

# Interakcija s mobilnim uređajem zasnovana na detekciji audio vibracija

---

Skitarelić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:121148>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-24**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Sveučilišni diplomski studij računarstva

Diplomski rad

**Interakcija s mobilnim uređajem zasnovana  
na detekciji audio vibracija**

Rijeka, rujan 2024.

Luka Skitarelić  
0069082611

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Sveučilišni diplomski studij računarstva

Diplomski rad

**Interakcija s mobilnim uređajem zasnovana  
na detekciji audio vibracija**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Sandi Ljubić

Rijeka, rujan 2024.

Luka Skitarelić  
0069082611

Umjesto ove stranice umetnuti zadatak  
za završni ili diplomski rad

## Izjava o samostalnoj izradi rada

Izjavljujem da sam samostalno izradio ovaj rad pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Sandija Ljubića.

Rijeka, rujan 2024.

-----  
Luka Skitarelić

# Zahvala

Zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Sandiju Ljubiću na podršci tijekom pisanja ovoga rada te na korisnim raspravama i savjetima. Također, zahvaljujem roditeljima na podršci tijekom studiranja.

# Sadržaj

<b>Popis slika</b>	<b>viii</b>
<b>Popis tablica</b>	<b>ix</b>
<b>1 Uvod</b>	<b>1</b>
1.1 Opis rada . . . . .	2
1.2 Struktura rada . . . . .	2
<b>2 Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija</b>	<b>3</b>
2.1 Senzori . . . . .	3
2.2 Primjena - Morseov kod . . . . .	4
2.3 Implementacija testnog sustava . . . . .	5
2.3.1 Mobilna aplikacija . . . . .	6
2.3.2 Skripta za obradu podataka . . . . .	16
<b>3 Eksperimentalno vrednovanje interakcije</b>	<b>18</b>
3.1 Eksperiment . . . . .	18
3.2 Ispitna skupina . . . . .	20
3.3 Procedura . . . . .	20
3.4 Upitnici . . . . .	21
3.4.1 NASA-TLX upitnik . . . . .	22
3.4.2 Upitnik o upotrebljivosti . . . . .	23

## *Sadržaj*

<b>4</b>	<b>Rezultati</b>	<b>24</b>
4.1	Stopa pogreške na razini slova . . . . .	25
4.2	Stopa pogreške na razini znaka Morseovog koda . . . . .	25
4.3	Vrijeme trajanja unosa . . . . .	27
4.4	Radno opterećenje interakcije (NASA TLX) . . . . .	29
4.5	Atributi upotrebljivosti . . . . .	33
4.6	Završni upitnik . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Zaključak</b>	<b>38</b>
	<b>Literatura</b>	<b>40</b>
	<b>Pojmovnik</b>	<b>41</b>
	<b>Sažetak</b>	<b>42</b>



## Popis slika

2.1	Primjer kontaktnog mikrofona za detekciju vibracija . . . . .	4
2.2	Abeceda Morseovog koda . . . . .	5
2.3	Početni zaslon mobilne aplikacije . . . . .	6
2.4	Zaslon postavki . . . . .	7
2.5	Zaslon za kalibraciju detekcije audio vibracija . . . . .	8
2.6	Primjer grafičkog sučelja za unos Morseovog koda . . . . .	9
3.1	Prikaz opreme spremne za provođenje . . . . .	19
3.2	Prikaz oznaka za pozicije elemenata u eksperimentu . . . . .	20
3.3	Balansirani Latinski kvadrat 4x4 . . . . .	22
4.1	Graf deskriptivne statistike za stopu pogreške unesenih slova . . . . .	26
4.2	Graf deskriptivne statistike za stopu pogreške unesenih znakova Morseovog koda . . . . .	27
4.3	Graf deskriptivne statistike ukupnog vremena unosa . . . . .	28
4.4	Grafička usporedba mentalne zahtjevnosti . . . . .	29
4.5	Grafička usporedba fizičke zahtjevnosti . . . . .	30
4.6	Grafička usporedba procijenjene razine izvedbe . . . . .	31
4.7	Grafička usporedba frustracije . . . . .	32
4.8	Grafička usporedba procijenjenog ukupno uloženog truda . . . . .	33
4.9	Grafička usporedba efikasnosti . . . . .	34
4.10	Grafička usporedba lakoće učenja . . . . .	35
4.11	Grafička usporedba percipiranog zadovoljstva . . . . .	36
4.12	Preferirani modalitet interakcije . . . . .	37

## Popis tablica

3.1	Definicije modaliteta . . . . .	22
4.1	Deskriptivna statistika za stopu pogreške unesenih slova . . . . .	25
4.2	Deskriptivna statistika za stopu pogreške unesenih znakova Morse- ovog koda . . . . .	26
4.3	Deskriptivna statistika za ukupno vrijeme unosa . . . . .	28

## Popis programskih kodova

2.1	Primjer korištenja MediaRecorder razreda . . . . .	9
2.2	Metoda za dohvat amplitude audio signala . . . . .	11
2.3	Odabir znaka Morseovog koda u principu rada zasnovanom na snazi .	11
2.4	Odabir znaka Morseovog koda u principu rada zasnovanog na vremen- skim intervalima . . . . .	11
2.5	Metoda za generiranje nasumičnog redoslijeda abecede . . . . .	13
2.6	Struktura podataka za mapiranje Morseovog koda u odgovarajuća slova	13
2.7	Metoda za postavljanje inicijalnih vrijednosti pokušaja . . . . .	15
2.8	Metoda za spremanje prikupljenih podataka u datoteku . . . . .	15
2.9	Kod za obradu podataka . . . . .	16
2.10	Metoda za izračun razlike zadanog i unesenog Morseovog koda . . . .	17

# Poglavlje 1

## Uvod

U današnjem svijetu sve veći dio našeg života čini interakcija s tehnologijom. Radi te činjenice došlo je do razvoja nove grane istraživanja koja se bavi interakcijom čovjeka i računala. Interakcija čovjek–računalo (engl. Human-Computer Interaction, HCI) je multidisciplinarno područje koje proučava načine na koje ljudi komuniciraju s računalima i drugim digitalnim sustavima. Razvoj HCI-a donio je značajne promjene u dizajnu interaktivnih sučelja, s naglaskom na poboljšanje korisničkog iskustva i pristupačnosti tehnologije. Ova disciplina obuhvaća istraživanje i razvoj novih sučelja i tipova interakcije, analizu korisničkog ponašanja te evaluaciju postojećih sustava s obzirom na njihovu upotrebljivost [1]. Tipovi interakcija mogu biti vizualni, zasnovani na zvuku ili temeljeni na sensorima. Neki od vizualnih tipova interakcija su praćenje izraza lica, kretnji tijela, gesti i pogleda. Tipovi interakcija zasnovanih na zvuku mogu biti prepoznavanje govora, prepoznavanje govornika, analiza emocija u glasu, detekcija zvukova proizvedenih od strane korisnika te interakcija putem glazbe. Interakcije temeljene na sensorima obuhvaćaju korištenje olovke, miša i tipkovnice, joysticka, senzora za praćenje pokreta, haptičkih senzora, senzora pritiska te senzora mirisa i okusa. Cilj ove grane istraživanja i razvoja je osmisliti i razviti metodologije za efikasniji dizajn, implementaciju i procjenu novih računalnih sučelja. Navedeni cilj bi trebao voditi tome da korisnici mogu brže i lakše savladati korištenje sučelja, uz što manje grešaka u interakciji.

## **1.1 Opis rada**

Cilj ovoga rada je razvoj sustava koji korisniku može omogućiti beskontaktnu interakciju s mobilnim uređajem pomoću audio vibracija. Navedeni slučaj upotrebe može se svrstati u tip interakcija zasnovanih na zvuku i sensorima. Interakcija je zasnovana na zvuku zato što se koristi detekcija zvukova proizvedenih od strane korisnika, dok je također temeljena na sensorima jer se koriste kontaktni mikrofoni i obični mikrofoni. Razvijena su dva modaliteta interakcije koja se mogu koristiti s dva različita senzora što rezultira s četiri kombinacija razina nezavisnih varijabli. Svaka kombinacija razina nezavisnih varijabli ispitana je u kontroliranom eksperimentu te zatim statistički obrađen kako bi se utvrdila vremenska učinkovitost i točnost. Kao eksperimentalni zadatak odabran je unos Morseovog koda kojeg će korisnik unositi koristeći audio vibracije. Modaliteti interakcije zasnovani su na snazi audio vibracija i na vremenskim intervalima između podražaja. Metode unosa su udarci detektirani pomoću kontaktnog mikrofona te udarci detektirani pomoću običnog mikrofona mobilnog uređaja. Jedan od primarnih slučajeva upotrebe ovakvog sustava mogao bi biti u asistivnoj tehnologiji kako bi se korisnicima koji imaju različite poteškoće omogućila bolja interakcija s računalnim sustavima.

## **1.2 Struktura rada**

Drugo poglavlje ovog rada govori o interakciji zasnovanoj na detekciji audio vibracija. Opisuju se korišteni senzori, Morseov kod i implementacijski detalji testnog sustava. Treće poglavlje bavi se eksperimentom, upitnicima i procedurom izvođenja eksperimentalnog zadatka. Četvrto poglavlje predstavlja rezultate statističke analize podataka prikupljenih u eksperimentu i usporedbu modaliteta interakcije ovisno o trajanju unosa, stopi pogreške na razini znaka i stopi pogreške na razini akcije.

## Poglavlje 2

### Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

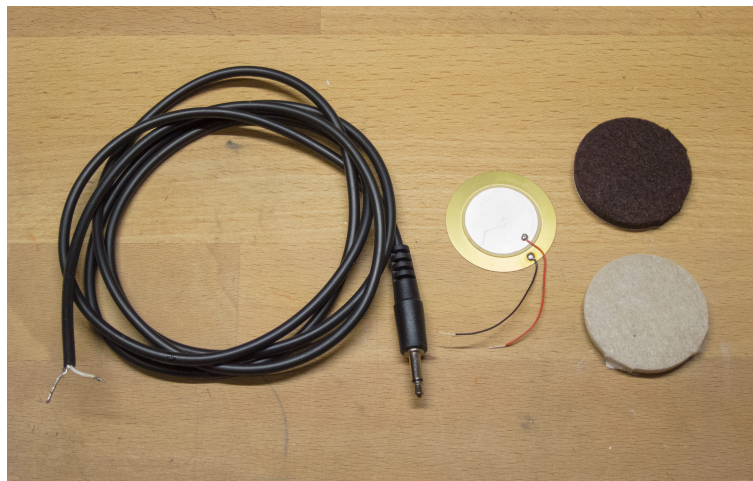
Za postizanje interakcije zasnovane na detekciji audio vibracija koriste se zvučni senzori koji detektiraju audio vibracije. U ovom radu audio vibracije su rezultat korisničkih akcija koje sustav interpretira i pretvara u znakove Morseovog koda. Eksperimentalni uvjeti implementirani su koristeći dva različita senzora i dva različita modaliteta interakcije. Kao senzori korišteni su obični mikروفon i kontaktni mikروفon dok su modaliteti interakcije temeljeni na jačini audio vibracija i intervalu između audio vibracija.

#### 2.1 Senzori

U ovom radu korištena su dva senzora. Prvi senzor je običan mikروفon Android uređaja koji pretvara zvuk u mehaničku, a zatim u električnu energiju. Tip mikrofona koji se uobičajeno koristi u mobilnim uređajima je elektret kondenzatorski mikروفon. Navedeni tip mikrofona koristi se jer ima brojne prednosti, ne zauzima mnogo prostora, nije skup te može snimiti zvuk visoke kvalitete. On je prikladan za detekciju svakodnevnog govora i ostalih zvukova u okolini te se uobičajeno nalazi na samom dnu mobilnog telefona. Drugi senzor je kontaktni mikروفon koji detektira vibracije na površini na kojoj se nalazi te ih također pretvara u električnu energiju. Prednost kontaktnog mikrofona je što je ne detektira zračne vibracije zvuka. Primjer kontaktnog mikrofona prikazan je na slici 2.1. Kontaktni mikrofoni se često koriste za snimanje zvuka instrumenata ili za snimanje u izazovnim okolinama, na primjer ispod razine mora. Android aplikacija pomoću koje se provodi eksperiment očitava njegovu elek-

## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

tričnu energiju te ovisno o njenoj jačini ili vremenskim intervalima između detekcija unosi znakove Morseovog koda.



Slika 2.1 Primjer kontaktnog mikrofona za detekciju vibracija

### 2.2 Primjena - Morseov kod

Morseov kod je telekomunikacijska metoda za enkodiranje tekstualnih znakova u standardizirane sekvence dvaju različitih trajanja impulsa. Kroz povijest je primarno korišten u radio komunikaciji i avijaciji. U praksi ga se može koristiti putem zvučnih valova ili svjetlosnih signala. Impulsi su reprezentirani takozvanim točkama i crtama (engl. *dits and dahs*) koje predstavljaju dugo i kratko trajanje impulsa. Morseov kod sadrži 26 znakova latinske abecede i 10 brojeva i ne razlikuje velika i mala slova. Navedeno je vidljivo na slici 2.2. Svaki simbol koda formiran je od sekvence točaka i crta. Trajanje točke ovisi o signalu i vještini operatera ali ono predstavlja osnovnu jedinicu vremena u Morseovom kodu. Trajanje crte je u praksi 3 puta duže od trajanja točke. Radi povećanja efikasnosti prijenosa informacija kod je dizajniran tako da trajanje svakog simbola bude obrnuto proporcionalno njegovoj učestalosti pojavljivanja u Engleskom jeziku [2]. Stoga, najkraće trajanje ima slovo **E** koje se sastoji od samo jednog kratkog impulsa, tj. točke. Navedena svojstva Morseovog koda su razlog zašto je odabran za unos tekstualnih znakova pomoću audio vibracija

## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

i zvuka. Krajnji korisnik može udarcima po površini unositi točke i crte ovisno o jačini impulsa ili pak vremenskom intervalu između zadnja dva impulsa.

Morseov kod

E •	T —	A • —	N — •
I • •	M — —	U • • —	D — • •
S • • •	O — — —	V • • • —	B — • • •
H • • • •			
Z — — • • •	G — — •	L • • • •	X — • • • —
C • • • • •	K • • • —	F • • • • •	Y — • • — —
P • • — • •	J • • — — —	R • • • •	Q — — • • • —
			W • • — —
1 • • — — — —	6 — • • • • •		
2 • • • — — —	7 — — • • • •		
3 • • • • — —	8 — — — • • •		
4 • • • • • —	9 — — — — • •		
5 • • • • • •	0 — — — — —		

Slika 2.2 Abeceda Morseovog koda

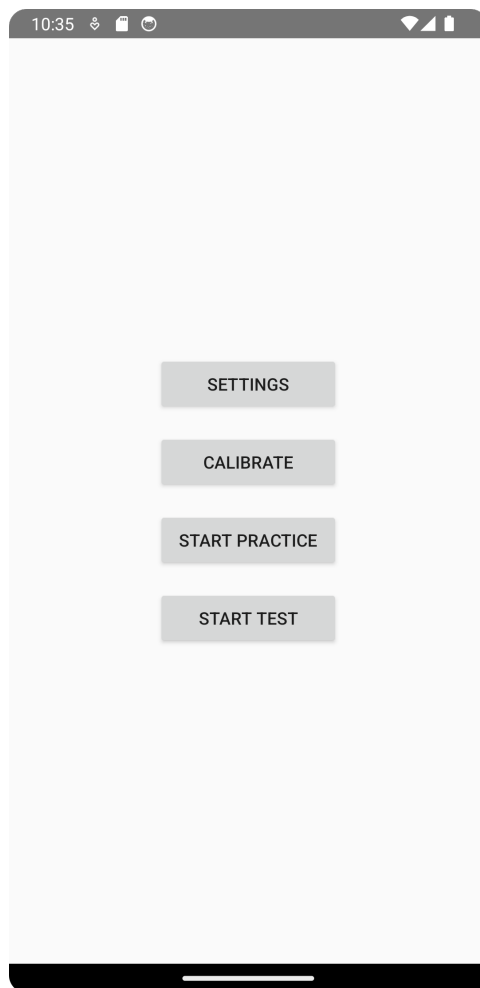
### 2.3 Implementacija testnog sustava

Za razvoj i implementaciju testnog sustava korišteno je razvojno okruženje Android Studio. Razvijeno od strane Google-a to je razvojno okruženje za razvoj mobilnih Android aplikacija. Za razvoj podržava programske jezike Javu i Kotlin [3]. Skripta za obradu prikupljenih podataka je napisana u programskom jeziku Python. Python je skriptni programski jezik kojeg se najčešće koristi u obradi podataka i strojnom učenju [4].



### 2.3.1 Mobilna aplikacija

Mobilna aplikacija sastoji se od pet različitih zaslona. Početni zaslon vidljiv na slici 2.3 služi samo za navigaciju između preostala četiri zaslona. Navedeni zaslone su zaslon za postavke, kalibraciju, vježbu i testni zadatak. Zaslon na slici 2.4 služi za

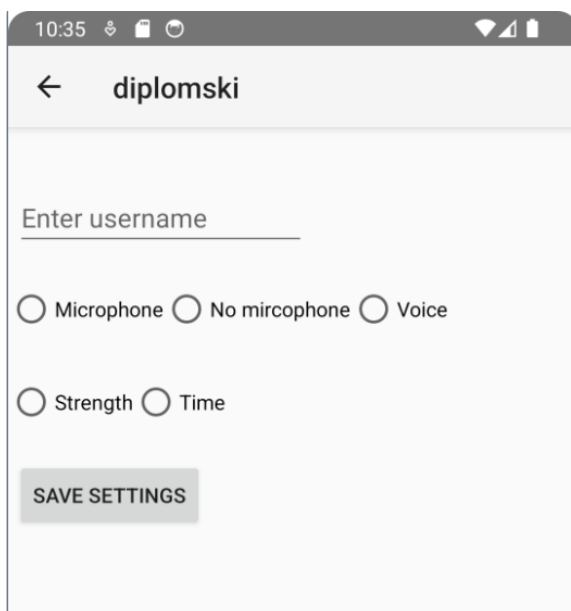


Slika 2.3 Početni zaslon mobilne aplikacije

postavljanje postavki eksperimenta koje zapisuju korištene metode unosa i principe rada u datoteke za daljnju obradu. Korisniku je ponuđeno polje za unos teksta koje predstavlja njegovo korisničko ime u eksperimentu. Ispod toga postoje dvije grupe potvrđnih okvira (engl. *checkbox*) od kojih prva služi za odabir senzora za detekciju

## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

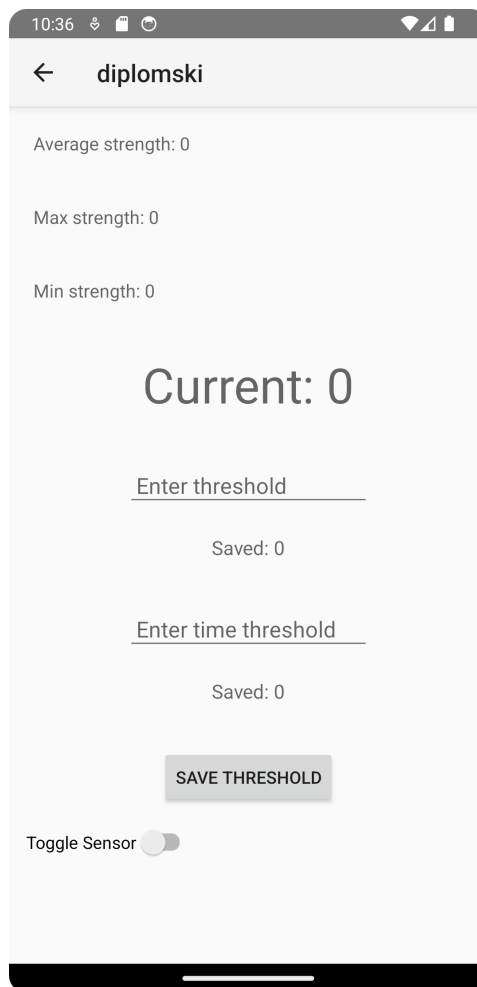
dok druga grupa služi za odabir principa rada. Konačno, postoji i gumb koji pokreće spremanje svih odabranih vrijednosti u *SharedPreferences* sučelje Android sustava. Zaslom na slici 2.5 služi za postavljanje pragova koji definiraju razliku između sla-



Slika 2.4 Zaslom postavki

bog i jakog impulsa pri upisu znaka Morseovog koda. Na vrhu ekrana su prikazane informacije o prosječnoj, najvećoj zabilježenoj i najmanjoj zabilježenoj snazi audio vibracija. Ispod toga je prikaz zadnje zabilježene snage. Pomoću tih podataka korisnik može lakše i točnije odabrati vrijednost koja će mu biti kvalitetan prag za razlikovanje slabih i jakih impulsa. Korisniku su ponuđena dva unosa za decimalne brojeve koji će predstavljati prag snage i vremenski interval za određene principe rada. Tu je također gumb za spremanje tih postavki u *SharedPreferences* sučelje i postavka za paljenje senzora kako bi se kalibracija mogla odraditi. Zaslom na slici 2.6 je glavni ekran na kojem se odvija eksperiment. Na ekranu je vidljiva kartica sa traženim slovom, ispod nje je vidljiv traženi Morseov kod i naposljetku je vidljiv korisnikov unos Morseovog koda. Za snimanje i obradu zvučnih signala korišteno je aplikacijsko programsko sučelje (API) *MediaRecorder*. Navedeno sučelje koristi se za snimanje i enkodiranje audio i video formata. Na isječku koda 2.1 vidljivo je postavljanje konfiguracije sučelja i pokretanje senzora za snimanje zvuka. Za uspješno

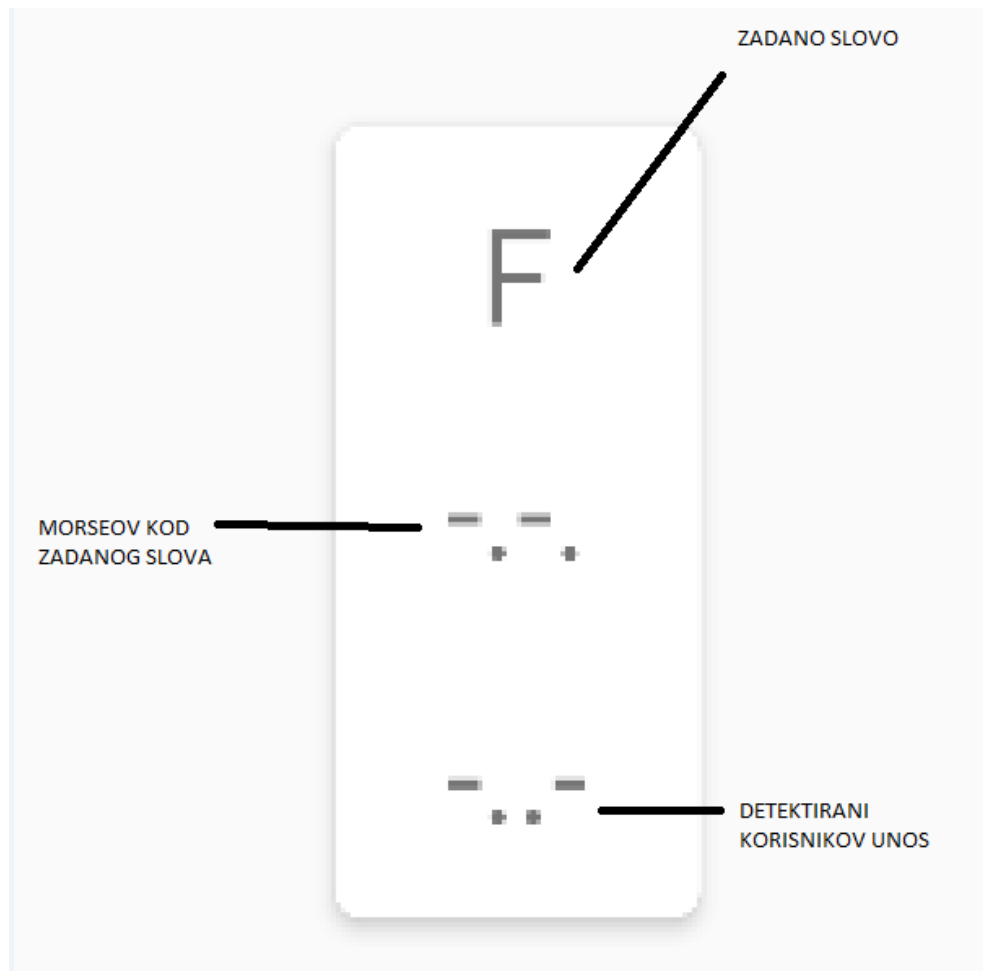
## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija



Slika 2.5 Zaslom za kalibraciju detekcije audio vibracija

konfiguriranje potrebno je postaviti izvor zvuka na mikrofon, postaviti format izlazne datoteke i postaviti audio enkoder. Također, potrebno je postaviti izlaznu datoteku na `"/dev/null"` kako se snimljeni zvuk ne bi nepotrebno spremao na mobilni uređaj. Sustav funkcionira na temelju analize zvuka u stvarnom vremenu stoga nije potrebno spremati snimljeni audio zapis i nepotrebno zauzimati memoriju uređaja. Navedeno sučelje također sadrži metode za paljenje i gašenje zvučnog senzora.

Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija



Slika 2.6 Primjer grafičkog sučelja za unos Morseovog koda

```
1 public void start() {  
2     if (mRecorder == null) {  
3         mRecorder = new MediaRecorder();  
4         mRecorder.setAudioSource(  
5             MediaRecorder.AudioSource.MIC  
6         );  
7         mRecorder.setOutputFormat(  
8             MediaRecorder.OutputFormat.THREE_GPP  
9         );  
}
```

## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

```
10         mRecorder.setAudioEncoder(  
11             MediaRecorder.AudioEncoder.AMR_NB  
12         );  
13         mRecorder.setOutputFile("/dev/null");  
14         try {  
15             mRecorder.prepare();  
16         } catch (IOException e) {  
17             throw new RuntimeException(e);  
18         }  
19         mRecorder.start();  
20     }  
21 }
```

Isječak koda 2.1 Primjer korištenja MediaRecorder razreda

Za detekciju korisnikovog impulsa korištena je metoda prikazana na isječku koda 2.2. Metoda vraća decimalni broj koji predstavlja snagu snimljenog zvuka ili vibracija. Metoda *getMaxAmplitude()* sučelja *MediaRecorder* vraća najveću detektiranu 16-bitnu vrijednost cijelog broja bez predznaka (0-32767) snimljenu unutar intervala od zadnjeg do trenutnog pozivanja metode. To ponekad može uzrokovati da jedan korisnikov unos rezultira s dva znaka, ako je jedan zvučni signal prisutan pri dva uzastopna poziva metode. Dobivena vrijednost se također dijeli s konstantnom kako bi se vrijednost normalizirala na skalu od 1-12.

## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

```
1 public double getAmplitude() {  
2     if (mRecorder != null) {  
3         return (mRecorder.getMaxAmplitude() / 2700.0);  
4     } else  
5         return 0;  
6 }
```

Isječak koda 2.2 Metoda za dohvat amplitude audio signala

Isječak koda 2.3 prikazuje implementacijsku logiku koja ovisno o korisnički definiranom pragu snage, aktivira dotični znak Morseovog koda.

```
1 double volume = mSensor.getAmplitude();  
2  
3 if (volume > 1 && volume < threshold) {  
4     currentInputMorse += ".";  
5 } else if (volume > threshold){  
6     currentInputMorse += "-";  
7 }
```

Isječak koda 2.3 Odabir znaka Morseovog koda u principu rada zasnovanom na snazi

Isječak koda 2.4 prikazuje implementacijsku logiku kojom se provjerava je li detektirana korisnička interakcija i kako bi se unio pravi znak ovisno o vremenskom intervalu od zadnje detektirane korisničke interakcije.

## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

```
1   long currentTime = System.currentTimeMillis();
2   double volume = mSensor.getAmplitude();
3
4   if (
5       volume > 1
6       &&
7       lastInputTime != 0
8       &&
9       (currentTime - lastInputTime > time_threshold)
10  ) {
11      currentInputMorse += "-";
12  } else if (volume > 1 && lastInputTime != 0) {
13      currentInputMorse += ".";
14  }
```

Isječak koda 2.4 Odabir znaka Morseovog koda u principu rada zasnovanog na vremenskim intervalima

Jedan ciklus eksperimenta definiran je korisnikovim unosom cijele abecede Morseovog koda. Korištenjem metode *generateRandomAlphabet()* razreda *RandomAlphabetGenerator* može se dobiti nasumični redoslijed abecede Morseovog koda. Ova metoda pozivat će se jednom za svaki od tri ciklusa testiranja modaliteta. Na isječku koda 2.5 prikazana je implementacija metode *generateRandomAlphabet()*. Prolaskom kroz petlju dodajemo sve znakove abecede u polje koje zatim miješamo koristeći *Collections* sučelje.

## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

```
1     public static List generateRandomAlphabet() {
2         List alphabetList = new ArrayList<>();
3
4         for (char ch = 'A'; ch <= 'Z'; ch++) {
5             alphabetList.add(ch);
6         }
7
8         Collections.shuffle(alphabetList);
9
10        return alphabetList;
11    }
```

Isječak koda 2.5 Metoda za generiranje nasumičnog redoslijeda abecede

Detekcija zvuka odvija se u odvojenoj niti koja se pokreće svakih 500 milisekundi. Ovisno o korisničkim postavkama o principu rada pokreće se jedna od dvije niti. Koristeći metodu prikazanu na isječku koda 2.2 dohvaća se snaga audio signala. Ako je dobivena snaga veća od praga za tišinu detektiran je korisnički unos koji rezultira s točkom ili crticom ovisno o tome je li snaga iznad ili ispod korisnički definiranog praga. Na isti način funkcionira i princip rada koji prati vremenske intervale. U navedenoj niti odvijaju se sva ažuriranja grafičkog sučelja i praćenje rezultata eksperimenta. Nakon unosa svakog Morseovog koda koristi se metoda koja Morseov kod prevodi u rezultirajuće slovo. Implementirana funkcija koristi *HashMap* strukturu podataka prikazanu na isječku koda 2.6 za brzi pristup rezultatima. Ako upisani Morseov kod ne posjeduje vrijednost umjesto slova koristit će se znak ?.

```
1     static {
2         morseCodeMap.put(".-", 'A');
3         morseCodeMap.put("-...", 'B');
4         morseCodeMap.put("-.-.", 'C');
```



## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

```
5     morseCodeMap.put("-", 'D');
6     morseCodeMap.put(".", 'E');
7     morseCodeMap.put("-.-", 'F');
8     morseCodeMap.put("---", 'G');
9     morseCodeMap.put("....", 'H');
10    morseCodeMap.put("..", 'I');
11    morseCodeMap.put(".---", 'J');
12    morseCodeMap.put("-.-", 'K');
13    morseCodeMap.put("-...", 'L');
14    morseCodeMap.put("--", 'M');
15    ...
16 }
```

Isječak koda 2.6 Struktura podataka za mapiranje Morseovog koda u odgovarajuća slova

Isječak koda 2.7 prikazuje metodu koja se koristi nakon unosa svakog Morseovog koda kako bi se pripremlilo stanje za unos sljedećeg. Dohvaća se trenutno slovo, prevodi ga se u Morseov kod te se ažurira grafičko sučelje kako bi korisnik mogao započeti unos zadanog koda.

## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

```
1  public void setValues() {
2      currentLetter = randomAlphabet.get(currentIndex);
3      currentMorse = MorseCodeTranslator.lettersToMorseCode(
4          currentLetter
5      );
6      targetLetterTextView.setText(
7          String.valueOf(currentLetter)
8      );
9      targetMorseTextView.setText(currentMorse);
10 }
```

Isječak koda 2.7 Metoda za postavljanje inicijalnih vrijednosti pokušaja

Funkcija *saveToInternalStorage()* prikazana na isječku koda 2.8, služi za spremanje rezultata eksperimenta u datoteku. Ime datoteke formira se od korisničkog imena, imena modela interakcije i imena metode unosa. Zatim se, koristeći *FileOutputStream* sučelje upisuju instance *MorseCodeAttempt* razreda. U njoj su sadržani ciljano slovo i Morseov kod, upisano slovo i Morseov kod i vrijeme trajanja unosa. Datoteke su korištene naknadno kako bi se pripremili podaci za statističku obradu.

```
1  public void saveToInternalStorage(ArrayList attempts,
2  String mode, String username, String mic) {
3      File path = context.getExternalFilesDir(null);
4      String fileName =
5          username + '_' + mode + '_' + mic + ".txt";
6
7      try {
8          FileOutputStream writer = new FileOutputStream(
9              new File(path, fileName)
10         );
```

```
10
11     for (MorseCodeAttempt attempt : attempts) {
12         String content = attempt.toString() + "\n\r";
13         writer.write(content.getBytes());
14     }
15     writer.close();
16     Log.i("tag", "File written to " + path);
17 } catch (Exception e) {
18     Log.e("tag", "Error writing file", e);
19 }
20 }
```

---

Isječak koda 2.8 Metoda za spremanje prikupljenih podataka u datoteku

### 2.3.2 Skripta za obradu podataka

Za dodatnu obradu podataka korištena je Python skripta. Skripta prolazi kroz sve datoteke u direktoriju te iz njihovih imena iščitava korišteni modalitet interakcije i aktivni senzor. Ostali podatci čitaju se iz svake linije datoteke. Na isječku koda 2.9 dan je primjer petlje koja računa razliku u rezultirajućim slovima, razliku u rezultirajućem Morseovom kodu i vrijeme trajanja unosa svakog koda.

---

```
1     for line in lines:
2         parts = line.strip().split(',')
3         if len(parts) == 5:
4             letter_1, morse_1, letter_2, morse_2, time = parts
5
6             if letter_1 != letter_2:
7                 total_letter_error += 1
8
```

## Poglavlje 2. Interakcija zasnovana na detekciji audio vibracija

```
9         morse_errors = count_differences(morse_1, morse_2)
10
11         total_morse_error += morse_errors
12
13         total_time += int(time)
```

---

Isječak koda 2.9 Kod za obradu podataka

Na isječku koda 2.10 prikazana je implementacija metode kojom se izračunava broj različitih znakova između zadanog i unesenog Morseovog koda. Skripta na kraju obrađene podatke sprema u strukturu podataka iz koje se generira *Excel* datoteka koja će se koristiti za statističku analizu.

---

```
1     def count_differences(target, result):
2         differences = 0
3
4         for char1, char2 in zip(target, result):
5             if char1 != char2:
6                 differences += 1
7
8         return differences
```

---

Isječak koda 2.10 Metoda za izračun razlike zadanog i unesenog Morseovog koda

# Poglavlje 3

## Eksperimentalno vrednovanje interakcije

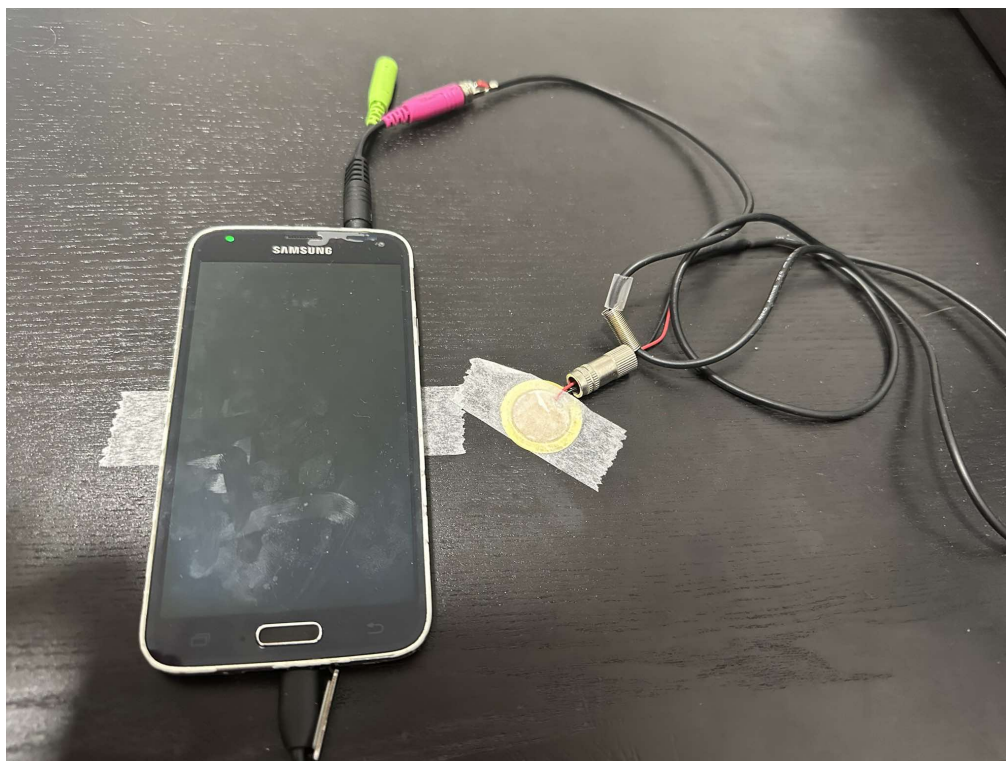
Cilj ovog rada je vrednovati različite modalitete interakcije zasnovane na detekciji audio vibracija. Kao jedinični zadatak izvodi se unos Morseovog koda pri čemu se prati trajanje unosa, stopa pogreške na razini slova i stopa pogreške na razini znakova Morseovog koda. Uz navedeno u obzir se uzima i subjektivna percepcija ispitanika o modalitetima interakcije kroz tri različita upitnika.

### 3.1 Eksperiment

Kao eksperimentalni zadatak odabran je unos teksta na mobilnom uređaju pomoću audio vibracija. Korisnik kroz sve kombinacije omogućenih modaliteta i dostupnih senzora unosi tražena slova abecede pri čemu se prate brzina i količina grešaka na razini slova i Morseovog koda. Kako bi se interakcija mobilnog uređaja i korisnika omogućila koriste se kontaktni mikrofoni i obični mikrofoni mobilnog telefona za detekciju audio vibracija. U provedbi eksperimenta koristi se metoda ponavljanih mjerenja (engl. *repeated measures*) što znači da je svaki ispitanik izložen svim testnim uvjetima. Prednosti ove metode su bolja efikasnost provođenja eksperimenta jer je potrebno manje istreniranih grupa korisnika za provedbu i jača statistička moć s manjim brojem ispitanika [5]. Mane ove metode su mogući umor ispitanika i efekt učenja (engl. *learning effect*). Umor ispitanika je problem koji se može ublažiti time da se nakon svakog modaliteta odradi kratka pauza za odmor. Efekt učenja dolazi do izražaja pri ponavljanom rješavanju istog zadatka, kada kasniji zadaci potencijalno imaju bolje izvođenje radi skupljenog iskustva u rješavanju. Kako bi se utjecaj nave-

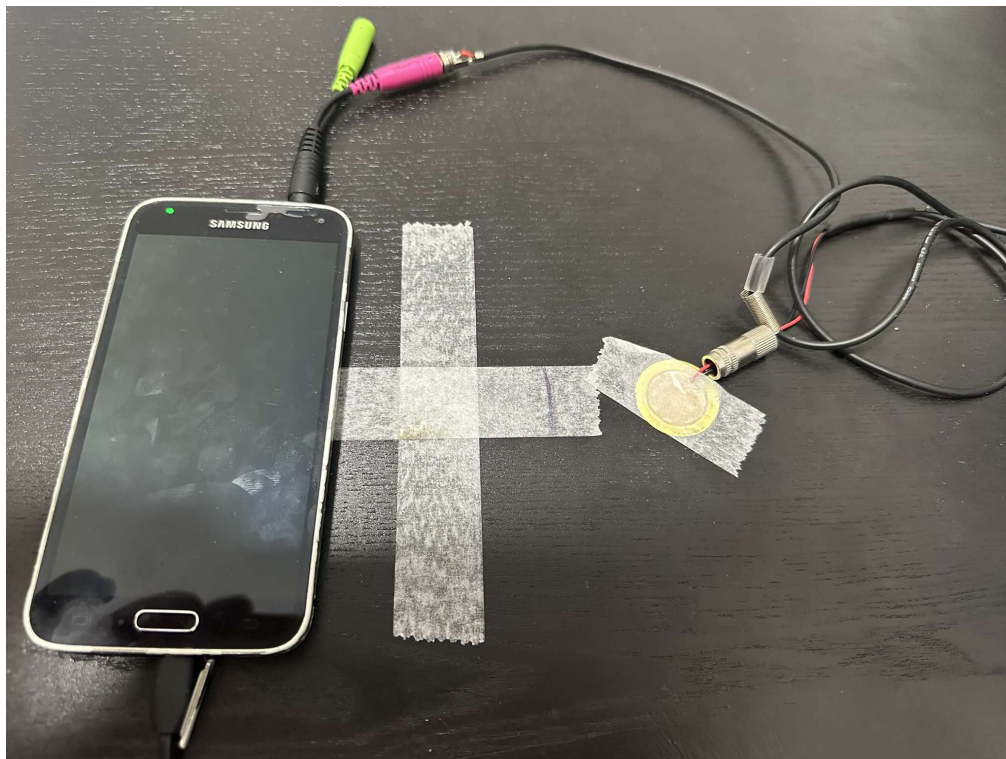
### Poglavlje 3. Eksperimentalno vrednovanje interakcije

denog efekta smanjio koristi se metoda uravnoteženja (engl. *counterbalancing*). Ona garantira da će svaki redoslijed eksperimentalnih uvjeta u eksperimentu biti jednako zastupljen što će umanjiti utjecaj efekta učenja na rezultate. Kako bi dobili jedinstvene redoslijede eksperimentalnih uvjeta korišten je balansirani latinski kvadrat. Na slikama 3.1 i 3.2 je vidljivo postavljeno radno mjesto za izvođenje eksperimentalnog zadatka. Oznake su dodane kako bi se garantirale iste pozicije mobilnog telefona i mikrofona za sve ispitanike jer bi pomicanje opreme moglo utjecati na audio vibracije koje detektira mikروفon. Tijekom izvođenja zadataka, potrebno je osigurati ambijentalnu tišinu, kako se ne bi napravili lažni unosi radi detekcije glasa ili preostalih nastalih zvukova.



Slika 3.1 Prikaz opreme spremne za provođenje

### Poglavlje 3. Eksperimentalno vrednovanje interakcije



Slika 3.2 Prikaz oznaka za pozicije elemenata u eksperimentu

## 3.2 Ispitna skupina

Eksperiment je odradilo dvanaest ispitanika. Prosječna dob ispitanika je 24,9167 godina, dok je standardna devijacija 1,3202 godine. Ženskom spolu pripada pet ispitanika (42%), a muškom spolu pripada sedam ispitanika (58%). Od dvanaest ispitanika, dva su ljevoruka (17%).

## 3.3 Procedura

Svaki korisnik tijekom eksperimenta mora odraditi svaki od četiri kombinacije razina nezavisnih varijabli. Redoslijed svih kombinacija omogućenih modaliteta interakcije i dostupnih senzora određen je metodom latinskog kvadrata. Latinski kvadrat je matrica u kojoj se svaki znak pojavljuje točno jednom u svakom redu i točno jednom u svakom stupcu [6]. Tom metodom može se garantirati da će svaki redoslijed

### *Poglavlje 3. Eksperimentalno vrednovanje interakcije*

eksperimentalnih uvjeta biti jednako zastupljen što ublažava efekt učenja. Primjer modaliteta i redoslijeda vidljivi su na tablici 3.1 i slici 3.3. Svaki eksperimentalni uvjet sastoji se od senzora i modaliteta interakcije. Modaliteti interakcije zasnovani su na snazi impulsa i vremenskim intervalima. Kod modaliteta interakcije temeljenog na snazi potrebno je koristiti jači impuls kako bi se dobio znak crtice, a slabiji impuls kako bi se dobio znak točke. Modalitet interakcije zasnovan na vremenskim intervalima koristi prvi impuls za početak unosa, kraću pauzu za znak točke i dužu pauzu za znak crtice. Korisnik može sam kalibrirati pragove kako bi si definirao koje će vrijednosti rezultirati s točkom, a koje s crtom. Senzori korišteni u proceduri su kontaktni mikrofoni i mikrofoni mobilnog uređaja. Što se tiče modaliteta interakcije temeljenog na snazi pretpostavka je da će biti brži pošto ne zahtijeva čekanje vremenskog intervala koji mora proći kako bi se znala razlika unosa. Također, radi istog razloga pretpostavka je da će modalitet interakcije zasnovan na vremenskim intervalima imati manje grešaka pošto će korisnik biti sporiji tijekom unosa znakova. Prije početka eksperimenta korisnik mora ispuniti početni upitnik s osnovnim informacijama. Zatim, prije samog testiranja korisnik konfigurira postavke kako bi se moglo u datoteku zapisati korisničko ime, modalitet interakcije i senzor koji vrijede za pokušaj eksperimenta. Nakon toga korisnik može odraditi kalibraciju praga snage i vremenskog intervala kako bi mogao procijeniti jačine i pauze impulsa za dobivanje željenog znaka. Nakon pripreme korisnik odraduje jedan ciklus zadatka za vježbu. Nakon vježbe započinje zadatak koji prikuplja podatke i traje tri ciklusa. Jedan ciklus je definiran unosom svih znakova abecede nasumičnim redoslijedom. Proces vježbe i zadatka ponavlja se jednom za svaki od četiri kombinacije omogućenih modaliteta interakcije i korištenih senzora. Pri završetku eksperimenta ispitanik ispunjava NASA-TLX upitnik, upitnik o upotrebljivosti i završni upitnik. Upitnici služe dobivanju komentara o subjektivnom dojmu ispitanika o ispitanim modalitetima.

## **3.4 Upitnici**

Kako bi se u obzir uzele subjektivne percepcije ispitanika korištene su upitnici NASA-TLX, upitnik o upotrebljivosti, te završni upitnik kojim se pragmatično ocjenjuje preferirani modalitet interakcije.



### Poglavlje 3. Eksperimentalno vrednovanje interakcije

Oznaka	Modalitet interakcije	Senzor
A	Snaga	Udaranje detektirano kontaktnim mikrofonom
B	Snaga	Udaranje detektirano mikrofonom mobilnog uređaja
C	Vremenski interval	Udaranje detektirano kontaktnim mikrofonom
D	Vremenski interval	Udaranje detektirano mikrofonom mobilnog uređaja

Tablica 3.1 Definicije modaliteta

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>C</i>
<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>D</i>
<i>C</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
<i>D</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>B</i>

Slika 3.3 Balansirani Latinski kvadrat 4x4

#### 3.4.1 NASA-TLX upitnik

NASA-TLX (engl. *NASA Task Load Index*) upitnik je kojeg je razvila NASA za procjenu težine i zahtjevnosti nekog zadatka. Sam upitnik sadrži šest dimenzija koje se ocjenjuju na skali od 1 do 21 [7]. Dimenzije upitnika su sljedeće:

- Mentalna zahtjevnost (engl. *mental demand*) - Odnosi se na zahtjevnost mentalne aktivnosti. Veća ocjena označava veću potrebu za koncentracijom i razmišljanjem što označava kompleksnost i težinu zadatka dok manja ocjena označava da je zadatak bio jednostavniji.
- Fizička zahtjevnost (engl. *physical demand*) - Opisuje fizičku zahtjevnost potrebnu pri izvođenju eksperimentalnog zadatka. To se može odnositi na potrebu za snagom, koordinacijom ili izdržljivošću pri izvršavanju zadatka.

### Poglavlje 3. Eksperimentalno vrednovanje interakcije

- Vremenska zahtjevnost (engl. *temporal demand*) - Opisuje vremensku zahtjevnost potrebnu pri izvođenju eksperimentalnog zadatka. To se odnosi na vremenski pritisak i tempo interakcije pri izvršavanju zadatka. U ovom eksperimentu se navedena dimenzija nije ispitivala.
- Izvedba (engl. *performance*) - Predstavlja korisnikovu procjenu vlastite uspješnosti. Veća ocjena predstavlja bolju percepciju korisnika o vlastitoj izvedbi dok niža ocjena predstavlja goru percepciju.
- Razina frustracije (engl. *frustration level*) - Odnosi se na korisnikovu procjenu vlastite iritacije i stresa tijekom izvođenja eksperimentalnog zadatka nasuprot smirenosti i zadovoljstva.
- Trud (engl. *effort*) - Predstavlja percepciju korisnika o uloženom trudu i energiji kako bi se izvršio eksperimentalni zadatak. Veća ocjena predstavlja zahtjevnost dok niža ocjena predstavlja lakoću izvršavanja eksperimentalnog zadatka.

#### 3.4.2 Upitnik o upotrebljivosti

Upitnik o upotrebljivosti ispituje tri dimenzije na Likertovoj skali od 1 do 7:

- Efikasnost (engl. *efficiency*) - Odnosi se na percipiranu lakoću korištenja modaliteta interakcije.
- Lakoća učenja (engl. *learnability*) - Predstavlja koliko je korisniku lagano naučiti modalitet interakcije.
- Zadovoljstvo (engl. *satisfaction*) - Odnosi se na zadovoljstvo korisnika vlastitom izvedbom pri korištenju modaliteta interakcije.

## Poglavlje 4

### Rezultati

Za provedbu statističke analize korišten je alat SPSS (engl. Statistical Package for the Social Sciences). SPSS je razvijen od strane IBM-a i vodeći je programski alat za statističku analizu podataka. Primarno se koristi u istraživačkim, obrazovanim i poslovnim okruženjima [8]. Za statističku analizu dobivenih rezultata eksperimentom korištena je parametarska dvofaktorska ANOVA s ponavljanim mjerenjima (engl. *Two-Way Repeated Measures ANOVA*). Parametarska dvofaktorska ANOVA s ponavljanim mjerenjima odabrana je zato što je potrebno analizirati utjecaj dviju nezavisnih varijabli na svaku od tri zavisnih. Nezavisne varijable u ovom eksperimentu čine modalitet interakcije i korišteni senzor. Zavisne varijable predstavljaju stopu pogreške unesenih slova i stopu pogreške unesenih znakova Morseovog koda izraženih u postotcima. Treća zavisna varijabla je vrijeme potrebno za odrađivanje unosa izraženo u sekundama. Dvofaktorskom ANOVOM s ponavljanim mjerenjima proučava se utjecaj svake nezavisne varijable, te njihove kombinacije na ishod eksperimentalnog zadatka. Radi činjenice da svaki ispitanik testira sve kombinacije razina nezavisnih varijabli, bilo je bitno iskoristiti metodu koja zadovoljava uvjet ponavljanih mjerenja. Kako bi se izbjegli nedostaci metode ponovljenih mjerenja poput efekta učenja i umora koristila se metoda uravnoteženja i pauze između modaliteta. Za usporedbu subjektivnog odnosa korisnika prema modalitetima interakcije koristio se *Wilcoxon signed-ranks* test na podacima dobivenim iz upitnika. On je odabran zato što upitnici koriste subjektivne skale i radi toga što svaki ispitanik radi ponovljena mjerenja koristeći sve modalitete interakcije.

## 4.1 Stopa pogreške na razini slova

Deskriptivna statistika prikazana u tablici 4.1 i na grafu 4.1 odnosi se na stopu pogreške na razini slova. Može se vidjeti da najbolji prosječni rezultat ima kombinacija modaliteta interakcije zasnovane na snazi s kontaktnim mikrofonom (34,72%) dok najgori prosječni rezultat ima modalitet interakcije zasnovan na snazi s običnim mikrofonom (54,81%). Modalitet interakcije zasnovan na snazi i običnog mikrofona ima najveću standardnu devijaciju (23,87%), dok najmanju standardnu devijaciju ima modalitet interakcije temeljen na vremenskim intervalima u kombinaciji s običnim mikrofonom (11,63%). Statističkom analizom utvrđeno je da modalitet interakcije

	Prosječna stopa pogreške (%)	Standardna devijacija (%)	Broj mjerenja
Snaga/Kontaktني	34,72	17,75	12
Snaga/Obični	54,81	23,87	12
Vrijeme/Kontaktني	48,61	21,60	12
Vrijeme/Obični	37,82	11,63	12

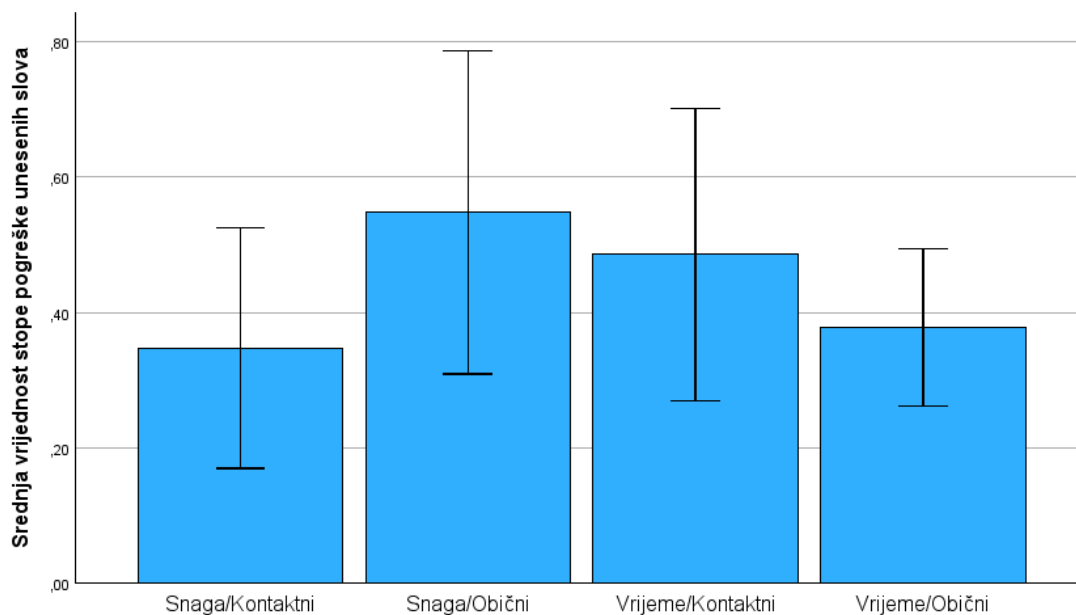
Tablica 4.1 Deskriptivna statistika za stopu pogreške unesenih slova

nema statistički značajan utjecaj na stopu pogreške na razini slova ( $F(1,11) = 0,12$ ,  $p = 0,74 > 0,05$ ). Također, utvrđeno je da senzor nema statistički značajan utjecaj na stopu pogreške na razini slova ( $F(1,11) = 0,6$ ,  $p = 0,45 > 0,05$ ).

## 4.2 Stopa pogreške na razini znaka Morseovog koda

U tablici 4.2 i na grafu 4.2 prikazana je deskriptivna statistika za stopu pogreške na razini znakova Morseovog koda. Najbolje prosječne rezultate ima modalitet interakcije zasnovan na snazi u kombinaciji s kontaktnim mikrofonom (15,62%) dok najgore prosječne rezultate ima modalitet interakcije zasnovan na snazi u kombinaciji s običnim mikrofonom (27,03%). Najmanju standardnu devijaciju ima modalitet interakcije temeljen na vremenskim intervalima u kombinaciji s običnim mikrofonom (6,47%), a modalitet interakcije temeljen na snazi s običnim mikrofonom ima najveću standardnu devijaciju (14,43%). Analizom je utvrđeno da senzor nema statistički značajan utjecaj na stopu pogreške na razini znakova Morseovog koda ( $F(1,11) =$

Poglavlje 4. Rezultati



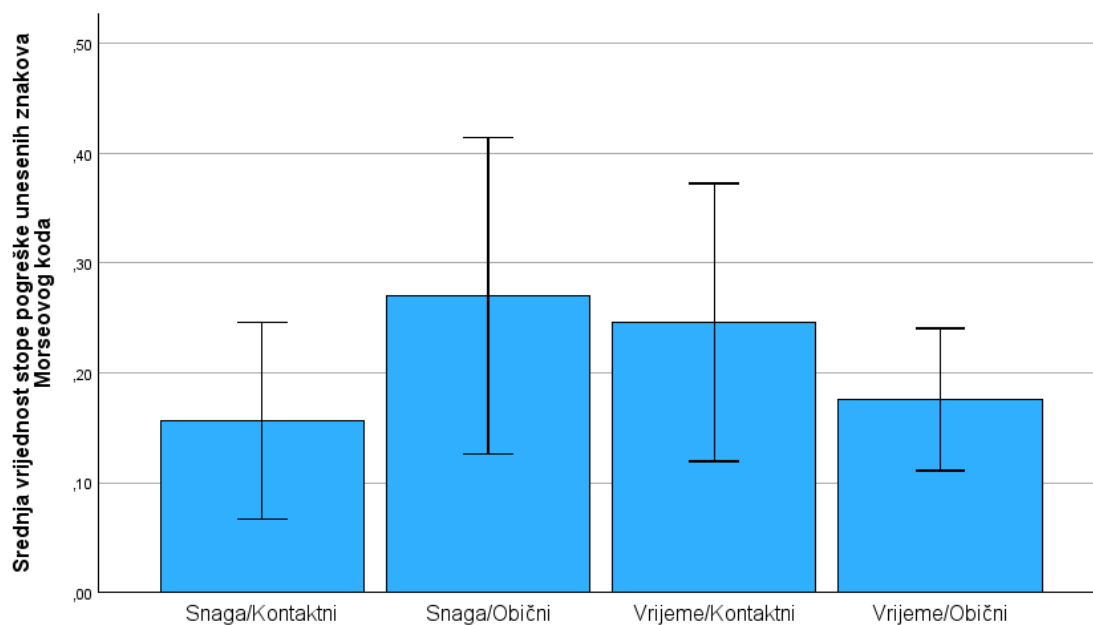
Slika 4.1 Graf deskriptivne statistike za stopu pogreške unesenih slova

	Prosječna stopa pogreške (%)	Standardna devijacija (%)	Broj mjerenja
Snaga/Kontakti	15,62	8,96	12
Snaga/Obični	27,03	14,43	12
Vrijeme/Kontakti	24,59	12,65	12
Vrijeme/Obični	17,58	6,47	12

Tablica 4.2 Deskriptivna statistika za stopu pogreške unesenih znakova Morseovog koda

0,43,  $p = 0,52 > 0,05$ ). Modalitet interakcije također nema statistički značajan utjecaj na stopu pogreške na razini znakova Morseovog koda ( $F(1,11) = 0,01$ ,  $p = 0,93 > 0,05$ ).

## Poglavlje 4. Rezultati



Slika 4.2 Graf deskriptivne statistike za stopu pogreške unesenih znakova Morseovog koda

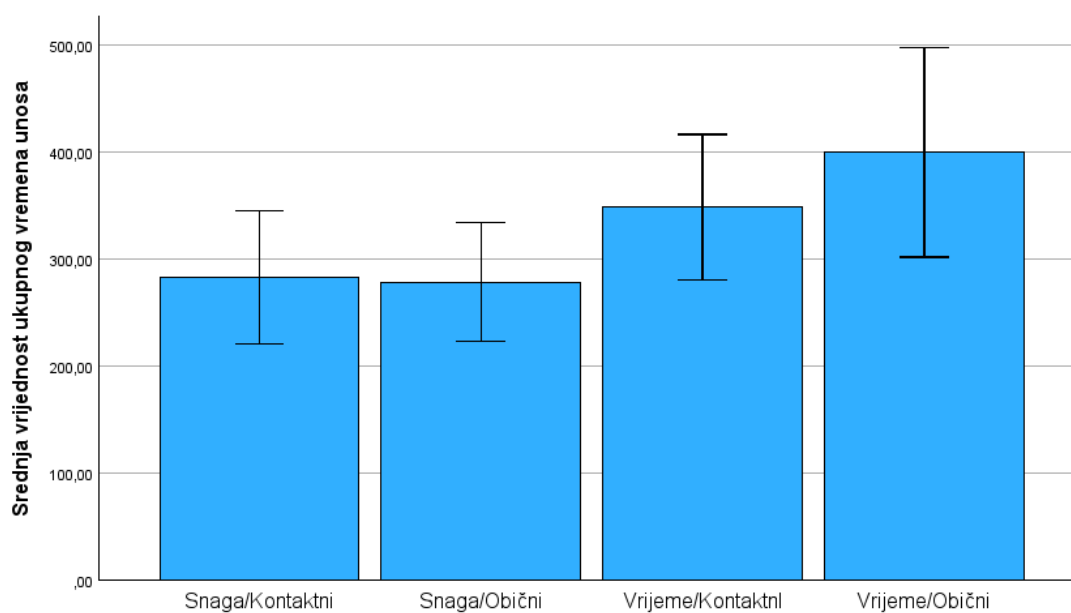
### 4.3 Vrijeme trajanja unosa

Na grafu 4.3 i u tablici 4.3 je deskriptivna statistika za vrijeme unosa abecede. Može se iščitati da najveće prosječno vrijeme unosa ima modalitet interakcije temeljen na vremenskim intervalima u kombinaciji s običnim mikrofonom (399,586 sekundi), dok najmanje prosječno vrijeme ima modalitet interakcije temeljen na snazi s običnim mikrofonom (278,7496 sekundi). Najveću standardnu devijaciju ima modalitet interakcije zasnovan na vremenskim intervalima s običnim mikrofonom (97,8174 sekundi), a najveću standardnu devijaciju ima modalitet interakcije zasnovan na snazi s običnim mikrofonom (55,1418 sekundi). Utvrđeno je da senzor nema statistički značajan utjecaj na vrijeme trajanja unosa ( $F(1,11) = 1,61, p = 0,23 > 0,05$ ). Na posljepku, utvrđeno je da modalitet interakcije ima statistički značajan utjecaj na ukupno vrijeme trajanja unosa ( $F(1,11) = 30,73, p = 0,001 < 0,05$ ). Iz toga se može zaključiti da modalitet interakcije temeljen na vremenskim intervalima ima

Poglavlje 4. Rezultati

	Prosječno vrijeme (s)	Standardna devijacija (s)	Broj mjerenja
Snaga/Kontaktni	283,0742	62,3554	12
Snaga/Obični	278,7496	55,1418	12
Vrijeme/Kontaktni	348,5849	68,0559	12
Vrijeme/Obični	399,5860	97,8174	12

Tablica 4.3 Deskriptivna statistika za ukupno vrijeme unosa



Slika 4.3 Graf deskriptivne statistike ukupnog vremena unosa

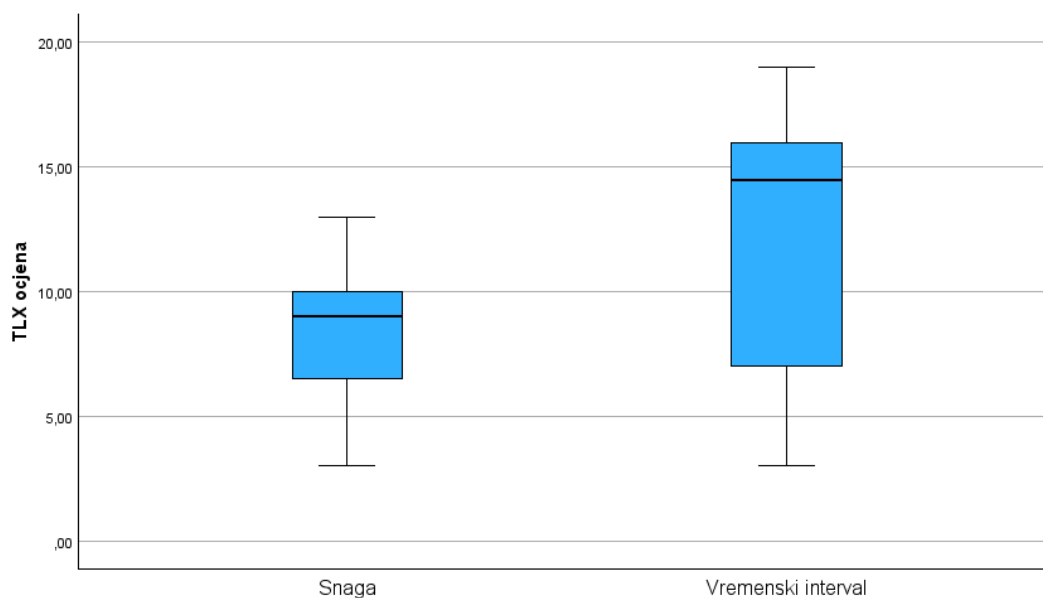
značajno više vrijednosti od modaliteta interakcije zasnovanog na snazi, u kontekstu obavljanja zadanog eksperimentalnog zadatka.

## 4.4 Radno opterećenje interakcije (NASA TLX)

Radno opterećenje interakcije (podaci dobiveni upitnikom NASA TLX) ispitano je *Wilcoxon Signed-Rank* testom. Usporedba se vršila samo nad modalitetom interakcije pošto je pretpostavka da senzor ne bi trebao utjecati na subjektivni dojam korisnika.

### Mentalna zahtjevnost

Na grafu sa slike 4.4 prikazana je usporedba rezultata mentalne zahtjevnosti dva testirana modaliteta interakcije. Između medijana modaliteta interakcije zasnovanog na snazi (9) i medijana modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima (14,5) utvrđena je statistički značajna razlika ( $Z = -2,41$ ,  $p = 0,02 < 0,05$ ). Mentalna zahtjevnost modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima ima raspršenije vrijednosti ali svejedno ima statistički značajno veću vrijednost. Razlog tome je što je za korištenje modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima potrebno puno više koncentracije kako bi akcija rezultirala željenim znakom.

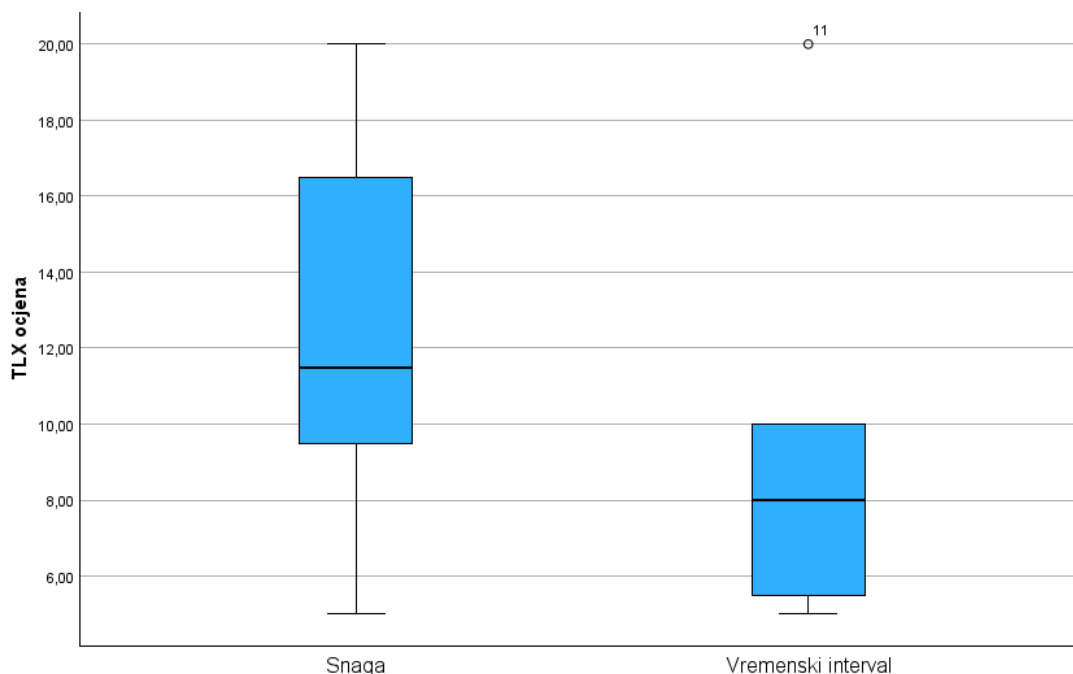


Slika 4.4 Grafička usporedba mentalne zahtjevnosti



### Fizička zahtjevnost

Graf sa slike 4.5 prikazuje usporedbu rezultata fizičke zahtjevnosti dva testirana modaliteta interakcije. Statističkom analizom utvrđena je da ne postoji statistički značajna razlika ( $Z = -1,79$ ,  $p = 0,07 > 0,05$ ) između medijana modaliteta interakcije zasnovanog na snazi (11,5) i medijana modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima (8). Uz navedeno na grafu 4.5 se može primijetiti postojanje ekstremnog odstupanja kod ispitanika broj jedanaest u slučaju modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima.



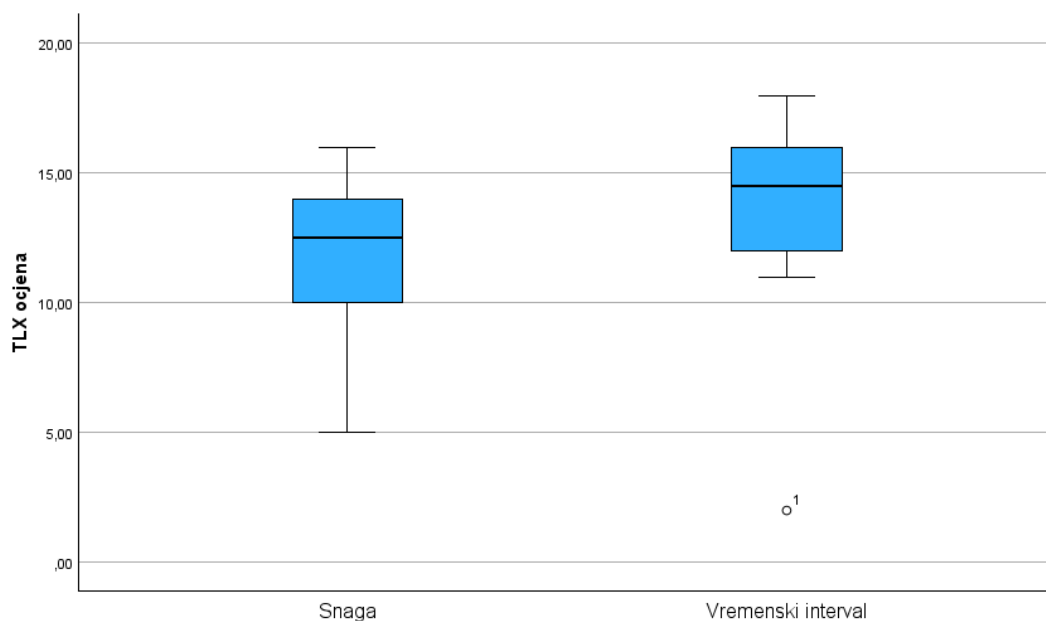
Slika 4.5 Grafička usporedba fizičke zahtjevnosti

### Izvedba

Na grafu sa slike 4.6 se može vidjeti usporedba rezultata percipirane uspješnosti izvedbe dva testirana modaliteta interakcije. Statističkom analizom utvrđeno je da

## Poglavlje 4. Rezultati

ne postoji statistički značajna razlika ( $Z = -1,34$ ,  $p = 0,18 > 0,05$ ) između medijana modaliteta interakcije zasnovanog na snazi (12,5) i medijana modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima (14,5).

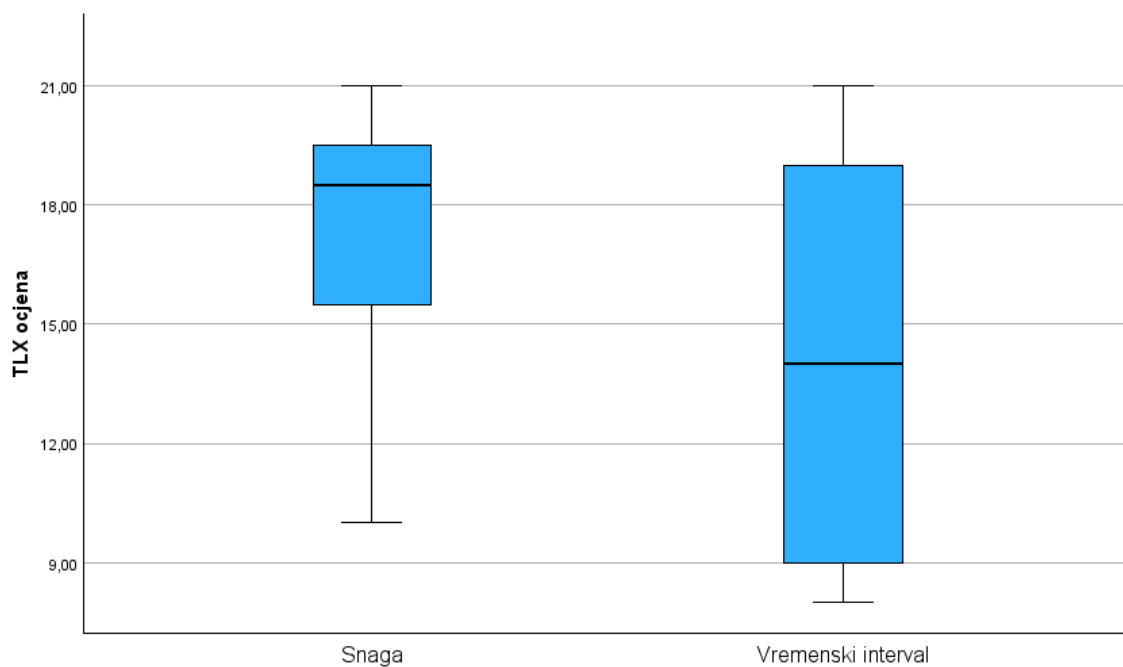


Slika 4.6 Grafička usporedba procijenjene razine izvedbe

## Frustracija

Graf sa slike 4.7 predstavlja usporedbu rezultata percipirane frustracije između dva testirana modaliteta interakcije. Između medijana modaliteta interakcije zasnovanog na snazi (18,5) i medijana modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima (14) analizom je utvrđeno da ne postoji statistički značajna razlika ( $Z = -1,34$ ,  $p = 0,14 > 0,05$ ). Također, vidi se da modalitet interakcije temeljen na vremenskim intervalima ima puno raspršenije vrijednosti.

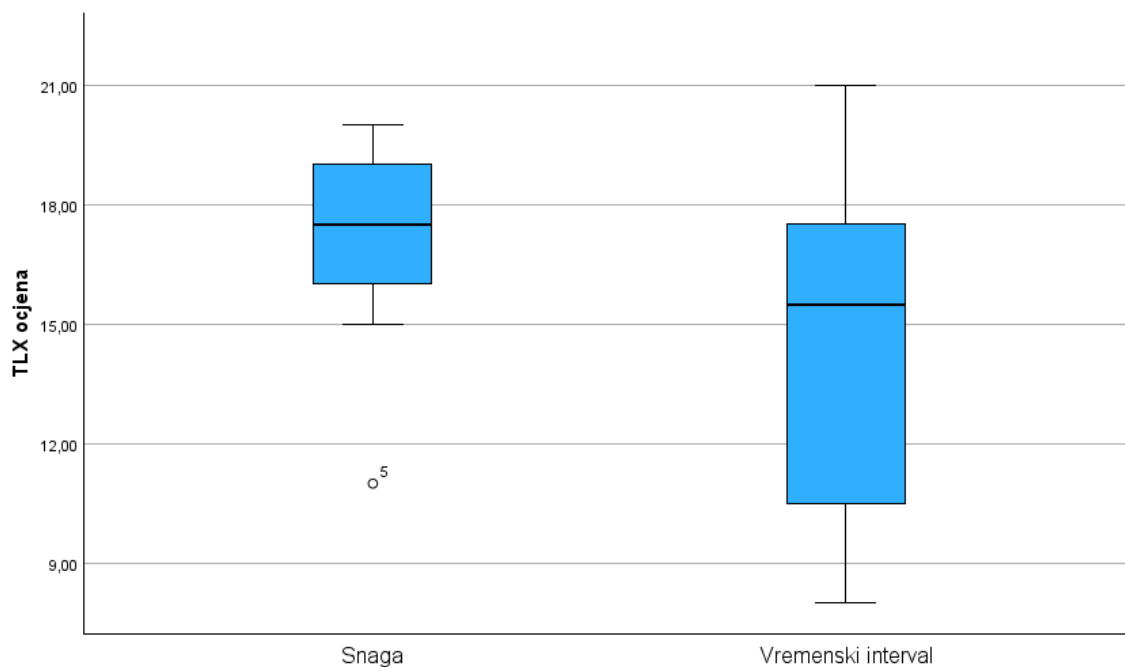
## Poglavlje 4. Rezultati



Slika 4.7 Grafička usporedba frustracije

### Trud

Graf sa slike 4.8 prikazuje usporedbu rezultata percipiranog truda između dva testirana modaliteta interakcije. Statističkom analizom utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika ( $Z = -2,05$ ,  $p = 0,04 < 0,05$ ) između medijana modaliteta interakcije zasnovanog na snazi (17,5) i medijana modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima (15,5). Stoga se može zaključiti da korisnici smatraju da je potrebno uložiti više truda tijekom modaliteta interakcije zasnovanog na snazi.



Slika 4.8 Grafička usporedba procijenjenog ukupno uloženog truda

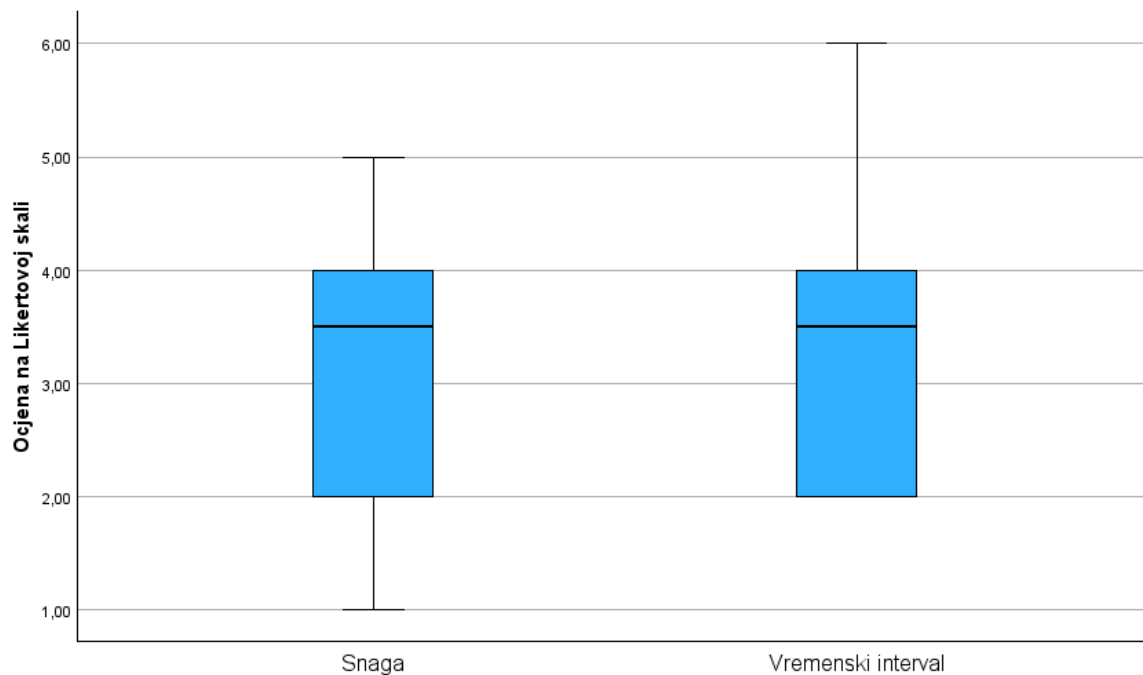
## 4.5 Atributi upotrebljivosti

Rezultati upitnika o upotrebljivosti također su statistički obrađeni *Wilcoxon Signed-Rank* testom. Korištena je skala Likertovog tipa na kojoj ispitanik označava u kojoj mjeri se slaže s navedenom tvrdnjom, od jedan ("u potpunosti se ne slažem") do sedam ("u potpunosti se slažem").

### **Efikasnost**

Na grafu sa slike 4.9 prikazana je usporedba rezultata percipirane efikasnosti između dva testirana modaliteta interakcije. Statističkom analizom utvrđeno je da nema statistički značajne razlike ( $Z = -0,63$ ,  $p = 0,53 > 0,05$ ) između medijana modaliteta interakcije zasnovanog na snazi (3,5) i medijana modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima (3,5).

## Poglavlje 4. Rezultati

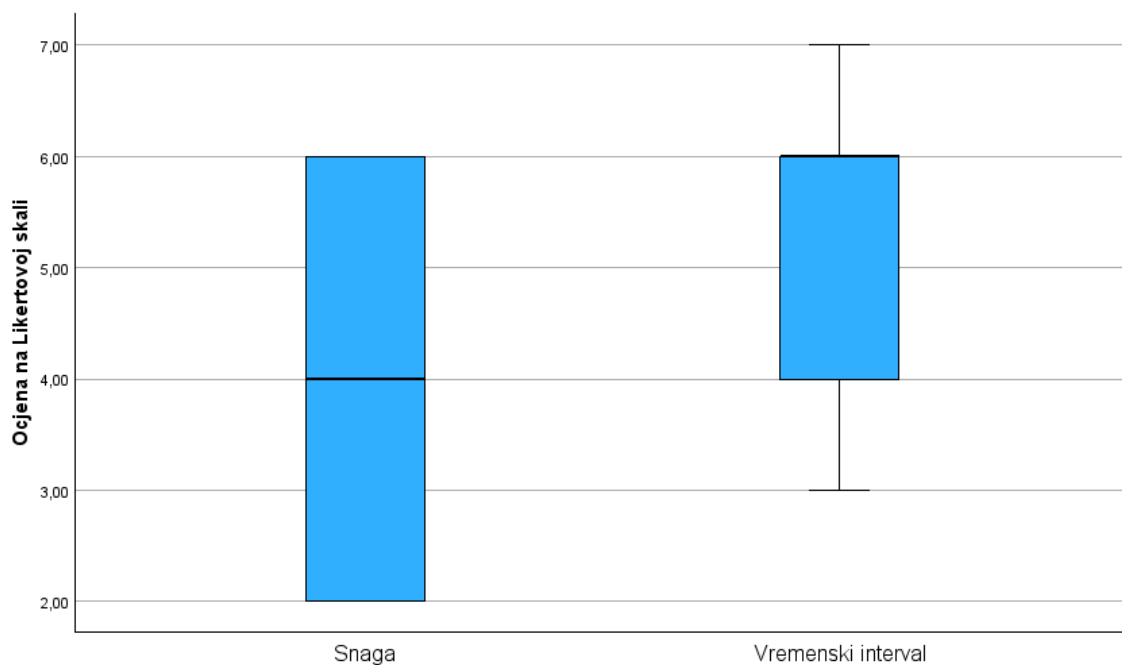


Slika 4.9 Grafička usporedba efikasnosti

### Lakoća učenja

Graf sa slike 4.10 prikazuje usporedbu rezultata percipirane lakoće učenja korištenja dva testirana modaliteta interakcije. Između medijana modaliteta interakcije zasnovanog na snazi (4) i medijana modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima (6) analizom je utvrđeno da ne postoji statistički značajna razlika ( $Z = -1,67$ ,  $p = 0,1 > 0,05$ ).

## Poglavlje 4. Rezultati

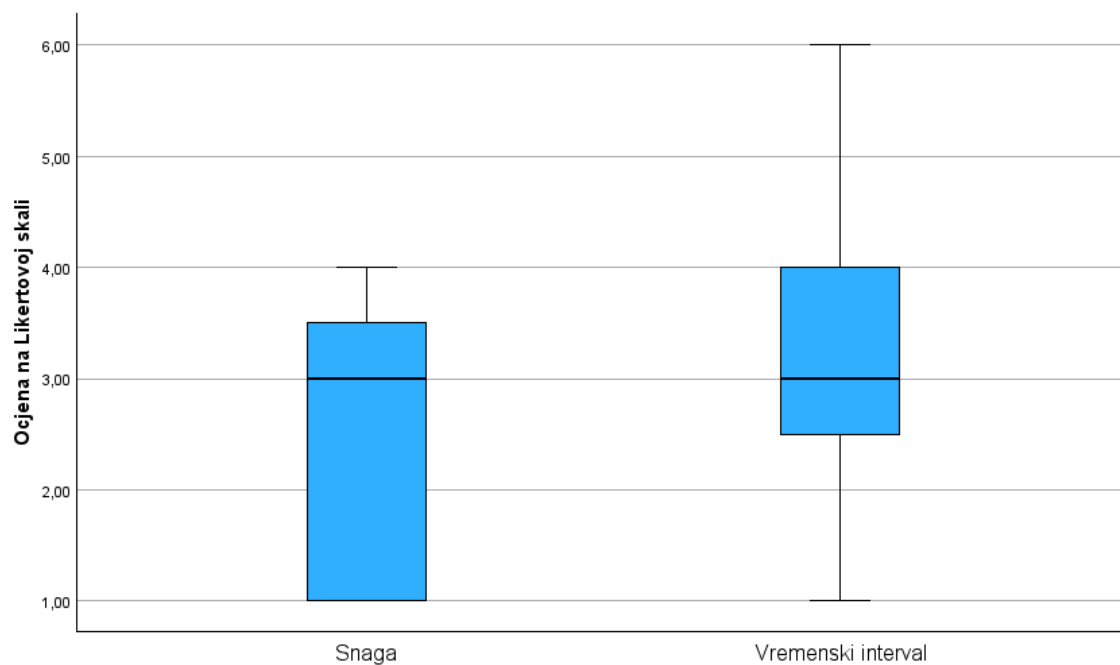


Slika 4.10 Grafička usporedba lakoće učenja

### Zadovoljstvo

Graf sa slike 4.11 prikazuje usporedbu rezultata percipiranog zadovoljstva između dva testirana modaliteta interakcije. Statističkom analizom utvrđeno je da ne postoji statistički značajna razlika ( $Z = -1,01$ ,  $p = 0,28 > 0,05$ ) između medijana modaliteta interakcije zasnovanog na snazi (3) i medijana modaliteta interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima (3).

## Poglavlje 4. Rezultati

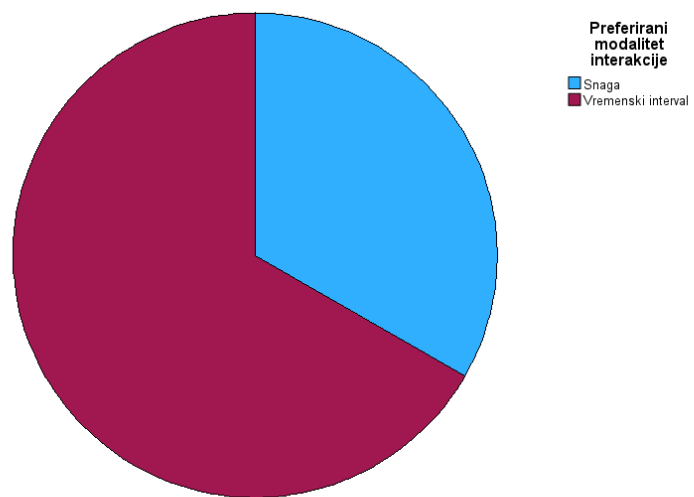


Slika 4.11 Grafička usporedba percipiranog zadovoljstva

### 4.6 Završni upitnik

U završnom upitniku ispitivalo se koji modalitet interakcije korisnici preferiraju. Na grafu sa slike 4.12 vidljivo je da većina ispitanika preferira modalitet interakcije temeljen na vremenskim intervalima. Osam korisnika (67 %) preferiralo je modalitet interakcije zasnovanog na vremenskim intervalima dok je četiri (33 %) korisnika preferiralo modalitet interakcije zasnovanog na snazi. Rezultati se mogu objasniti time što je modalitet interakcije temeljen na vremenskim intervalima puno sličniji pravom korištenju Morseovog koda. Također korisnicima je bilo lakše dobiti željene signale vremenskim intervalom pošto su senzori znali biti neprecizni pri detekciji jačine udarca.

Poglavlje 4. Rezultati



Slika 4.12 Preferirani modalitet interakcije



# Poglavlje 5

## Zaključak

Cilj ovog rada bio je implementirati i demonstrirati, u realnom kontekstu, beskontaktnu interakciju s mobilnim uređajem pomoću audio vibracija. Razvijena su dva različita modaliteta interakcije koja su testirana uz prisutnost dva različita tipa senzora. Organiziran je i proveden eksperiment sa 12 ispitanika, u kojem su kombinacije modaliteta interakcije i dostupnih senzora testirane unosom Morseovog koda. Eksperiment je ispitivao utjecaj modaliteta interakcije i senzora na stopu pogreške na razini slova, stopu pogreške na razini Morseovog koda i ukupno trajanje unosa. Dvo-faktorskom ANOVOM s ponavljanim mjerenjima utvrđeno je da na stopu pogreške na razini slova i Morseovog koda ne postoji značajan utjecaj niti modaliteta interakcije niti korištenog senzora. Razlog tome može biti nepreciznost korištenih senzora i nedostatak programske podrške za izbjegavanje detekcije lažnih audio vibracija. Oba nedostatka sustava utječu na veću stopu pogreške u svim kombinacijama modaliteta interakcije i dostupnih senzora. Za vrijeme trajanja unosa, utvrđeno je da modalitet interakcije predstavlja faktor sa značajnim utjecajem. Taj rezultat je očekivan s obzirom na to da modalitet interakcije temeljen na vremenskim intervalima zahtijeva duže čekanje za postizanje jednog od dva znaka nego modalitet interakcije temeljen na snazi. U slučaju NASA TLX upitnika, statistički značajna razlika pronađena je samo kod mentalne zahtjevnosti i percipiranog truda. Razlika u slučaju mentalne zahtjevnosti može se objasniti većom potrebom za koncentracijom pri unošenju znakova kada se mora paziti na vremenski interval. Neočekivani rezultat je da ne postoji statistički značajna razlika u slučaju fizičke zahtjevnosti, budući da je postojala pretpostavka da će modalitet interakcije temeljen na snazi zahtijevati

## *Poglavlje 5. Zaključak*

više fizičkog napora. S obzirom na atribute upotrebljivosti promatranih modaliteta interakcije, pokazano je da ne postoji statistički značajna razlika u efikasnosti, lakoći učenja i zadovoljstvu korisnika. Većina ispitanika preferira modalitet interakcije temeljen na vremenskim intervalima. Potencijalna poboljšanja modaliteta interakcije su korištenje bolje opreme i rad u zvučno izoliranom prostoru kako bi se izbjegle lažne detekcije. Precizniji mikrofoni i kvalitetniji mobilni uređaj mogli bi poboljšati rezultate i subjektivne dojmove korisnika. Zbog navedenih ograničenja koje smanjuju razinu efikasnosti, sustav trenutno nije dovoljno dobar za primjenu u scenarijima unosa teksta.

## Literatura

- [1] H.-c. interaction, kolovoz 2024., adresa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Human%E2%80%93computer\\_interaction](https://en.wikipedia.org/wiki/Human%E2%80%93computer_interaction).
- [2] M. code, kolovoz 2024., adresa: <https://www.britannica.com/topic/Morse-Code>.
- [3] A. studio, kolovoz 2024., adresa: <https://developer.android.com/studio/intro>.
- [4] Python, kolovoz 2024., adresa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Python\\_\(programming\\_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language)).
- [5] R. measures design, kolovoz 2024., adresa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Repeated\\_measures\\_design#:~:text=Repeated%20measures%20design%20is%20a,change%20over%20time%20is%20assessed..](https://en.wikipedia.org/wiki/Repeated_measures_design#:~:text=Repeated%20measures%20design%20is%20a,change%20over%20time%20is%20assessed..)
- [6] L. square, kolovoz 2024., adresa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Latin\\_square](https://en.wikipedia.org/wiki/Latin_square).
- [7] NASA-TLX, kolovoz 2024., adresa: <https://en.wikipedia.org/wiki/NASA-TLX>.
- [8] IBM, kolovoz 2024., adresa: <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>.

## Pojmovnik

**API** aplikacijsko programsko sučelje. 7

**engl. Human-Computer Interaction, HCI** Interakcija čovjek–računalo. 1

# Sažetak

U ovome radu implementirana je i demonstrirana beskontaktna interakcija s mobilnim uređajem zasnovana na detekciji audio vibracija. Razvijena su dva različita modaliteta interakcije, od kojih se jedan temelji na intenzitetu detektiranih vibracija, a drugi na vremenskim intervalima između detekcija. Organiziran je i proveden HCI eksperiment u kojem su navedeni modaliteti iskorišteni za unos znakova Morseovog koda te tako testirani uz dva različita tipa senzora – piezoelektrični kontaktni mikrofoni i ugrađeni mikrofoni mobilnog uređaja. Zavisne varijable u eksperimentu bile su vrijeme potrebno za unos Morseove abecede, te pogreške na razini slova i simbola Morseovog koda. Dodatno su za svaki modalitet interakcije ispitani standardni atributi upotrebljivosti, kao i percipirano radno opterećenje.

***Ključne riječi*** — interakcija čovjeka i računala, beskontaktna interakcija, audio vibracije, piezoelektrični mikrofoni, Morseov kod, unos teksta

## Abstract

In this thesis, touchless interaction with a mobile device based on audio vibration detection was implemented and demonstrated. Two different interaction modalities were developed, one based on the intensity of the detected vibrations and the other based on the time intervals between detections. An HCI experiment was organized and conducted in which the mentioned modalities were used to input Morse code and thus tested with two different types of sensors - a piezoelectric microphone and a built-in microphone of a mobile device. The dependent variables were the time required to enter the Morse code alphabet and the errors at the letter and symbol level of Morse code. In addition, standard usability attributes and perceived workload were examined for each interaction modality.

***Keywords*** — Human-Computer Interaction, contactless interaction, audio vibrations, piezoelectric microphone, Morse code, text entry