

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave

Ing. Matej Janíček

Študijný program: výrobné zariadenia a systémy

Autoreferát dizertačnej práce

Návrh metodiky pre využitie hlasového ovládania kolaboratívnych robotov

na získanie akademického titulu doktor (philosophiae doctor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: 5.2.1. výrobné zariadenia a systémy

v študijnom odbore: 5.2.1. strojárstvo

Forma štúdia: denná

Miesto a dátum:.....

Dizertačná práca bola vypracovaná na Materiálovotechnologickej fakulte so sídlom v Trnave, Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Predkladateľ: Ing. Matej Janíček
Ústav výrobných technológií
Materiálovotechnologická fakulta STU
Bottova 25
917 24 Trnava

Školiteľ: doc. Ing. Radovan Holubek, PhD.

Oponenti:

Autoreferát bol rozoslaný:.....

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa o.....h.

**na Materiálovotechnologickej fakulte so sídlom v Trnave, Bottova 25,
917 24 Trnava.**

.....
prof. Ing. Miloš Čambál, CSc.

SÚHRN

JANÍČEK, Matej: Návrh metodiky pre využitie hlasového ovládania kolaboratívnych robotov [Písomná práca k dizertačnej skúške] – Slovenská technická univerzita v Bratislave. Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave; Ústav výrobných technológií, Katedra výrobných zariadení a systémov. - Vedúci práce: doc. Ing. Radovan Holubek, PhD. – Slovenská technická univerzita v Bratislave. Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, 2021.

Kľúčové slová: hlasové ovládanie, kolaboratívny robot, rozpoznávanie reči

Predkladaná dizertačná práca sa zaoberá návrhom metodiky pre využitie hlasového ovládania kolaboratívnych robotov. Dizertačná práca je rozdelená do štyroch kapitol. Prvá kapitola je venovaná literárnemu prehľadu v oblasti verbálneho riadenia a rozpoznávania reči. Druhá kapitola analyzuje experimenty v oblasti bezpečnosti hlasových povelov. Tretia kapitola rieši analýzu robotickej edukatívnej kolaboratívnej bunky s hlasovým ovládaním. Štvrtá kapitola opisuje návrh metodiky pre využitie hlasového ovládania kolaboratívnych robotov. Navrhnutá metodika vychádza z realizovaných výzkumov a simulácií. Záverečná časť je venovaná súhrnu získaných poznatkov.

ABSTRACT

JANÍČEK, Matej: Design of a methodology for the use of voice control of collaborative robots [Thesis to dissertation examination] – Slovak University of Technology in Bratislava. Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Institute of Production Technologies, Department of production facilities and systems. - Supervisor: doc. Ing. Radovan Holubek, PhD. - Slovak University of Technology in Bratislava: Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, 2021.

Key words: voice control, collaborative robot, voice recognition

The presented dissertation deals with the design of a methodology for the use of voice control of collaborative robots. The dissertation is divided into four chapters. The first chapter is devoted to a literature review in the field of verbal control and speech recognition. The second chapter analyzes experiments in the field of voice command security. The third chapter deals with the analysis of a robotic educational collaborative cell with voice control. The fourth chapter describes the proposed methodology for the use of voice control of collaborative robots. The proposed methodology is based on research and simulations. The final part is devoted to a summary of the acquired knowledge.

ÚVOD

Ľudská reč je najpoužívanější komunikačný prostriedok medzi ľuďmi. Použiť ju na riadenie strojov sa v minulosti zdalo byť nemožné. Tak isto sa zdalo byť nemožné riadiť zariadenia pomocou ľudského hlasu. Vďaka množstvu výskumov, ktorých korene siahajú až do dvadsiatych rokov dvadsiateho storočia a neustálemu rýchlemu napredovanie modernej techniky sa verbálne riadenie v spolupráci človek-stroj stáva skutočnosťou. Spolupráca človek-stroj je veľmi dôležitý aspekt. Ak človek a stroj úzko spolupracujú, môžeme využiť výhody tohto spojenia, a to inteligencia a flexibilita človeka a sila a nekonečná opakovateľnosť stroja. Avšak dnes ešte veľmi zriedkavé zavedenie ovládania ľudskou rečou v priemysle je určite znakom nedostatočnej dokonalosti, spoľahlivosti a bezpečnosti takéhoto riadiaceho systému.

Hlavným cieľom dizertačnej práce bude vypracovať návrh metodiky pre využitie hlasového ovládania spolupracujúcich kolaboratívnych robotov. Na základe literárnych poznatkov a doterajších výskumov v oblasti hlasového ovládania a rozpoznávania reči budú navrhnuté experimenty, ktorých účel bude dosiahnuť čo najlepšiu spoľahlivosť a bezpečnosť hlasového ovládania kolaboratívnych robotov. Ďalšia časť práce bude riešiť analýzu robotickej edukatívnej kolaboratívnej bunky s hlasovým ovládaním. Práca sa bude venovať aj hlavným problémom pri hlasovom ovládaní kolaboratívnych robotov. Na záver bude vypracovaná z realizovaných výzkumov a simulácií všeobecná metodika pre vytvorenie ideálnych podmienok pre hlasové ovládanie kolaboratívnych robotov.

1 EXPERIMENTY V OBLASTI BEZPEČNOSTI HLASOVÝCH POVELOV

Doterajší výskum v oblasti verbálneho riadenia a výskum v oblasti rozpoznávania reči uviedol príklady a dôkazy toho, že stroje je naozaj možné ovládať pomocou ľudského hlasu. Žiadny z týchto výskumov sa však nezaoberal spoľahlivosťou a bezpečnosťou takéhoto riadenia. Preto bol navrhnutý výskum, ktorého úlohou bolo zistiť spoľahlivosť a bezpečnosť prenosu hlasových povelov na text, a teda zistenie presnosti a chybovosti ovládania hlasom.

Hodnotenie prenosu hlasu na text v rôznych podmienkach

Bezpečnosť je najdôležitejší aspekt každej práce. To isté platí aj v priemysle, kde je riziko smrteľného úrazu veľmi vysoké. Ak chceme aby aj moderné technológie ako hlasové ovládanie boli pre človeka bezpečné a spoľahlivé, musí sa preskúmať aká je úroveň dnešnej techniky pri rozpoznávaní ľudskej reči a následného prenosu reči na text. Vo výskume boli vybrané a zohľadnené rôzne podmienky/faktory prenosu ľudskej reči na text, keďže riadiť zariadenia v priemysle pomocou ľudského hlasu je komplikované. Na overenie sa zostavila jednoduchá ale dodnes nerealizovaná simulácia prenosu reči na text vo vybraných podmienkach.

Opis simulácie:

- rečník čítal rovnaký text so 100 slovami do mikrofónu opakovane za určitých meniacich sa podmienok,
- ľudská reč bola prepísaná na text za pomoci počítača vybaveného transformačným softvérom,
- pôvodný text bol porovnaný s prepísaným textom do počítača,
- vyhodnotila sa zhoda a chybovosť prepisu.

Podmienky simulácie:

- boli použité 3 faktory:
X1 = rýchlosť reči,
X2 = vzdialenosť rečníka ,
X3 = okolitý šum,
- každý faktor mal 2 úrovne: Min/Max.

Podmienky simulácie sú znázornené v tabuľke 1.

Tab. 1 Podmienky simulácie 1. experimentu

Faktor	Značka	Min	Max
Rýchlosť reči (slovo/s)	X1	1	2
Vzdialenosť rečníka (mm)	X2	50	100
Okolitý šum (dB)	X3	40	90

Realizácia simulácie:

Ako už bolo povedané, každý z 3 faktorov ovplyvňujúcich prenos reči na text (X1, X2, X3) má 2 úrovne (Min, Max). Aby bolo možné zistiť vplyv faktorov na jednotlivých úrovniach na prenos reči na text, a zároveň zistiť najvhodnejšie a najmenej vhodné podmienky prenosu reči na text, bolo potrebné vytvoriť všetky možné kombinácie faktorov na oboch úrovniach. Kombinácie faktorov sú znázornené v tabuľke 2.

Tab. 2 Kombinácie faktorov 1. experimentu

<i>Faktor</i>			
<i>X1</i>	<i>X2</i>	<i>X3</i>	<i>Značka kombinácie</i>
<i>Min</i>	<i>Min</i>	<i>Min</i>	<i>y1</i>
<i>Min</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>y2</i>
<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>y3</i>
<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>y4</i>
<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Min</i>	<i>y5</i>
<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>y6</i>
<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>y7</i>
<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>y8</i>

Aby bolo možné relevantne vyhodnotiť výsledky simulácie, bolo realizovaných 50 meraní každej kombinácie (y1 až y8) daných 3 faktorov. Celkovo sa realizovalo 400 simulácií (8 kombinácií X 50 meraní = 400 simulácií). Nevýhodou simulácie bolo využitie hlasu len jedného rečníka.

Počas simulácie prenosu reči na text bolo použitých viacero voľne dostupných online softvérov na prenos reči na text (SpeechTexter, Speechnotes, Voice Notepad). Softvér sa náhodne menil, aby sa zabránilo skresleniu výsledkov simulácie, ak by jeden softvér pracoval oveľa kvalitnejšie, ako ostatné, alebo naopak ak by jeden softvér pracoval nekvalitne, oproti ostatným. Rýchlosť reči sa meralo jednoduchým časovačom, vzdialenosť medzi ústami rečníka a mikrofónom za pomoci posuvného meradla. Simulácia okolitého šumu sa realizovala za pomoci decibel metra (jednoduchá aplikácia v smartfóne) a bežnej audiosústavy. Audiosústava prehrávala monotónny zvuk, hlasitosť sa za pomoci decibel metra nastavila na požadovanú hodnotu. Pri nastavovaní hlasitosti bol decibel meter vždy čo najbližšie k mikrofónu. Simulácia sa realizovala v priestoroch laboratória MTF STU.

Po dokončení 50 meraní prvej kombinácie y1 sa vypočítal aritmetický priemer z 50 meraní danej zhody prenosu reči na text. Tento postup sa opakoval ďalej pri všetkých kombináciách y2 až y8. Výsledky sa zaznamenali a vyhodnotili.

Tab. 3 Výsledky priemernej zhody jednotlivých kombinácií faktorov v 1. experimente

Kombinácia	Rýchlosť reči (slovo/s)	Vzdialenosť rečníka (mm)	Okolitý šum ädB)	Priemerná zhoda
y3	1	100	40	90,60%
y5	2	50	40	90,52%
y7	2	100	40	89,98%
y1	1	50	40	89,62%
y4	1	100	90	77,06%
y2	1	50	90	75,30%
y8	2	100	90	73,72%
y6	2	50	90	72,98%

Tab. 3 znázorňuje zoradené kombinácie faktorov od kombinácie s najväčšou zhodou po kombináciu s najmenšou zhodou prenosu reči na text.

Z vypracovaných výsledkov bolo zistené:

- najvhodnejšie podmienky prenosu reči na text: rýchlosť reči 1 slovo za sekundu, vzdialenosť rečníka 100 mm, okolitý šum 40 dB, priemerná zhoda prenosu reči na text pri týchto podmienkach bola 90,60% prepísaných slov,
- najmenej vhodné podmienky prenosu reči na text: rýchlosť reči 2 slová za sekundu, vzdialenosť rečníka 50 mm, okolitý šum 90 dB, priemerná zhoda prenosu reči na text pri týchto podmienkach bola 72,98% prepísaných slov.

Výsledky pomocou softvéru Minitab ukázali, že vstupné študované parametre (rýchlosť reči, vzdialenosť rečníka, okolitý šum) možno považovať za významné a vplyv týchto parametrov je štatisticky dôležitý. Z výsledko je jasné, že pri návrhu metodiky pre využitie hlasového ovládania bude nezanedbateľným faktorom okolitý šum. Je otázka, či je možné eliminovať okolitý šum, ktorý sa vyskytuje bežne v každom priemyselnom odvetví, alebo zdokonaľiť software a hardware, aby sa dosiahla 100% zhoda. Veľmi dôležitým výsledkom výskumu bol tak isto fakt, že ani jedenkrát zo 400 simulácií sa nepodarilo dosiahnuť 100% zhodu čítaného a prepísaného textu.

Každopádne bol navrhnutý ďalší výskum, ktorý nadviazal na predošlí. V predošlom výskume bolo zistené, že okolitý šum má najväčší vplyv na prenos reči na text, teda významne ovplyvňuje hlasové ovládanie. Cieľom tohto výskumu bolo eliminovať okolitý šum. Inšpiráciu bolo rozhlasové štúdio, kde na podobné problémy využívajú zariadenie – limiter. Limiter pracuje medzi mikrofónom a počítačom, ktorý zaznamenáva ľudský hlas len do určitej vzdialenosti od mikrofónu a ďalší neželaný zvuk neeviduje. Takéto zariadenie bolo použité aj pri tomto výskume. Následne boli realizované takmer totožné simulácie.

Opis simulácie:

- rečník čítal rovnaký text so 100 slovami do mikrofónu napojeného na limiter, opakovane za určitých meniacich sa podmienok,
- ľudská reč bola prepísaná na text za pomoci počítača vybaveného transformačným softvérom,
- pôvodný text bol porovnaný s prepísaným textom do počítača,
- vyhodnotila sa zhoda a chybovosť prepisu.

Podmienky simulácie:

- boli použité 3 faktory:
X1 = rýchlosť reči,
X2 = vzdialenosť rečníka ,
X3 = okolitý šum,
- každý faktor mal 2 úrovne: Min/Max.

Podmienky simulácie sú znázornené v tabuľke 4.

Tab. 4 Podmienky simulácie 2. experimentu

Faktor	Značka	Min	Max
Rýchlosť reči (slovo/s)	X1	1	2
Vzdialenosť rečníka (mm)	X2	50	100
Okolitý šum (dB)	X3	40	90

Realizácia simulácie:

Ako už bolo povedané, každý z 3 faktorov ovplyvňujúcich prenos reči na text (X1, X2, X3) má 2 úrovne (Min, Max). Aby bolo možné zistiť vplyv faktorov na jednotlivých úrovniach na prenos reči na text, a zároveň zistiť najvhodnejšie a najmenej vhodné podmienky prenosu reči na text, bolo potrebné vytvoriť všetky možné kombinácie faktorov na oboch úrovniach. Kombinácie faktorov sú znázornené v tabuľke 5.

Tab. 5 Kombinácie faktorov 2. experimentu

Faktor			Značka kombinácie
X1	X2	X3	
Min	Min	Min	y1
Min	Min	Max	y2
Min	Max	Min	y3
Min	Max	Max	y4
Max	Min	Min	y5
Max	Min	Max	y6
Max	Max	Min	y7
Max	Max	Max	y8

Aby bolo možné relevantne vyhodnotiť výsledky simulácie, bolo realizovaných 50 meraní každej kombinácie (y1 až y8) daných 3 faktorov. Celkovo sa realizovalo 400 simulácií (8 kombinácií X 50 meraní = 400 simulácií). Nevýhodou simulácie bolo využitie hlasu len jedného rečníka.

Počas simulácie prenosu reči na text bolo použitých viacero voľne dostupných online softvérov na prenos reči na text (SpeechTexter, Speechnotes, Voice Notepad). Softvér sa náhodne menil, aby sa zabránilo skresleniu výsledkov simulácie, ak by jeden softvér pracoval oveľa kvalitnejšie, ako ostatné, alebo naopak ak by jeden softvér pracoval nekvalitne, oproti ostatným. Rýchlosť reči sa meralo jednoduchým časovačom, vzdialenosť medzi ústami rečníka a mikrofónom za pomoci posuvného meradla. Simulácia okolitého šumu sa realizovala za pomoci decibel metra (jednoduchá aplikácia v smartfóne) a bežnej audiosústavy. Audiosústava prehrávala monotónny zvuk, hlasitosť sa za pomoci decibel metra nastavila na požadovanú hodnotu. Pri nastavovaní hlasitosti bol decibel meter vždy čo najbližšie k mikrofónu. Audiosústava bola vzdialená vždy aspoň 1000 mm od mikrofónu. Limiter bol nastavený, aby zaznamenával zvuk 200 mm od mikrofónu.

Po dokončení 50 meraní prvej kombinácie y1 sa vypočítal aritmetický priemer z 50 meraní danej zhody prenosu reči na text. Tento postup sa opakoval ďalej pri všetkých kombináciách y2 až y8. Výsledky sa zaznamenali a vyhodnotili.

Tab. 6 Výsledky priemernej zhody jednotlivých kombinácií faktorov v 2. experimente

Kombinácia	Rýchlosť reči (slovo/s)	Vzdialenosť rečníka (mm)	Okolitý šum (dB)	Priemerná zhoda
y3	1	100	40	92,26%
y7	2	100	40	92,18%
y5	2	50	40	92,08%
y2	1	50	90	92,04%
y8	2	100	90	91,96%
y1	1	50	40	91,88%
y6	2	50	90	90,82%
y4	1	100	90	90,62%

Tabuľka 6 znázorňuje zoradené kombinácie faktorov od kombinácie s najväčšou zhodou po kombináciu s najmenšou zhodou prenosu reči na text.

Výsledky pomocou softvéru Minitab ukázali, že vstupné študované parametre (rýchlosť reči, vzdialenosť rečníka, okolitý šum) možno považovať za významné a vplyv týchto parametrov je štatisticky dôležitý. Z vypracovaných výsledkov bolo zistené, že použitie prídavného zariadenia limiter malo význam pri eliminovaní okolitého šumu, ktorý mal veľký vplyv na prenos reči na text, teda rozpoznávanie hlasových povelov. Všetky výsledky prepisu povelov sa pohybovali medzi 90% a 93%. Čo je ale dôležité, stále sa nepodarilo ani jedenkrát zo 400 simulácií dosiahnuť presnosť prepisu na 100%.

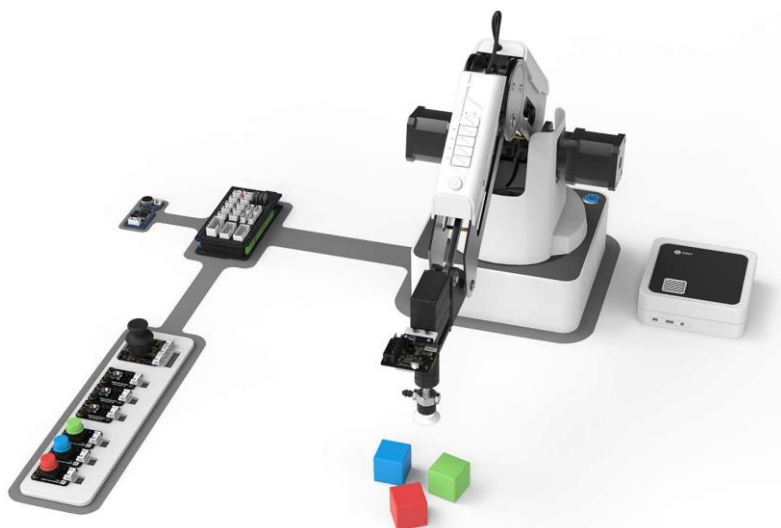
Nepresnosť hlasových povelov

Z realizovaných simulácií vo výskumoch bolo zistené, že v hlučnom priemyselnom prostredí nie je zatiaľ bezpečné a spoľahlivé používať hlasové ovládanie strojov. Z prvého výskumu bolo zistené, ako sa predpokladalo, že okolitý šum, ktorý je neoddeliteľnou súčasťou každého výrobného prostredia strategicky ovplyvňuje presnosť hlasových povelov. Pri ďalšom výskume, pri ktorom bol kladený dôraz a snaha o elimináciu neželaného okolitého šumu výsledky ukázali, že eliminácia určite napomáha pri rozoznávaní hlasových povelov. Avšak stále nedokonalosť a nedosiahnuteľnosť 100% zhody poukazuje na to, že nie je možné z hľadiska bezpečnosti momentálne zaviesť hlasové ovládanie do priemyslu.

Ako robotická kolaboratívna bunka bol použitý edukačný robot DOBOT Magician, na ktorý boli aplikované hlasové povely a ovládanie. DOBOT Magician bol zakúpený na Ústav výrobných technológií za účelom vzdelávania študentov v oblasti robotiky a taktiež pre ďalšiu možnú výskumnú činnosť. Z tohto dôvodu a vďaka jeho vlastnostiam voľba padla práve na DOBOT Magician. DOBOT Magician je multifunkčné desktopové robotické rameno pre praktické vzdelávanie s rôznymi koncovými nástrojmi. DOBOT Magician môže realizovať zaujímavé funkcie, ako je 3D tlač, laserové gravírovanie, písanie a kreslenie. Podporuje sekundárny vývoj 13 rozšíriteľnými rozhraniami a viac ako 20 programovacími jazykmi, čím sa tvorivosť a predstavivosť skutočne zvyšuje bez obmedzenia. Keďže z predošlých simulácií bolo zistené, že momentálne nie je možné z hľadiska bezpečnosti aplikovať hlasové ovládanie v priemysle, dizertačná práca sa uberala smerom spolupráce človek-stroj. Boli realizované experimenty kolaboratívnej práce, súbor operácií vykonávaných človekom a robotickou bunkou, pričom robotická bunka bola ovládaná hlasovými povelmi.

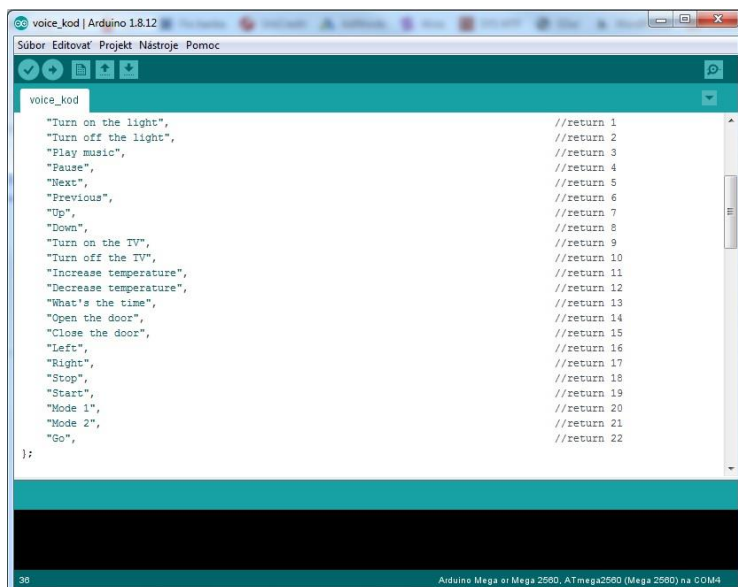
Rozbor hlasových povelov kolaboratívnej robotickej bunky

Cieľom tohto výskumu bolo analyzovať hlasové povely na riadenie kolaboratívnej robotickej bunky. Na tento účel bol použitý kolaboratívny robot DOBOT Magician a jeho príslušenstvo pre hlasové ovládanie – Arduino kit, obrázok 1. DOBOT Magician je multifunkčné robotické rameno pre praktické experimenty. Arduino kit je ďalšie hardverové vybavenie pre hlasové ovládanie DOBOT Magician, ktoré sa prepojí s robotickou bunkou a počítačom. Počítač musí byť vybavený softvérom Arduino pre spojenie s Arduino kit.



Obr. 1 Edukačný kolaboratívny robot DOBOT Magician vrátane hlasového ovládania Arduino kit

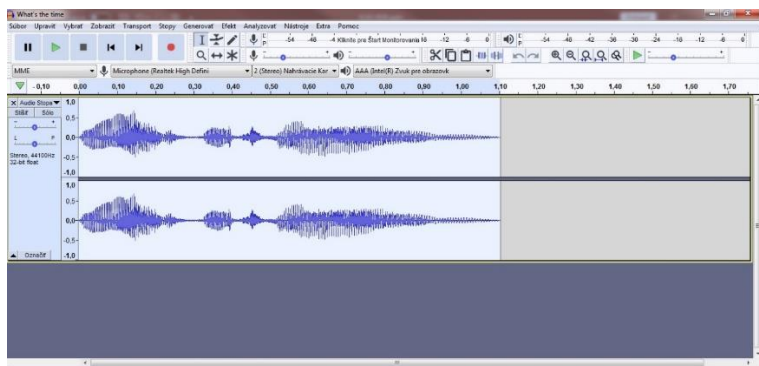
DOBOT Magician obsahuje 22 originálnych plne programovateľných hlasových povelov. Všetky hlasové povelý sú samozrejme v angličtine, niektoré sú viac slovné, ako napríklad Open the door, Play music, iné sú veľmi krátke a jednoslovné, ako Up, Go, Next. Obrázok 2 zobrazuje rozhranie softvéru Arduino so všetkými hlasovými povelmi pre DOBOT Magician.



Obr. 2 Hlasové povely DOBOTa Magician v rozhraní programu Arduino

Hlasové ovládanie DOBOT Magician prebieha nasledovne: po úspešnom zapojení celého systému, prepojení robtoa s PC a spustení softvéru Arduino je robotická bunka pripravená prijímať hlasové povely. Pred každým hlasovým povelom je potrebné aktivovať hlasové ovládanie Arduino kit, a to hlasovým povelom “Hi cell”. Úspešné aktivované hlasové ovládanie signalizuje modrá led dióda a do 3 sekúnd je potrebné vysloviť hlasový povel zo zoznamu 22 povelov uvedenom vyššie. Ako bolo spomenuté, všetkých 22 povelov je plne programovateľných. Aby bolo možné verifikovať úspešnosť hlasového povelu, všetkých 22 povelov bolo preprogramovaných tak, aby rameno DOBOTa Magician vykonalo fyzický nezameniteľný a nespochybniteľný pohyb určitým smerom. Týmto spôsobom boli preprogramované všetky hlasové povely, aby sa overila ich pravdepodobnosť úspechu. To znamená, že ak bol vyslovený hlasový povel a DOBOT Magician sa pohne, simulácia

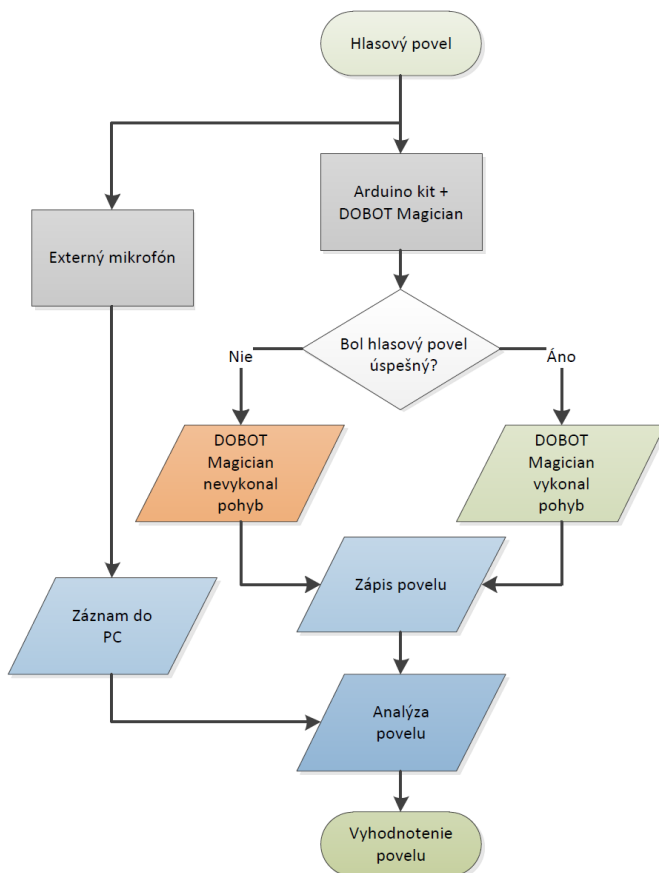
bola úspešná. Ak poviem hlasový povel a DOBOT Magician sa nehýbe, simulácia nebola úspešná. Pre každý z 22 povelov bolo vykonaných 100 simulácií. Každá simulácia bola zaznamenaná a vyhodnotená súčasne. Arduino kit má zabudovaný prijímač zvukového signálu, ale pri simuláciach bol použitý aj iný zvukový snímač - mikrofón, ktorý zaznamenával paralelne hlasové povely do počítača pomocou audiosoftvéru. Okrem parametru úspešný/neúspešný hlasový povel boli sledované aj ďalšie 2 parametre – počet slov hlasového povelu a časová dĺžka hlasového povelu. Ako najvhodnejší zvukový softvér pre dané simulácie bol zvolený softvér AUDACITY. Je to bezplatný a ľahko použiteľný viacstopový zvukový editor a rekordér pre počítač. Rozhranie AUDACITY je znázornené na obrázku 3. Pri tomto experimente boli použité všetky doteraz získané poznatky o zvýšení pravdepodobnosti úspechu hlasového ovládania kolaboratívnej robotickej bunky. Teda pri simuláciach okolité prostredie neobsahovalo šum.



Obr. 3 Rozhranie audiosoftvéru AUDACITY

Postup simulácie bol nasledovný: po úspešnom aktivovaní hlasového ovládania Arduino kit bol vyslovený určitý povel. Tento povel bol zároveň zaznamenaný do programu AUDACITY. Povel bol vyhodnotený ako úspešný alebo neúspešný, v softvéri AUDACITY boli odstránené bezzvukové úvodné a záverečné časti a zmeraná

časová dĺžka samotného hlasového povelu. Celý tento proces simulácie sa opakoval 100 krát pre každý jeden hlasový povel. Z časových dĺžok povelov bol vypočítaný aritmetický priemer jedného povelu, taktiež sa zaznamenal počet slov pre daný povel. Celkovo bolo vykonaných 2200 simulácií, vývojový diagram pre postup simulácie je znázornený na obrázku 4.



Obr. 4 Vývojový diagram pre postup simulácie

Po dokončení 2200 simulácií boli všetky dáta analyzované. Analýza hľadala súvislosť medzi úspešnými hlasovými povelmi a menej úspešnými hlasovými povelmi. Výsledky experimentov sú uvedené v tabuľke 7.

Tab. 7 Pravdepodobnosť úspechu jednotlivých hlasových povelov

Hlasový povel	Pravdepodobnosť úspechu (%)	Priemerný čas povelu (s)	Počet slov povelu
Open the door	98	1,32	3
What's the time	96	1,23	3
Decrease temperature	93	1,33	2
Play music	93	1,05	2
Close the door	92	1,10	3
Increase teperature	92	1,42	2
Turn on the TV	89	1,38	4
Mode 2	88	1,11	2
Turn off the TV	88	1,46	4
Previous	87	0,92	1
Mode 1	86	1,14	2
Turn on the light	86	1,22	4
Right	78	0,71	1
Turn off the light	78	1,28	4
Next	76	0,62	1
Stop	76	0,63	1
Start	73	0,71	1
Left	72	0,57	1
Down	71	0,56	1
Pause	71	0,56	1
Go	70	0,51	1
Up	68	0,46	1

V prvej polovici tabuľky 7 sú viacslovné povel s dlhším priemerným časom. Na konci tabuľky 7 sú krátke jednoslovné povel. To je hlavný problém hlasového ovládania kolaboratívnej robotickéj bunky. Ideálne hlasové povel sú frázy, ktoré obsahujú viac ako jedno slovo a nie sú príliš krátke. Krátke hlasové povel pozostávajúce iba z jedného slova mali jednoznačne problém s vykonaním povelu v simuláciách. DOBOT Magician nemohol realizovať tieto krátke hlasové povel, jednoznačne lepšie realizoval dlhé hlasové povel zložené z niekoľkých slov. Zaujímavosťou tohto experimentu boli hlasové povel Turn on the light a Turn off the light. Tieto hlasové povel neboli také úspešné, pretože DOBOT Magician často nahrádzal povel jeden za druhý a naopak, kvôli podobnosti

hlasových povelov. Je veľmi zaujímavé, že k takémuto prípadu nedošlo pri podobných hlasových poveloch Turn on the TV a Turn off the TV, kde DOBOT Magician povel on/off vedel rozlíšiť podstatne lepšie. Určite stojí za zmienku, že tento experiment a všetky jeho simulácie boli simulované len jedným jediným rečníkom a teda hlasové povely boli vyslovené len jedným hlasom. Do úvahy treba brať aj akcent rečníka a to, že hlasové povely sú v anglicom jazyku, ktorý nie je materinský jazyk rečníka, aj keď snaha o čo najkvalitnejšie znenie povelov bola maximálna. Najdôležitejším zistením experimentu je, že žiadny z 22 povelov nemal 100% úspešnosť hlasových povelov.

Vplyv hlasitosti povelu a vzdialenosti rečníka od prijímača

Nasledujúci experiment mal overiť vplyv hlasitosti povelov a vzdialenosť rečníka od prijímača na pravdepodobnosť úspechu hlasového ovládania kolaboratívnej robotickej bunky. Na tento účel bol opäť použitý kolaboratívny robot DOBOT Magician a jeho príslušenstvo pre hlasové ovládanie - Arduino kit. V predošlom experimente bolo zistené, že DOBOT Magician nemá rovnakú pravdepodobnosť úspechu pri všetkých hlasových poveloch. Hlasové povely zložené z niekoľkých slov mali výrazne vyššiu pravdepodobnosť úspechu ako hlasové povely zložené iba z jedného slova. Preto bol pre tieto simulácie použitý len jediný hlasový povel, ktorý dosiahol najlepšiu pravdepodobnosť úspechu - Open the door. Na tomto jedinom hlasovom povelu boli sledované vplyvy hlasitosti povelu a vzdialenosti rečníka od prijímača. Pri tomto experimente boli použité všetky doteraz získané poznatky o zvýšení pravdepodobnosti úspechu hlasového ovládania kolaboratívnej robotickej bunky. Teda pri simuláciach okolitého prostredia neobsahovalo šum. Hlasové ovládanie DOBOT Magician bolo už popísané, v tomto experimente sa realizácia simulácií vykonávala veľmi podobne. Aby bolo možné overiť úspešnosť hlasového povelu, hlasový povel Open the door bol preprogramovaný tak, aby rameno DOBOT Magician vykonal fyzický

nezameniteľný a nespochybniteľný pohyb určitým smerom. To znamená, že ak bol vyslovený hlasový povel a DOBOT Magician sa pohne, simulácia bola úspešná. Ak poviem hlasový povel a DOBOT Magician sa nehýbe, simulácia nebola úspešná. Každá simulácia bola zaznamenaná a vyhodnotená súčasne. Opäť treba prízvukovať, že hlasové povely sú v anglicom jazyku, ktorý nie je materinský jazyk rečníkov, aj keď snaha o čo najkvalitnejšie znenie povelov bola maximálna.

Postup simulácie bol nasledovný: po úspešnom aktivovaní hlasového ovládania Arduino kit bol vyslovený jediný povel – Open the door, v rôznej kombinácii hlasitosti povelu a vzdialenosti rečníka od prijímača. Povel bol zaznamenaný a vyhodnotený ako úspešný alebo neúspešný podľa pohybu ramena DOBOT Magician. Celý tento proces simulácie sa opakoval 100 krát pre každú jednu kombináciu hlasitosti a vzdialenosti. Výsledky pravdepodobnosti úspechu jednotlivých hlasových frekvencií sú uvedené v tabuľke 8.

Tab. 8 Vplyv hlasitosti povelov a vzdialenosti rečníka na pravdepodobnosť úspechu

Vzdialenosť rečníka (cm)	do 50	50-100	100-150	150-200	200-300	300-500
Hlasitosť povelu (dB)	Pravdepodobnosť úspechu (%)					
<40	>10	>10	0	0	0	0
40-50	<90	<90	<90	>30	>30	>30
50-60	<90	<90	<90	>30	>30	>30
60-70	<90	<90	<90	>30	>30	>30
<70	>50	>50	>30	>30	>30	>30

Výsledky pomocou softvéru Minitab ukázali, že vstupné študované parametre (vzdialenosť rečníka, hlasitosť povelov) možno považovať za významné, a vplyv týchto parametrov je štatisticky dôležitý. Výsledky jasne ukázali, že žiadna kombinácia hlasitosti povelu a vzdialenosti rečníka od prijímača nedokázala dosiahnuť 100%-nú pravdepodobnosť úspechu hlasových povelov, najúspešnejšie kombinácie sa len blížili k 100%-nej pravdepodobnosti úspechu. Výskum ukázal, že najlepšiu pravdepodobnosť úspechu

hlasového ovládania mali povely v kombinácii s hlasitosťou povelu v rozmedzí 40 až 70 dB a vzdialenosti rečníka od prijímača do 150 cm.

Vplyv frekvencie hlasu na hlasový povel edukatívnej kolaboratívnej robotickej bunky

Cieľom tohto experimentu bolo overiť vplyv zmeny frekvencie hlasových povelov na pravdepodobnosť úspechu hlasového ovládania kolaboratívnej robotickej bunky. Na tento účel bol použitý kolaboratívny robot DOBOT Magician a jeho príslušenstvo pre hlasové ovládanie - Arduino kit.

Predchádzajúce výsledky experimentov ukázali, že DOBOT Magician nemá rovnakú pravdepodobnosť úspechu pri všetkých hlasových poveloch. Hlasové povely zložené z niekoľkých slov mali výrazne vyššiu pravdepodobnosť úspechu ako hlasové povely zložené iba z jedného slova. Preto bol pre tieto simulácie použitý len jediný hlasový povel, ktorý dosiahol najlepšiu pravdepodobnosť úspechu - Open the door. Na tomto jedinom hlasovom povelu boli sledované vplyvy hlasovej frekvencie. Pri tomto experimente boli použité všetky doteraz získané poznatky o zvýšení pravdepodobnosti úspechu hlasového ovládania kolaboratívnej robotickej bunky. Teda pri simuláciach sa dodržiavala ideálna vzdialenosť rečníka od prijímača, ideálna hlasitosť povelov, okolité prostredie neobsahovalo šum. Hlasové ovládanie DOBOT Magician bolo už popísané, v tomto experimente sa realizácia simulácií vykonávala veľmi podobne. Aby bolo možné overiť úspešnosť hlasového povelu, hlasový povel Open the door bol preprogramovaný tak, aby rameno DOBOT Magician vykonal fyzický nezameniteľný a nespochybniteľný pohyb určitým smerom. To znamená, že ak bol vyslovený hlasový povel a DOBOT Magician sa pohne, simulácia bola úspešná. Ak poviem hlasový povel a DOBOT Magician sa nehýbe, simulácia nebola úspešná. Každá simulácia bola zaznamenaná a vyhodnotená súčasne. Arduino kit má zabudovaný prijímač zvukového signálu, ale pri simuláciach bol použitý aj iný zvukový snímač - mikrofón, ktorý zaznamenával

paralelne hlasové povely do počítača pomocou audiosoftvéru. Okrem parametru úspešný/neúspešný hlasový povel bol sledovaný aj ďalší parameter – hlasová frekvencia. Ako zvukový softvér pre dané simulácie bol opäť zvolený softvér AUDACITY. Jednoduchý opis a jeho rozhranie už bolo predstavené. Audiosoftvér AUDACITY dokáže analyzovať a meniť frekvenciu hlasu, teda aj hlasových povelov. V tomto prípade boli použité rôzne hlasy, 3 mužské a 3 ženské hlasy, ktoré mali celkovo 6 rôznych hlasových frekvencií. Opäť treba prízvukovať, že hlasové povely sú v anglicom jazyku, ktorý nie je materinský jazyk rečníkov, aj keď snaha o čo najkvalitnejšie znenie povelov bola maximálna.

Postup simulácie bol nasledovný: po úspešnom aktivovaní hlasového ovládania Arduino kit bol vyslovený jediný povel – Open the door. Tento povel bol zároveň zaznamenaný do programu AUDACITY, nie za účelom analýzy časovej dĺžky ako pri predchádzajúcom experimente, ale z dôvodu verifikácie hodnoty hlasovej frekvencie. Povel bol vyhodnotený ako úspešný alebo neúspešný podľa pohybu ramena DOBOT Magician. Celý tento proces simulácie sa opakoval 100 krát pre každú jednu hlasovú frekvenciu. Výsledky pravdepodobnosti úspechy jednotlivých hlasových frekvencií sú uvedené v tabulke 9.

Tab. 9 Pravdepodobnosť úspechu jednotlivých hlasových frekvencií

Hlasová frekvencia (Hz)	Pravdepodobnosť úspechu (%)
155	92
168	88
272	95
324	95
422	95
801	94

Z daných výsledkov je možné usúdiť, že všetky hlasové frekvencie majú približne rovnaké hodnoty pravdepodobnosti úspechu. To znamená, že hlasové ovládanie robota DOBOT Magician

nediskriminuje ženské alebo mužské hlasy a hlasová frekvencia nemá až taký podstatný vplyv na hlasové ovládanie kolaboratívnej robotickej bunky, ako tomu bolo pri rozdielnosti povelov v predchádzajúsom experimente. Ani jedna z hlasových frekvencií nedosiahla pravdepodobnosť úspechu 100%, čo viedlo k pokračovaniu výskumu, či je možné určitým spôsobom zmeny frekvencie hlasu dosiahnuť 100%. K tomuto výskumu opäť poslúžil audiosoftvér AUDACITY, umožňuje totiž analýzu a zmenu hlasovej frekvencie od -99% o +99%. V tomto prípade bola použitá hodnota +/-5%.

Postup simulácie bol nasledovný: jediný hlasový povel Open the door bol nahraný a zaznamenaný softvérom AUDACITY vo všetkých 6 hlasových frekvenciách. Každá jedna hlasová frekvencia bola pozmenená o +/-5%. Po úspešnom aktivovaní hlasového ovládania Arduino kit bol prehraný modifikovaný povel. Povel bol vyhodnotený ako úspešný alebo neúspešný podľa pohybu ramena DOBOT Magician. Celý tento proces simulácie sa opakoval 100 krát pre každú jednu hlasovú frekvenciu. Následne bola hlasová frekvencia pozmenená o ďalších +/-5%, teda celkovo +/-10% od originálnej frekvencie. Proces simulácie sa opakoval 100 krát pre každú jednu hlasovú frekvenciu. Celý tento experiment sa opakoval až pokiaľ hlasová frekvencia nebola modifikovaná už takým spôsobom, že DOBOT Magician prestal úplne reagovať na hlasové povely. Celkovo bolo realizovaných 6000 simulácií. Výsledky pravdepodobnosti úspechu jednotlivých hlasových frekvencií sú uvedené v tabuľke 10. Určite treba poznamenať, že hlasové povely neboli vyslovené priamo rečníkom ale cez zariadenie reproduktujúce zvuk, avšak pri výskume boli použité snímáče zvuku a reproduktujúce zariadenia čo najvyššej kvality o čom svedčí aj dôkaz, že najvyššiu pravdepodobnosť úspechu nedosiahol priamo živý rečník.

Tab. 10 Pravdepodobnosť úspechu jednotlivých hlasových frekvencií

Frekvencia hlasu	155 Hz	168 Hz	272 Hz	324 Hz	422 Hz	801 Hz
Zmena frekvencie	Pravdepodobnosť úspechu (%)					
+20%	0	0	0	0	0	0
+15%	32	0	29	5	32	21
+10%	74	16	44	64	37	53
+5%	94	61	76	79	71	77
Originál	92	88	95	95	95	94
-5%	39	90	96	96	96	97
-10%	14	98	99	95	93	91
-15%	2	73	38	70	68	77
-20%	0	47	3	58	29	62
-25%	0	8	0	16	12	16
-30%	0	0	0	0	0	0

Výsledky ukázali, že vo všetkých prípadoch zmena frekvencie hlasových povelov oproti originálnej frekvencií prispela k zvýšeniu pravdepodobnosti úspechu. V jednom prípade sa po zvýšení frekvencie dostavili lepšie výsledky, v ostatných prípadoch sa zlepšenie dosiahlo vždy znížením frekvencie hlasového povelu. 100% pravdepodobnosť úspechu sa stále nedosiahla, aj keď niektoré výsledky dosahovali takmer 100%.

Verifikácia poznatkov z realizovaných experimentov

Tento experiment spája doterajšie poznatky získané z predošlých experimentov do jedného celku, overuje správnosť doterajších výsledkov a ukazuje odchýlky od predpokladaných záverov. Zameriava sa na zlepšenie pravdepodobnosti úspechu hlasového ovládania kolaboratívnej robotickej bunky, v ktorej pracuje kolaboratívny robot DOBOT Magician a jeho príslušenstvo pre hlasové ovládanie – Arduino kit. DOBOT Magician s príslušenstvom na hlasové ovládanie má 22 originálnych plne programovateľných hlasových povelov. Predchádzajúci výskum zameraný na pravdepodobnosť úspechu jednotlivých hlasových povelov ukázal veľmi dobrú pravdepodobnosť úspechu viacslovných hlasových povelov, horšiu pravdepodobnosť úspechu jednoslovných hlasových

povelov. Pre tento výskum boli na vykonanie simulácií použité iba niektoré hlasové povely. Tabuľka 16 zobrazuje všetky hlasové povely s pravdepodobnosťou úspechu z predchádzajúceho výskumu pre DOBOT Magician s pôvodnou pravdepodobnosťou úspechu. V tomto výskume bolo použitých viacero hlasových povelov. Na získanie objektívnych výsledkov tohto výskumu boli hlasové povely použité rovnomerne z celého zoznamu od najúspešnejších po najmenej úspešné.

Pri tomto experimente boli použité všetky doteraz získané poznatky o zvýšení pravdepodobnosti úspechu hlasového ovládania kolaboratívnej robotickej bunky. Teda pri simuláciach sa dodržiavala ideálna vzdialenosť rečníka od prijímača, ideálna hlasitosť povelov, okolité prostredie neobsahovalo šum. Ovládanie hlasovými povelmi DOBOT Magician bolo už opísané, v tomto experimente sa realizácia simulácií vykonávala veľmi podobne. Aby bolo možné overiť úspešnosť hlasového povelu, vybraný hlasový povel bol preprogramovaný tak, aby rameno DOBOT Magician vykonal fyzický nezameniteľný a nespochybniteľný pohyb určitým smerom. To znamená, že ak bol vyslovený hlasový povel a DOBOT Magician sa pohne, simulácia bola úspešná. Ak poviem hlasový povel a DOBOT Magician sa nehýbe, simulácia nebola úspešná. Každá simulácia bola zaznamenaná a vyhodnotená súčasne. Ako už bolo spomenuté, v experimente boli využité viacere hlasové povely. Tak isto bolo použitých aj viacero rečníkov rôznych hlasových frekvencií, 2 ženské a 2 mužské hlasy. Sledovali sa 4 rôzne hlasové frekvencie, či bude niektorá frekvencia mať výrazne lepšie alebo horšie výsledky v pravdepodobnosti úspechu hlasových povelov.

Postup simulácie bol nasledovný: po úspešnom aktivovaní hlasového ovládania Arduino kit bol vyslovený určitý hlasový povel z vybranej skupiny. Tento povel bol zároveň zaznamenaný do programu AUDACITY z dôvodu verifikácie hodnoty hlasovej frekvencie. Arduino kit má zabudovaný prijímač zvukového signálu, ale pri simuláciach bol použitý aj iný zvukový snímač - mikrofón, ktorý zaznamenával paralelne hlasové povely do počítača pomocou

audiosoftvéru. Audiosoftvér AUDACITY a jeho funkcie boli už predstavené v predošlých experimentoch. Povel bol vyhodnotený ako úspešný alebo neúspešný podľa pohybu ramena DOBOT Magician. Celý tento proces simulácie sa opakoval 100 krát pre každú jednu hlasovú frekvenciu. Celkovo bolo realizovaných 2000 simulácií. Vysledky pravdepodobnosti úspechu sú znázornené v tabuľke 11. Pripomenúť treba, že hlasové povelý sú v anglickom jazyku, ktorý nie je materinský jazyk rečníkov, aj keď snaha o čo najkvalitnejšie znenie povelov bola maximálna.

Tab. 11 Pravdepodobnosť úspechu jednotlivých hlasových frekvencií a hlasových povelov

Hlasový povel	Frekvencia hlasu (Hz)			
	155	272	422	801
Open the door	93	94	90	92
Increase temperature	88	86	90	86
Mode 1	89	85	84	88
Next	79	76	77	74
Up	65	57	64	58

Z výsledkov je jasné, že zmena hlasovej frekvencie rečníka – zmena hlasu toho istého povelu nemá významný vplyv na hlasové ovládanie kolaboratívnej robotickej bunky. Teda neexistuje výrazne lepší hlas rečníka a výrazne horší hlas rečníka, ktorým by sa hlasové ovládanie optimalizovalo. Ani jedna z hlasových frekvencií nedosiahla pravdepodobnosť úspechu 100%, čo viedlo k pokračovaniu výskumu, či je možné spôsobom zmeny frekvencie hlasu dosiahnuť 100%. Predošlý experiment priniesol výsledky, že miernou modifikáciou hlasovej frekvencie je možné zvýšiť pravdepodobnosť úspechu hlasových povelov. Tento istý postup bol opäť realizovaný.

Všetkých 5 hlasových povelov bolo nahraných a zaznamenaných softvérom AUDACITY vo všetkých 4 hlasových frekvenciách. Každá jedna hlasová frekvencia bola pozmenená o $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ a $\pm 15\%$. Po úspešnom aktivovaní hlasového ovládania Arduino kit bol prehraný modifikovaný povel. Povel bol vyhodnotený ako úspešný alebo neúspešný podľa pohybu ramena DOBOT Magician. Celý tento proces simulácie sa opakoval 100 krát pre každú jednu hlasovú frekvenciu. Celkovo bolo realizovaných 2400 simulácií pre jeden hlasový povel, teda 12000 simulácií spolu. Výsledky pravdepodobnosti úspechy jednotlivých hlasových frekvencií sú uvedené v tabuľke 2 až 6. Výskum mal demonštrovať, či je očakávaná modifikácia zlepšenia pravdepodobnosti úspechu účinná rovnako na viacero hlasových povelov, alebo len na určité povely. Opäť treba poznamenať, že hlasové povely neboli vyslovené priamo rečníkom ale cez zariadenie reprodukuje zvuk, avšak pri výskume boli použité snímače zvuku a reprodukuje zariadenia čo najvyššej kvality o čom svedčí aj dôkaz, že najvyššiu pravdepodobnosť úspechu nedosiahol priamo živý rečník.

Tab. 12 Vplyv zmeny frekvencie hlasu na hlasový povel *Open the door*

Hlasový povel - OPEN THE DOOR				
Frekvencia hlasu	155 Hz	272 Hz	422 Hz	801 Hz
Zmena frekvencie	Pravdepodobnosť úspechu (%)			
+15%	42,00	36,00	43,00	42,00
+10%	71,00	47,00	46,00	59,00
+5%	90,00	80,00	76,00	75,00
Originál	93,00	94,00	90,00	92,00
-5%	78,00	97,00	91,00	96,00
-10%	45,00	97,00	91,00	92,00
-15%	36,00	43,00	69,00	76,00

Ako je zrejmé z tabuľky 12, hlasový povel s najväčšou pravdepodobnosťou úspechu, Open the door, dosiahol lepšiu pravdepodobnosť úspechu až v piatich prípadoch zmeny frekvencie hlasového povelu, ako v prípade pôvodnej frekvencie hlasového

povelu . V troch prípadoch sa zlepšenie dosiahlo zmenou frekvencie hlasu o -5%, v dvoch prípadoch o -10%. Bohužiaľ, žiadna zo simulácií nedosiahla stopercentnú pravdepodobnosť úspechu.

Tab. 13 Vplyv zmeny frekvencie hlasu na hlasový povel Increase temperature

Hlasový povel - INCREASE TEMPERATURE				
Frekvencia hlasu	155 Hz	272 Hz	422 Hz	801 Hz
Zmena frekvencie	Pravdepodobnosť úspechu (%)			
+15%	33,00	41,00	48,00	42,00
+10%	47,00	58,00	41,00	59,00
+5%	80,00	75,00	87,00	85,00
Originál	88,00	86,00	90,00	86,00
-5%	90,00	87,00	92,00	85,00
-10%	81,00	71,00	75,00	71,00
-15%	63,00	46,00	59,00	55,00

Tabuľka 13 ukazuje, že hlasový povel Increase temperature dosiahol vyššiu pravdepodobnosť úspechu v troch prípadoch zmeny frekvencie hlasového povelu oproti pôvodnej frekvencie hlasového povelu. Pri zlepšení sa vždy frekvencia hlasu zmenila o -5%. Ani jedna zo simulácií opäť nedosiahla 100% pravdepodobnosť úspechu. V tomto prípade je zaujímavé, že pri hlasovej frekvencii 801 Hz bol iba 1% rozdiel v pravdepodobnosti úspechu v prípade +5% a -5% zmeny frekvencie hlasu v porovnaní s pravdepodobnosťou úspechu pôvodnej hlasovej frekvencie.

Tab. 14 Vplyv zmeny frekvencie hlasu na hlasový povel Mode 1

Hlasový povel - MODE 1				
Frekvencia hlasu	155 Hz	272 Hz	422 Hz	801 Hz
Zmena frekvencie	Pravdepodobnosť úspechu (%)			
+15%	42,00	37,00	31,00	21,00
+10%	51,00	64,00	54,00	64,00
+5%	62,00	78,00	75,00	77,00
Originál	89,00	85,00	84,00	88,00
-5%	93,00	91,00	85,00	90,00
-10%	93,00	84,00	75,00	83,00
-15%	76,00	62,00	59,00	61,00

Výsledky pravdepodobnosti úspechu hlasového povelu Mode 1 sú uvedené v tabuľke 14. Povel Mode 1 dosiahol vyššiu pravdepodobnosť úspechu až v piatich prípadoch zmeny frekvencie hlasového povelu oproti pôvodnej frekvencii hlasového povelu. V štyroch prípadoch sa frekvencia hlasu zmenila o -5%, v jednom prípade sa frekvencia hlasu zmenila o -10%. Ani jedna zo simulácií opäť nedosiahla 100% pravdepodobnosť úspechu.

Tab. 15 Vplyv zmeny frekvencie hlasu na hlasový povel Next

Hlasový povel - NEXT				
Frekvencia hlasu	155 Hz	272 Hz	422 Hz	801 Hz
Zmena frekvencie	Pravdepodobnosť úspechu (%)			
+15%	45,00	38,00	48,00	22,00
+10%	58,00	59,00	55,00	53,00
+5%	49,00	69,00	77,00	66,00
Originál	79,00	76,00	77,00	74,00
-5%	79,00	78,00	80,00	72,00
-10%	80,00	52,00	59,00	75,00
-15%	63,00	37,00	42,00	55,00

Ako je zrejmé z tabuľky 15, hlasový povel Next dosiahol vyššiu pravdepodobnosť úspechu v štyroch prípadoch zmeny frekvencie hlasového povelu oproti pôvodnej frekvencie hlasového povelu. V dvoch prípadoch sa frekvencia hlasu zmenila o -5%, v dvoch prípadoch keď sa frekvencia hlasu zmenila o -10%. Žiadna zo simulácií nedosiahla 100% pravdepodobnosť úspechu, to však nie je prekvapujúce, pretože hlasový povel NEXT nepatrí medzi hlasové povely s vysokou pravdepodobnosťou úspechu.

Tab. 16 Vplyv zmeny frekvencie hlasu na hlasový povel Up

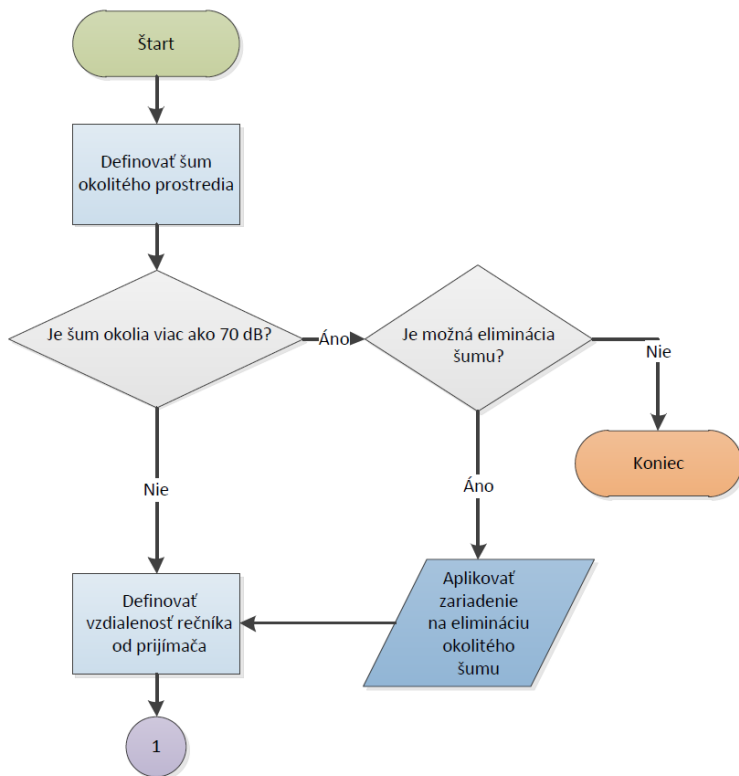
Hlasový povel - UP				
Frekvencia hlasu	155 Hz	272 Hz	422 Hz	801 Hz
Zmena frekvencie	Pravdepodobnosť úspechu (%)			
+15%	26,00	22,00	23,00	33,00
+10%	39,00	46,00	31,00	34,00
+5%	53,00	50,00	57,00	52,00
Originál	65,00	57,00	64,00	58,00
-5%	62,00	54,00	57,00	55,00
-10%	50,00	44,00	39,00	46,00
-15%	23,00	27,00	27,00	29,00

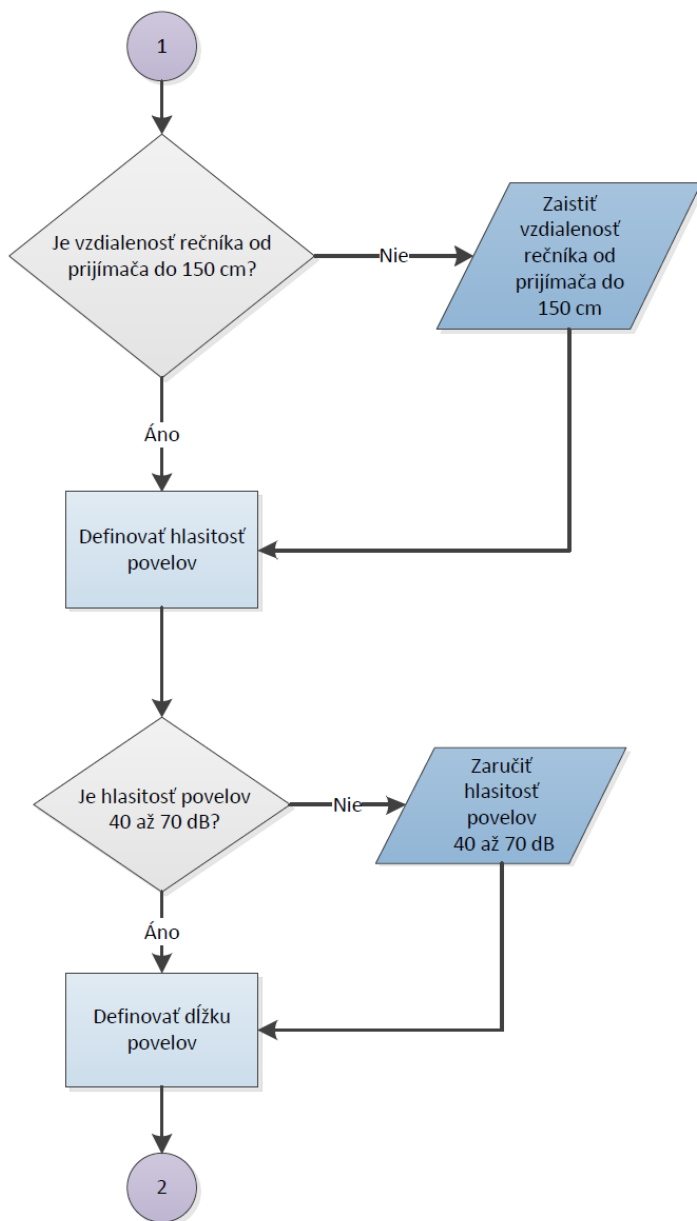
Tabuľka 16 ukazuje dôvod, prečo mal tento výskum zmysel. Hlasový povel Up nemal vyššiu pravdepodobnosť úspechu pri žiadnej zo zmien frekvencie hlasových povelov. Toto je jediný prípad, keď pôvodná frekvencia hlasového príkazu mala najlepšie výsledky pravdepodobnosti úspechu. To znamená, že nie v každom prípade modifikácia a očakávané zlepšenie pravdepodobnosti úspechu hlasových povelov má aj reálny účinok. Ani jedna zo simulácií opäť nedosiahla stopercentnú pravdepodobnosť úspechu, čo však nie je prekvapujúce, pretože hlasový príkaz Up dosiahol v predchádzajúcom výskume najhoršiu pravdepodobnosť úspechu zo všetkých hlasových povelov.

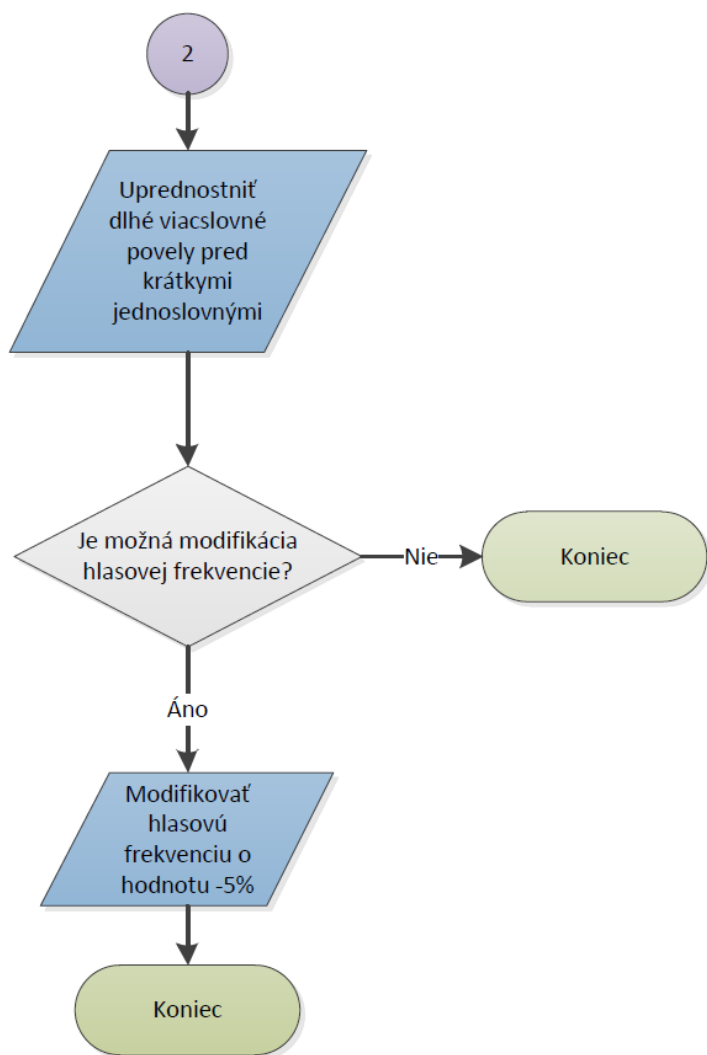
NÁVRH METODIKY PRE VYUŽITIE HLASOVÉHO OVLÁDANIA KOLABORATÍVNYCH ROBOTOV

Hlavným prínosom tejto práce je metodika pre využitie hlasového ovládania kolaboratívnych robotov. Je to všeobecný návrh, ktorý bol vypracovaný na základe dosiahnutých výsledkov z viac ako 26 000 simulácií a experimentov v oblasti hlasového ovládania, za účelom dosiahnúť čo najlepšiu bezpečnosť a spoľahlivosť pri hlasovom ovládaní kolaboratívnych robotov. Na začiatku realizácie hlasového ovládania kolaboratívneho robota je potrebné definovať šum okolitého prostredia, teda hlasitosť šumu. Šum okolitého prostredia predstavuje základ úspešného hlasového ovládania. Ak je šum väčší ako 70 dB, je potreba aplikovať zariadenia na elimináciu okolitého šumu. Ak eliminácia šumu nie je možná, nemá zmysel pokračovať za účelom dosiahnúť najlepšie podmienky hlasového ovládania. Hranica 70 dB bola stanovená na základe experimentov, kde sa ukázalo, že hlasové povely s hlasitosťou nad 70 dB sú vnímané zväčša ako šum prostredia a nie hlasový povel. Následne je potrebné definovať vzdialenosť rečníka od prijímača a hlasitosť povelov. Simulácie ukázali, že pre najlepšiu pravdepodobnosť úspechu hlasových povelov je hodnota vzdialenosti medzi rečníkom a prijímačom do 150 cm a hodnota hlasitosti povelov v rozmedzí 40 až 70 dB. V ďalšom kroku je potrebné uprednostniť dlhé a viacslovné hlasové povely pred krátkymi jednoslovnými. Na záver, ak je to možná modifikácia hlasovej frekvencie o hodnotu -5%, dosiahli sme najlepšiu pravdepodobnosť úspechu pre hlasové ovládanie kolaboratívnych robotov. Ak modifikácia hlasovej frekvencie nie je možná, dosiahli sme veľmi dobré podmienky pravdepodobnosti úspechu pre hlasové ovládanie kolaboratívnych robotov. Určite netreba zabudnúť, že aj pri dodržaní všetkých horeuvedených podmienok sa pravdepodobnosť úspechu pre hlasové ovládanie kolaboratívnych robotov len blíži k hodnote 100%. Celkovo bolo realizovaných viac ako 26 000 simulácií, no ani v jednej sérii simulácií nebola dosiahnutá pravdepodobnosť úspechu 100%. Na

strane 34-36 je znázornený diagram návrhu všeobecnej metodiky pre hlasové ovládanie kolaboratívnych robotov, ktorý vychádza z uskutočnených simulácií a experimentov. Hlasové ovládanie nám môže uľahčiť prácu a zvýšiť komfort pri používaní rôznych zariadení. Pravdepodobnosť jeho úspechu však stále nie je stopercentná.







ZÁVER

Dizertačná práca sa zaoberá rozborom v oblasti verbálneho riadenia a rozpoznávania reči strojov. Práca obsahuje prehľad o experimentoch a výskumoch hlasového riadenia, ktoré boli doposiaľ realizované v robotike. Ďalej je v práci na základe zozbieraných výsledkov z výskumov opísaný experiment, ktorý mal za úlohu zistiť spoľahlivosť prepisu hlasových povelov. Pri prvom experimente bol zistený ako najväčší problém okolitý šum. Na základe týchto zistení bol realizovaný ďalší nadväzujúci experiment, ktorý sa snažil eliminovať hlavný problém hlasového ovládania – okolitý šum. Ďalší výskum mal analyzovať hlasové ovládanie kolaboratívnej robotickej bunky. Dosiahnuté výsledky ukazujú, že kolaboratívna robotická bunka DOBOT Magician veľmi dobre realizuje hlasové povely zložené z niekoľkých slov. Menej úspešné boli hlasové povely pozostávajúce iba z jedného slova, ktoré boli krátke. Nasledujúci experiment skúmal vplyv hlasitosti povelov a vzdialenosti rečníka od prijímača. Simulácie ukázali, že pre najlepšiu pravdepodobnosť úspechu hlasových povelov je hodnota vzdialenosti medzi rečníkom a prijímačom do 150 cm a hodnota hlasitosti povelov v rozmedzí 40 až 70 dB. Ďalší výskum mal overiť vplyv zmeny frekvencie hlasu na pravdepodobnosť úspechu hlasového ovládania kolaboratívnej robotickej bunky. V štyroch z piatich prípadov hlasových povelov sa preukázalo, že zmena frekvencie hlasu znížením frekvencie o 5% a 10% má pozitívny vplyv na pravdepodobnosť úspechu hlasových povelov rovnako. V jedinom prípade pre hlasový povel s najmenšou pôvodnou pravdepodobnosťou úspechu nemala zmena frekvencie hlasového príkazu pozitívny vplyv na pravdepodobnosť úspechu. To znamená, že nie v každom prípade modifikácia a očakávané zlepšenie pravdepodobnosti úspechu hlasových povelov má aj reálny účinok. Stále však platí, že hlasové ovládanie nám môže uľahčiť prácu a zvýšiť komfort pri používaní rôznych zariadení, ale pravdepodobnosť úspechu hlasového povelu stále nie je 100%.