši, saj so pri večini analiziranih podatkov rezultati bili boljši od mono, tako kot pri 1. poskusu kot pri 2. poskusu. Edini podatek, ki se ni izboljšal pri 2. poskusu stereo načina je povprečno št. trkov, ki je ostalo enako kot pri 1. poskusu. Možna razlaga za to je, da je rezultat odvisen od uporabnika, njegovega načina razmišljanja in prilagoditev okoliščinam. V našem primeru se lahko zadovoljimo z rezultati, ki smo jih uspeli obdelati in lahko potrdimo hipotezo o boljšem delovanju, ki smo jo postavili na začetku poglavja. Seveda za bolj natančno študijo bi bilo potrebno več uporabnikov in posledično podatkov, da bi lahko trdili prednost stereo načina nad mono načinom. Tako bi bilo v nadaljnjih raziskavah priporočeno vsakega uporabnika testirati na obeh načinih uporabe, da bi pridobili podatke o vsakem za mono in stereo, s katerimi bi lažje potrdili ali zavrgli prejšnjo hipotezo.

### 6.3 Nadaljnje delo

Predlagan prototip, je le rešitev za našo raziskavo in trenutno ni namenjen končnemu uporabniku, saj ni dokončan. Možnih izboljšav sistema je še veliko, ampak najpomembnejša je predvajanje zvok. Ker je to glavni del delovanja sistema je potrebno, da je predvajanje zvok čist brez šumov. Pri tem je pomemben tudi ton, ki se predvaja, saj ne sme biti preveč moteč in mora omogočati lažjo interpretacijo uporabniku. Ena od možnih nadgradenj sistema bi bila, da uporabniku predstavimo celotno sliko, ki jo je posnel senzor, samo z zvokom, tako da lahko uporabnik zazna tudi nižje ali ožje predmete. Zanimivo bi bilo to početi le z eno napravo, ki ima vgrajeno RGB-D kamero in slušalkami, tako da ni potrebna uporaba dodatnega senzorja ter se zmanjša število kablov. Za nadaljnje delo je na voljo veliko možnosti za razširitev in tudi spreminjanje sistema.

## 7 Zaključek

V predstavljeni zaključni nalogi smo spoznali pojem ehlokacije, kdo jo uporablja in kje jo lahko dobimo in kako lahko to simuliramo.

Iz pregleda dosedanjih raziskav smo videli, kakšne metode za zaznavanje globine prostora obstajajo ter katere so njihove prednosti in pomanjkljivosti. Med načini zaznavanja smo se ugotovili, da delujoči sistemi, ki so podobni zamišljenemu sistemu, že obstajajo, ampak nismo našli nobene raziskave o različnih načinih (mono, stereo) zaznavanja okoli.

Opisali smo celotno izdelavo prototipa aplikacije za mobilne telefone, ki simulira ehlokacijo z uporabo senzorja z globinsko kamero zaznava globino za vsak pixel prejete slike in nato aplikacija obdela podatke v zvočne signale v realnem času. Aplikacija deluje na 2 načina. Mono način predvajanja temelji na predvajanje istega tona in frekvence za obe ušesi glede na razdaljo od središčne točke vzorca, medtem ko stereo temelji na predvajanju istega tona, kjer je možna razlika v frekvencah za vsako uho. To pomeni, da sprejemamo razdaljo dveh točk v vzorcu in da sta frekvenci za vsako uho odvisne od svoje točke.

V sklopu zaključne naloge smo izvedli tudi študijo s testiranjem prej omenjenega prototipa, saj smo želeli ugotoviti, če je možno potovanje le z zvokom in kateri način je boljši oz. lažji za potovanje v prostoru. Ugotovitve opravljene študije so pokazale, da so se pričakovanja uresničela, četudi rezultati niso optimalni. Kljub temu v našem primeru smo z obdelanimi rezultati zadovoljni in lahko trdimo, da stereo omogoča uporabnikom bolj učinkovito potovanje v prostoru, čeprav bi bilo za bolj natančno študijo potrebno več uporabnikov in posledično podatkov, za dokončno potrditev prednosti stereo načina nad mono načinom.



## 8 Literatura in viri

- [1] *Animal echolocation*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Animal\\_echolocation](https://en.wikipedia.org/wiki/Animal_echolocation). (Datum ogleda: 4. 1. 2016.) (*Citirano na strani 1.*)
- [2] *Echolocation: Bats and whales behave in surprisingly similar ways*, University of Southern Denmark.  
<https://www.sciencedaily.com/releases/2013/10/131029101617.htm>. (Datum ogleda: 4. 1. 2016.) (*Citirano na straneh 1 in 3.*)
- [3] G. JONES, *Echolocation*,  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096098220500686X>.  
(Datum ogleda: 10. 3. 2016.) (*Citirano na straneh 1 in 3.*)
- [4] *Eholokacija*,  
<https://piskotarna.wordpress.com/2013/06/18/eholokacija/>. (Datum ogleda: 5. 6. 2016.) (*Citirano na strani 1.*)
- [5] N.A. KONING, *Human echolocation: How the blind and visually impaired can see with their ears*, 2014. (*Citirano na strani 3.*)
- [6] E. PENNISI, *Hear That? Bats and Whales Share Sonar Protein*,  
<http://www.sciencemag.org/news/2010/01/hear-bats-and-whales-share-sonar-protein>  
(Datum ogleda: 5. 6. 2016.) (*Citirano na strani 3.*)
- [7] J.A. SIMMONS, P.A. SAILLANT, J. M. WOTTON, T. HARESIGN, M.J. FERRAGAMO in C.F. MOSS, . *Composition of biosonar images for target recognition by echolocating bats* Neural Networks (1239–1261) 1995. (*Citirano na strani 3.*)
- [8] E. RICHMOND, *Echolocation*,  
<http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-3400500114.html>. (Datum ogleda: 20. 6. 2016.) (*Citirano na strani 3.*)
- [9] M.B. FENTON in G.P. BELL, . *Recognition of Species of Insectivorous Bats by Their Echolocation Calls* Journal of Mammalogy (233–243) 1981. (*Citirano na strani 3.*)

- [10] R. BUSNEL, *Animal sonar systems*, 2013. (Citirano na strani 4.)
- [11] *How Do Dolphins Use Echolocation?*, Wonderopolis.  
<http://wonderopolis.org/wonder/how-do-dolphins-use-echolocation>.  
(Datum ogleda: 9. 5. 2016.) (Citirano na strani 4.)
- [12] L. THALER, . *Echolocation may have real-life advantages for blind people: an analysis of survey data* *Frontiers in physiology* (volume 4) 2013. (Citirano na strani 4.)
- [13] *Echolocation*, Association for Psychological Science.  
<https://www.sciencedaily.com/releases/2014/12/141223132542.htm>. (Datum ogleda: 5. 5. 2016.) (Citirano na strani 4.)
- [14] *Humans With Amazing Senses*,  
<http://abcnews.go.com/Primetime/story?id=2283048&page=1>. (Datum ogleda: 20. 6. 2016.) (Citirano na strani 5.)
- [15] *Retinoblastoma*,  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Retinoblastoma>. (Datum ogleda: 1. 8. 2016.)  
(Citirano na strani 5.)
- [16] *The Boy Who Sees with Sound*,  
<http://www.people.com/people/article/0,26334,1212568,00.html>. (Datum ogleda: 1. 8. 2016.) (Citirano na strani 5.)
- [17] D. SCHORN, *How A Blind Teen Sees With Sound*,  
<http://www.cbsnews.com/news/how-a-blind-teen-sees-with-sound/>. (Datum ogleda: 1. 8. 2016.) (Citirano na strani 5.)
- [18] W. KREMER, *Human echolocation: Using tongue-clicks to navigate the world*,  
<http://www.cbsnews.com/news/how-a-blind-teen-sees-with-sound/>. (Datum ogleda: 1. 8. 2016.) (Citirano na strani 5.)
- [19] J. LANGILLE, *Echolocation Helps Blind People Navigate Everyday Life*,  
<http://janelangille.com/echolocation-helps-blind-people-navigate-everyday-life/>  
(Datum ogleda: 1. 8. 2016.) (Citirano na strani 5.)
- [20] M. ROUSE, *DEFINITION: data collection*,  
<http://searchcio.techtarget.com/definition/data-collection>. (Datum ogleda: 15. 7. 2016.) (Citirano na strani 6.)

- [21] *Introduction to SONAR*,  
[http://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/uw\\_acous/uw\\_acous.htm](http://fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/uw_acous/uw_acous.htm).  
(Datum ogleda: 4. 5. 2016.) (*Citirano na strani 6.*)
- [22] A.A. WINDER, . *Sonar System Technology* IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics (291–332) 1975. (*Citirano na strani 6.*)
- [23] *What is sonar?*,  
<http://oceanservice.noaa.gov/facts/sonar.html>. (Datum ogleda: 4. 5. 2016.) (*Citirano na strani 6.*)
- [24] *Echo-sounders*,  
<http://noc.ac.uk/research-at-sea/ships/onboard-equipment/echo-sounders>.  
(Datum ogleda: 6. 5. 2016.) (*Citirano na strani 7.*)
- [25] Y. SMITH, *What is an Ultrasound?*,  
<http://www.news-medical.net/health/What-is-an-Ultrasound.aspx>. (Datum ogleda: 10. 5. 2016.) (*Citirano na strani 7.*)
- [26] *Echo-sounders*,  
<http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/ultrasonography>.  
(Datum ogleda: 10. 5. 2016.) (*Citirano na strani 7.*)
- [27] J.H. LEE in G. MEDIONI, Wearable RGBD Indoor Navigation System for the Blind. V: L. Agapito, M.M. Bronstein, C. Rother, *Computer Vision - ECCV 2014 Workshops: Zurich, Switzerland, September 6-7 and 12, 2014, Proceedings, Part III*, Springer International Publishing, 2015, 493–508. (*Citirano na strani 8.*)
- [28] C. STOLL, R.P. GERMAIN, V. FRISTOT, D. PELLERIN, D. ALLEYSSON in C. GRAFF, . *Navigating from a Depth Image Converted into Sound* Applied Bionics and Biomechanics (volume 2015) 2015. (*Citirano na strani 8.*)
- [29] S. SONU, . *Light Detection and Ranging* CMR Institute of Technology (1–13) 2012. (*Citirano na strani 12.*)
- [30] *Lidar*,  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>. (Datum ogleda: 5. 7. 2016.) (*Citirano na strani 12.*)
- [31] J. SMISEK, M. JANCOSSEK in T. PAJDLA, 3D with Kinect. V: A. Fossati, J. Gall, H. Grabner, X. Ren, K. Konolige, *Consumer Depth Cameras for Computer Vision: Research Topics and Applications*, Springer London, 2013, 3–25. (*Citirano na strani 12.*)

- [32] *Tango*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Tango\\_\(platform\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Tango_(platform)). (Datum ogleda: 13. 7. 2016.) (*Citirano na strani 12.*)
- [33] M. PANZARINO, *Apple, PrimeSense And Perceptive Computing Or: Why Your Phone Will See In 3D*,  
<https://techcrunch.com/2013/12/03/apple-primense-and-perceptive-computing-or-why-your-phone-will-see-in-3d/>. (Datum ogleda: 10. 5. 2016.) (*Citirano na strani 13.*)
- [34] *Structure IO*, Occipital.  
<http://structure.io/>. (Datum ogleda: 4. 1. 2016.) (*Citirano na straneh 13 in 16.*)
- [35] *Eclipse*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Eclipse\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Eclipse_(software)). (Datum ogleda: 13. 7. 2016.) (*Citirano na strani 14.*)
- [36] *Getting Started with the NDK*,  
<https://developer.android.com/ndk/guides/index.html>. (Datum ogleda: 14. 7. 2016.) (*Citirano na strani 14.*)
- [37] S.A. GORDON, *USB OTG: What is it and what can I do with it?*,  
<https://www.androidpit.com/usb-otg-what-it-means-and-how-to-use-it>. (Datum ogleda: 10. 5. 2016.) (*Citirano na strani 16.*)
- [38] *SoundPool*,  
<https://developer.android.com/reference/android/media/SoundPool.html>. (Datum ogleda: 14. 7. 2016.) (*Citirano na strani 17.*)
- [39] *System usability scale*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/System\\_usability\\_scale](https://en.wikipedia.org/wiki/System_usability_scale). (Datum ogleda: 1. 8. 2016.) (*Citirano na strani 22.*)
- [40] *STRUCTURE SENSOR*,  
<https://interazionidigitali.wordpress.com/hardware-3/structure-sensor/>. (Datum ogleda: 4. 1. 2016.) (*Citirano na straneh VI in 13.*)
- [41] *Amazing Whales*,  
<http://www.brittonbunch.com/WondersOfCreation/index11.html>. (Datum ogleda: 4. 8. 2016.) (*Citirano na straneh VI in 5.*)

- [42] *What is Echolocation?*,  
<https://askabiologist.asu.edu/echolocation>. (Datum ogleda: 4. 8. 2016.)  
(Citirano na straneh VI in 4.)
- [43] A. BANGOR, P. KORTUM in J. MILLER, . *Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale* Journal of Usability Studies (114–123) 2009. (Citirano na straneh VI in 30.)

# Priloge

# A Izvorna koda

Priložena je zgoščenska z vso izvorno kodo sistema.