

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

PRÍPRAVA PSYCHOLOGICKÉHO EXPERIMENTU S
ROBOTOM ICUB
BAKALÁRSKA PRÁCA

2021
SABÍNA SAMPOROVÁ

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

PRÍPRAVA PSYCHOLOGICKÉHO EXPERIMENTU S
ROBOTOM ICUB
BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program: Aplikovaná informatika
Študijný odbor: Aplikovaná informatika
Školiace pracovisko: Katedra informatiky
Školiteľ: RNDr. Kristína Malinovská, PhD.

Bratislava, 2021
Sabína Samporová

Obsah

Úvod	1
1 Východiská práce	3
1.1 Teoretické východiská	3
1.1.1 HRI	3
1.1.2 Skúmané vlastnosti	3
1.1.3 Súčasný stav	5
1.2 Technológie	5
1.2.1 iCub	6
1.2.2 YARP	6
1.2.3 YARP name server	6
1.2.4 Simulátor robota iCub - iCubSIM	7
1.2.5 YARP motor GUI	7
1.2.6 Gazebo	7
1.2.7 URDF a SDF modely	8
1.2.8 Modely robota iCub	9
1.2.9 Robotology-superbuild	9
1.2.10 C++	9
1.2.11 wxWidgets	9
1.2.12 HTC Vive	10
1.2.13 OpenVR Headset ROS	10
2 Špecifikácia psychologického experimentu	11
2.1 Formy robota	11
2.1.1 Fyzická	11
2.1.2 Digitálna	11
2.1.3 Virtuálna	11
2.2 Štruktúra experimentu	12
2.3 Ciele experimentu	12
2.3.1 Konfigurácie experimentu	12
2.3.2 Priebeh experimentu	13

2.3.3	Pseodokód experimentu	13
Príloha A		17
Príloha B		19

Zoznam obrázkov

1.1	Robot iCub v simulátore	7
1.2	Robot iCub v Gazebo simulátore	8
2.1	Zobrazenie experimentu	13

Zoznam tabuliek

Kapitola 1

Východiská práce

V tejto kapitole opisujeme stav problematiky v oblasti human-robot interaction do ktorej bude náš experiment prispievať. Teda otázky stelesnenia, formy stelesnenia a prítomnosti umelo inteligentného agenta a vplyvu týchto vlastností na vnímanie robota. Ďalej sú uvedené všetky technológie, ktoré boli v práci, prípadne pri vyvíjaní využité.

1.1 Teoretické východiská

1.1.1 HRI

Human-robot interaction (HRI) alebo aj interakcia človeka a robota je oblasť, ktorá prepája myšlienky a poznatky z niekoľkých disciplín. Či už engineering, informatika, robotika, psychológia, sociológia alebo dizajn, každá z disciplín má v HRI isté zastúpenie. HRI sa venuje štúdiu interakcií a komunikácie človeka a robota.

Rozdielom medzi HRI a robotikou je, že zatiaľ čo robotika sa zaoberá vyvinutím fyzického robota a jeho manipuláciou s fyzickým svetom, HRI sa sústreďuje na spôsoby ako robot interaguje s ľuďmi v tomto svete. [10]

Skúmanie HRI je považované za veľmi dôležité, pretože umelo inteligentní agenti sa stávajú súčasťou našej spoločnosti. HRI sa zameriava na vyvíjanie takých robotov, ktorí sú schopní interagovať s ľuďmi v rôznych každodenných prostrediach.

1.1.2 Skúmané vlastnosti

Stelesnenie

Embodiment, teda stelesnenie robota neznamená, že robot je len počítač na nohách alebo kolesách, teda že má vymodelované telo. Stelesnenie sa týka ako hardvéru, tak aj softvéru, pretože softvér je veľmi dôležitý pri tom, aký dojem urobí robot na ľudí a ako pôsobivo s nimi vie interagovať. Stelesnenie teda kladie fyzické obmedzenia na

možnosti robota vo fyzickom svete a zároveň obmedzenia možností interakcie s ľuďmi v tomto svete.

Ak sa robot fyzicky dostatočne podobá na človeka, je pre ľudí jednoduchšie s ním komunikovať tak ako by to robili s človekom. Potom aj podobne ľahko aplikujú skúsenosti pri medziľudskej interakcii do interakcie s robotom. [10]

O stelesnení môžeme uvažovať v dvoch stavoch. O fyzickom stelesnení a digitálnom stelesnení. Fyzicky stelesnený robot alebo fyzický agent znamená robota ktorý má motory a je zložený z kovových či plastových súčastí. Oproti tomu, digitálne stelesnený robot alebo virtuálny agent označuje animovaný renderovaný objekt vytvorený použitím počítačovej grafiky.

Prítomnosť

Zatiaľ čo stelesnenie nutne ukazuje na agenta a jeho vzťah k okolitému svetu, prítomnosť, teda presence, hovorí o prítomnosti robota vzhľadom k iným ľuďom. V tomto prípade teda vzhľadom k účastníkom experimentu.[11]

Pri prítomnosti opäť rozlišujeme podobné dva stavy. Ide o fyzickú prítomnosť a digitálnu prítomnosť. Fyzická prítomnosť vyžaduje, aby robot a osoba boli vo fyzickej blízkosti, napríklad v rovnakej miestnosti. Fyzickú prítomnosť nazývame aj copresence a fyzicky prítomného robota nazývame copresent robot.

Digitálna prítomnosť označuje, že agent síce nie je vo fyzickej blízkosti človeka, ale je v jeho elektronickej blízkosti. Teda, že človek môže vnímať digitálneho robota a to je mu umožnené nejakým zariadením. Digitálna prítomnosť je označovaná ako telecopresence a digitálne prítomného robota nazývame telepresent robot.

Teda ak je agent v rovnakom fyzickom priestore ako človek, napríklad v rovnakej miestnosti, ide o “copresent” alebo “physically displayed” agenta. Ak je ale premietaný na obrazovke cez live video feed je “telepresent” alebo digitally displayed agentom.

Forma stelesnenia

V našom experimente budeme porovnávať tri formy stelesnenia. Sú to, fyzicky stelesnený robot, digitálne stelesnený robot a virtuálne stelesnený robot.

Fyzicky stelesnený robot označuje robota, ktorý má fyzické telo zložené z fyzických kĺbov pomocou ktorých vie interagovať.

Digitálne stelesnený robot má telo vymodelované v počítačovom programe a zobrazený je na obrazovke počítača.

Virtuálne stelesnený robot má telo vymodelované v 3D simulátore, ktorý umožňuje takýto vymodelovaný obraz zobrazíť pomocou headsetu pre virtuálnu realitu.

Sociálne podnety

Premýšľanie o vnútornom stave človeka s ktorým interagujeme je automatické. Výskumy však preukázali, že pri interakcii človeka s robotom je potrebné aby robot vykazoval isté znaky sociálneho správania na to, aby ho človek vnímal ako konajúceho tvora a veril, že dokáže plánovať, uskutočňovať akcie a myslieť. Ak to chceme dosiahnuť, správanie robota sa musí podobáť na ľudské, čo je spojené nie len s jeho správaním, ale aj s jeho výzorom. Robotovo stelesnenie teda musí mať ľudské črty.

Keď je už robot vnímaný ako konajúca bytosť, stúpa sociálna relevantnosť akcií ktoré vykoná, čo pozitívne ovplyvní jeho postavenie v human-robot interakcii. [14] Pohyb robotových očí, prípadné prirodzené sledovanie očí človeka je jeden zo sociálnych podnetov. Wiese, Weis a Lofaro dokázali, že pri interaktívnej komunikácii ľudia pripisujú robotovmu pohľadu sociálnu relevanciu . [14]

1.1.3 Súčasný stav

Problematika významu fyzickej alebo digitálnej prítomnosti skúmali v tejto práci [11].

Výsledkom niekoľkých desiatok experimentov bolo, že zodpovedali na 3 základné položené otázky. Reagujú ľudia na copresent robota a na telepresent robota rozdielne? Reagujú ľudia na telepresent robota rozdielne ako na simulvaného agenta s veľmi podobným vzhľadom? Reagujú ľudia na copresent robota ako na simulvaného agenta s veľmi podobným vzhľadom a správaním?

Z dát ktoré zozbierali a vyhodnotili vyplýva, väčšina ľudí reaguje priaznivejšie na copresent robota a menej na telepresent robota. Ďalej sa ukázalo, že fyzické stelesnenie nemalo vplyv na účastníckove reakcie. Napokon, väčšina ľudí reaguje priaznivejšie na copresent robota a menej na virtual agenta.[11]

Experiment ktorý vykonáme previedli už v tejto práci. [14] V experimente je fyzicky stelesnený robot, ktorý kýve očami a hlavou do ľavej strany a lampy na oboch stranách. Po robotovom pohybe zasvieti jedna z lúčových a účastník má na zasvietenie čo najrýchlejšie zareagovať stlačením tlačidla na príslušnej strane. Naším cieľom je tento experiment rozšíriť o digitálnu a virtuálnu formu a tým odtestovať, na ktorú formu budú ľudia reagovať najlepšie.

1.2 Technológie

Implementovanie troch foriem robota a vyvíjanie ich prostredia si vyžadovalo množstvo rôznych technológií.

1.2.1 iCub

iCub je humanoidný robot určený predovšetkým na výskumné účely, na návrh a testovanie algoritmov umelej inteligencie ktoré vyžadujú stelesneného robota, ktorý sa podobá človeku. [6] iCub má približne 1 meter, váži 22 kilogramov a svojimi pohybovými schopnosťami sa najviac podobá na tri a pol ročné dieťa. Je vytvorený ako open project, a celý softvér je open source. Vyvinutý bol na Italian Institute of Technology, Genoa. ICub má viac než 50 kĺbov, čo umožňuje vykonávanie veľmi rôznorodých pohybov. 16 kĺbov dokážeme ovládať na pravej ruke, ďalších 16 na ľavej, po 6 na oboch nohách, 6 na hlave a 3 na torze. [1]

Pre náš experiment je dôležité, aby robot pôsobil čo najprirodzenejšie a čo možno najviac sa jeho pohyby podobali ľudským. ICuba sme si vybrali preto, lebo sa podobá na človeka, má schopnosť hýbať hlavou, ale najmä hýbať očami a prípadne žmurkať, čo by mu mohlo dodať ešte o niečo ľudskejšie pôsobenie.

Fyzický robot iCub and jeho softvér je založený na platforme YARP.

1.2.2 YARP

YARP je open-source software tool pre real-time aplikácie, ktoré sú výpočtovo náročné a vyžadujú prístup k rôznorodým a meniacim sa hardvérovým zariadeniam.[12]

Ide o skupinu knižníc, ktoré podporujú modularitu abstrahovaním dvoch najčastejších komplikácií v robotike : modularitu v algoritmoch a modularitu v prístupe k hardvéru. [2]

V našom experimente využijeme najmä druhú vlastnosť, keďže budeme v podstate totožný program využívať na troch rôznych formách robota, pričom samotné jadro kódu, teda pohyby robota bude vo všetkých troch formách rovnaké aj napriek tomu, že sa zmenia hardvérové zariadenia na ktoré sa aplikuje. Takúto abstrakciu vykonáme pomocou YARP name servera.

1.2.3 YARP name server

YARP name server je nástroj ktorý umožňuje zjednodušené využitie YARP knižníc. YARP name server vytvára komunikačné kanály, resp. spojenia medzi pomenovanými entitami. Spojenia sa nazývajú porty. Každý port má unikátne meno, napr. /icub/leg/right. Name server si pamätá spojenie s každým portom. Potom ak vieme meno portu v YARP name serveri, je to jediné, čo potrebujeme na to, aby sme s portom komunikovali. Ak teda pošleme na niektorý port dáta, YARP name server nadviaže namiesto nás spojenie s fyzickým zariadením, prípadne iným resourcom a odošle mu dané informácie v správnom formáte.

Vo všeobecnosti, port môže poslať dáta ľubovoľnému množstvu iných portov A rovnako prijať dáta od ľubovoľného množstva iných portov. Spojenia môžu byť ľubovoľne pridávané a odoberané a tvoria sieť spojení. [2]

1.2.4 Simulátor robota iCub - iCubSIM

Podľa oficiálnej stránky robota iCub [6] v súčasnosti existuje 42 kópií fyzického robota iCub. Pre ľudí ktorí nemajú prístup k fyzickému robotovi, prípadne pre testovanie programu predtým, než ho necháme vykonať samotným robotom existuje Simulátor robota iCub. Simulátor je Open-Source a na komunikáciu využíva, podobne ako samotný iCub, YARP. To znamená, že simulátor aj reálny robot majú rovnaký interface a teda na ovládanie pohybu robota v simulátore vieme použiť rovnaký program ako na ovládanie fyzického robota.



Obr. 1.1: Robot iCub v simulátore

1.2.5 YARP motor GUI

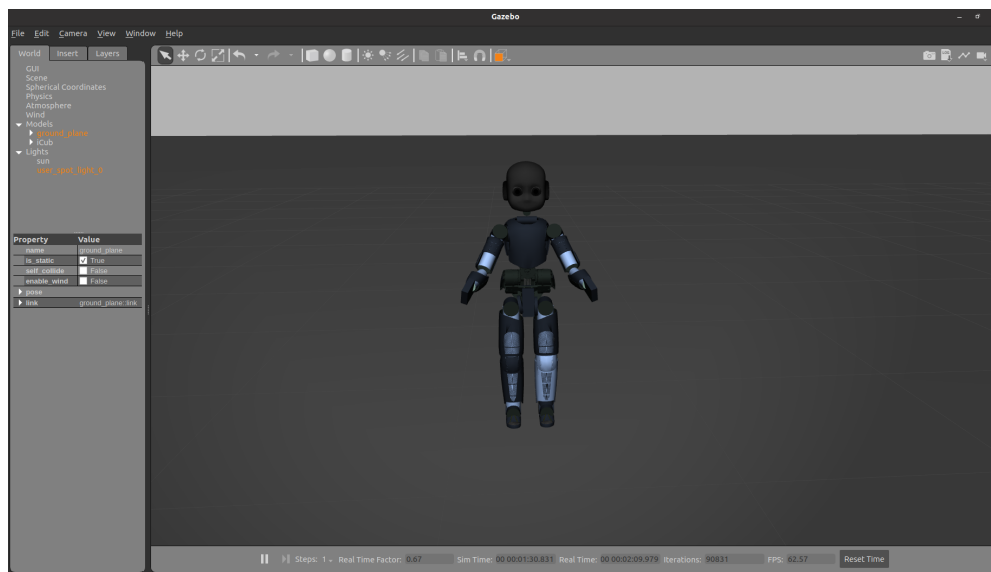
Yarpmotorgui je program určený na ovládanie kĺbov robota, prípadne simulátora prostredníctvom YARP. Ponúka grafické používateľské rozhranie, kde je pre každý stupeň voľnosti každého kĺbu možné dynamicky meniť jeho hodnotu, [13] pričom sa bezprostredne po zmene hodnoty zmena prejaví, napríklad v simulátore a iCub vykoná pohyb.

1.2.6 Gazebo

Gazebo je dynamický 3D simulátor so schopnosťou presne a efektívne simulovať robotov v komplexných prostrediach. Typicky sa využíva na testovanie robotických algoritmov,

prípadne na návrh robotov. Gazebo ponúka niekoľko fyzických enginov, bohatú knižnicu modelov robotov a prostredí, možnosť importovať robota z sdf modelu. [5] Gazebo je možné prepojiť s YARPom, teda robota iCub môžeme v Gazebo simulátore ovládať opäť rovnakým kódom ako v Simulátore iCubSIM a ako fyzického robota.

Gazebo volíme preto, aby sme robota mohli simulovať v 3D prostredí a tak vytvoriť obraz, ktorý sa následne zobrazí pomocou VR headsetu HTC Vive, ktorý použijeme v experimente.



Obr. 1.2: Robot iCub v Gazebo simulátore

1.2.7 URDF a SDF modely

Unified Robotic Description Format (URDF) je XML formát definovaný pre ROS(Robot Operation System) ktorý popisuje všetky komponenty z ktorých sa robot skladá. Pre Gazebo je ale URDF nedostatočný, pretože mu chýba možnosť definovať niektoré vlastnosti, ktoré je v 3D simulátore potrebné definovať. Ide napríklad o polohu robota vrámci sveta v simulátore. Pomocou URDF nie je možné špecifikovať ani iné objekty ktoré sa v Gazebo simulátore môžu vyskytovať. To sú napríklad o svetlá, výškové mapy a podobne.

Ako riešenie prišlo Gazebo s novým formátom, ktorý nazvali Simulation Description Format(SDF). SDF je úplný popis všetkého čo sa v Gazebe vyskytuje. Dá sa ním špecifikovať čokoľvek od popisu sveta až po popis robotov. Je škálovateľný a modifikovanie elementov je jednoduché. Opäť ide o formát xml súborov. [5] Gazebo ponúka konverziu z URDF do SDF.

1.2.8 Modely robota iCub

K dispozícii sú dve dostupné alternatívy iCub URDF a SDF modelov. Staršie modely [3] obsahujú 5 rôznych modelov, z ktorých tri majú dostatočne podrobne vymodelované štruktúry materiálov, na to, aby sme ich mohli v experimente použiť. Zvyšným chýba hlava.

Nové modely [4] síce ponúkajú množstvo rôzne podrobných a upravených modelov, ale žiaden z nich nemá dosť podrobne vymodelované materiály tak aby uveriteľne pripomínal skutočného robota.

Preto v experimente použijem SDF model iCub fixed zo starších modelov. Tento má okrem vernej štruktúry aj pevne zafixované telo, teda v simulátore stojí a pri pohybe hlavy a očí ostáva stabilný.

1.2.9 Robotology-superbuild

Robotology-superbuild je infraštruktúra, ktorá zjednodušuje vývoj a využívanie open source softvéru vyvinutého v Italian Institute of Technology, ako súčasť projektu iCub. [9]

Je to najjednoduchší spôsob ako získať kompatibilné verzie vyššie spomenutých technológií ako je YARP, simulátor robota iCub, Gazebo a ďalšie.

1.2.10 C++

C++ je viacparadigmaticý programovací jazyk vyššej úrovne na všeobecné použitie, ktorý umožňuje pracovať aj s prostriedkami nízkej úrovne. Má statickú typovú kontrolu, podporuje procedurálne programovanie, dátovú abstrakciu, objektovo orientované programovanie, ale aj generické programovanie. [13]

C++ je primárny jazyk na prácu s YARPom, teda aj s fyzickým robotom, Simulátorom robota iCub a Gazebo simulátorom.

1.2.11 wxWidgets

wxWidgets je open source C++ framework umožňujúci písanie cross-platform GUI aplikácií. wxWidgets poskytuje jednoduché ale veľmi univerzálne API, s možnosťou definovať používateľské rozhranie v XML súboroch. Framework je rokmi overený a stabilný. Je dostupný aj pre iné jazyky, ako Python, Perl, Ruby, Haskell, PHP a ďalšie.

Grafické používateľské rozhranie vytvorené v tomto frameworku použijeme pre zjednodušenie ovládania experimentu a odchyťovanie stlačenia klávesy.

1.2.12 HTC Vive

HTC Vive je headset pre virtuálnu realitu vyvíjaný spoločnosťou Valve. Tento headset bol vytváraný na používanie v priestoroch, preto obsahuje dve základné stanice, ktoré sa umiestnia do dvoch rohov miestnosti a vymedzia priestor 3×4 metre. Následne sa používateľ môže v tomto priestore pohybovať a stanice snímajú jeho polohu. K HTC Vive patria aj dva haptické ovládače.

1.2.13 OpenVR Headset ROS

OpenVR Headset ROS je softvér, ktorý poskytuje prepojenie VR headsetu HTC Vive a Gazebo simulátoru a umožňuje zobrazenie simulácie cez VR headset. [8] Využíva OpenVR, API ktoré umožňuje pristupovať k VR hardvéru bez toho aby aplikácia mala špecifické informácie o hardvéri na ktorý cieľi. [7]

Kapitola 2

Špecifikácia psychologického experimentu

Táto kapitola uvádza podrobné informácie o experimente na ktorý použijeme vytvorený softvér. Forma experimentu, ktorý budeme vykonávať nadväzuje na článok [14].

Experiment skúma rýchlosť a správnosť reakcie osoby vzhľadom na to, v akej forme je robot. Budeme skúmať tri rôzne formy - fyzicky stelesnený robot, digitálne stelesnený robot a virtuálne stelesnený robot. Teda pôjde o skutočného fyzického robota, o robota vizualizovaného na obrazovke počítača a o robota vo virtuálnej realite.

2.1 Formy robota

2.1.1 Fyzická

V tejto forme má robot fyzické telo, teda ide o jednu zo 42 doteraz existujúcich fyzických robotov iCub a nachádza sa v rovnakej miestnosti ako účastník experimentu. Súčasťou experimentu budú aj fyzické lampy, ktoré sa budú zapínať a na toto zapnutie bude reagovať účastník stlačením klávesy na klávesnici.

2.1.2 Digitálna

Robot bude pomocou simulvaného prostredia zobrazený na obrazovke počítača. Účastník experimentu bude v miestnosti s obrazovkou na ktorej je iCub, okrem toho sa v miestnosti budú nachádzať aj lampy a na reakciu opäť použijeme klávesy na klávesnici.

2.1.3 Virtuálna

Virtuálna forma bude používať Náhlavný displej (HMD) - zobrazovacie zariadenie, ktoré má malú optiku niekoľko centimetrov pred očami a zobrazuje premietaný obraz

v 3D. Účastník experimentu bude mať nasadený tento Náhlavný displej a pomocou neho sa bude premietat' simulovaný robot iCub. Lampy v tejto forme nebudú fyzické, ale budú súčasťou premietanej scény. Reagovanie účastníka bude opäť pomocou kláves na klávesnici, prípadne pomocou ovládačov pre virtuálnu realitu (hand controllers).

2.2 Štruktúra experimentu

Experiment prebieha tak, že robot vykoná pohyb hlavy a očí buď doprava alebo doľava. Následne zasvieti na jednej zo strán lampa a účastník má po zasvietení čo najrýchlejšie zareagovať stlačením tlačidla pre príslušnú - ľavú alebo pravú stranu. Experiment je založený na porovnávaní reakčného času, t.j. času od zasvietenia lampy po stlačenie klávesy, vzhľadom na jednotlivé formy robota.

2.3 Ciele experimentu

Cieľom experimentu je porovnať, pri ktorej z troch foriem robota bude človek najviac ovplyvňovaný pohybom robota, pričom robot niekedy radí svojim pohybom správne, inokedy nesprávne. Teda ak sa človek nechá ovplyvniť robotom aj keď klamal, predpokladáme, že robotovi verí. Cieľom je teda zistiť, pri ktorej forme robota sa človek nechá najviac ovplyvniť jeho správaním.

2.3.1 Konfigurácie experimentu

Jedna konfigurácia sa skladá z

- označenia strany, na ktorú ukáže robot
- označenia strany, na ktorej zasvieti lampa

V experimente sa vyskytnú 4 rôzne konfigurácie:

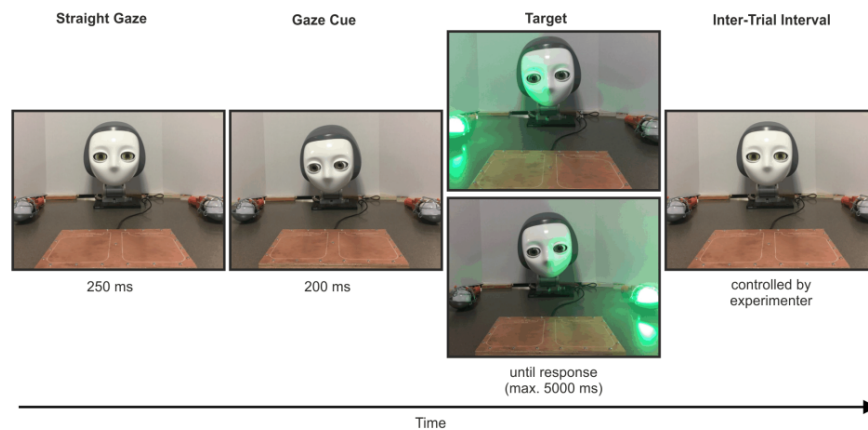
- ukáže vľavo, zasvieti vľavo
- ukáže vpravo, zasvieti vpravo
- ukáže vľavo, zasvieti vpravo
- ukáže vpravo, zasvieti vľavo

2.3.2 Priebeh experimentu

Experiment je zložený z 80 konfigurácií, v týchto je zastúpených 20 z každého vyššie-popísaného druhu. Konfigurácie sú na začiatku usporiadané do náhodného poradia.

Keď je účastník pripravený, stlačí tlačidlo štart, tým sa spustí program robota. Pre každú konfiguráciu robot najprv 250 milisekúnd pozerá priamo, na účastníka. Po tomto čase vykoná pohyb hlavy a očí na príslušnú stranu. Po 200 milisekundách sa rozsvieti lampa na ľavej alebo pravej strane, podľa konfigurácie. Následne sa očakáva odpoveď od účastníka, teda stlačenie ľavého alebo pravého tlačidla. Po odpovedi, prípadne po uplynutí 5000 milisekúnd sa robot vráti do iniciálnej polohy a pokračuje sa nasledujúcou konfiguráciou.

Tento experiment účastník absolvuje vo všetkých troch prostrediach.



Obr. 2.1: Zobrazenie experimentu [14]

2.3.3 Pseodokód experimentu

```
participantNumber = number from std input
configurations [] = array with 20 of each configuration types
```

```
random shuffle configurations
```

```
for confNumber in (0,1, ... 79)
{
    actConf = configurations[confNumber]
```

```
wait 250
move robot head and eyes to actConf.moveSide

wait 200 ms
time0 = current time
light up lamp in actConf.lampSide

waiting for input for 5000 ms
  if std input contains char
    keyPressed = character from std input
    quit waiting
  else
    keyPressed = null

reactionTime = current time - time0

move robot head and eyes to initial position

write (participantNumber, confNumber, actConf.moveSide,
actConf.lampSide, keyPressed, reactionTime) to output file
}
```

Literatúra

- [1] Dokumentácia k robotovi icub. [Citované 2022-9-1] Dostupné z <https://icub-tech-iit.github.io/documentation/>.
- [2] The icub humanoid robot: an open platform for research in embodied cognition. [Citované 2022-9-1] Dostupné z [/www.robotcub.org/misc/papers/08_Metta_Sandini_Vernon_etal.pdf](http://www.robotcub.org/misc/papers/08_Metta_Sandini_Vernon_etal.pdf).
- [3] Modely robota icub. [Citované 2022-9-1] Dostupné z <https://github.com/robotology/icub-gazebo>.
- [4] Nové modely robota icub. [Citované 2022-9-1] Dostupné z <https://github.com/robotology/icub-models>.
- [5] Oficiálna webstránka gazebo simulátora. [Citované 2022-9-1] Dostupné z <https://gazebo-sim.org/>.
- [6] Oficiálna webstránka robota icub. [Citované 2022-9-1] Dostupné z <https://www.iit.it/web/icub>.
- [7] Open vr. [Citované 2022-9-1] Dostupné z <https://github.com/ValveSoftware/openvr>.
- [8] Projekt open headset ros. [Citované 2022-9-1] Dostupné z https://github.com/ConradKent/openvr_headset_ros.
- [9] Robotology superbuid. [Citované 2022-9-1] Dostupné z <https://github.com/robotology/robotology-superbuild>.
- [10] Christoph Bartneck, Tony Belpaeme, Friederike Eyssel, Takayuki Kanda, Merel Keijsers, and S. Sabanovic. *Human-Robot Interaction: An Introduction*. Cambridge University Press, 02 2020.
- [11] Jamy Li. The benefit of being physically present: A survey of experimental works comparing copresent robots, telepresent robots and virtual agents. *International Journal of Human-Computer Studies*, 77, 01 2015.

- [12] V. Tikhanoff, A. Cangelosi, P. Fitzpatrick, G. Metta, L. Natale, and F. Nori. An open-source simulator for cognitive robotics research: The prototype of the icub humanoid robot simulator. In *Proceedings of the 8th Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems*, PerMIS '08, page 57–61, New York, NY, USA, 2008. Association for Computing Machinery.
- [13] Bc. Martin Varga. Emulácia kože v simulátore humanoidného robota icub a autonómna explorácia tela. Master's thesis, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave, 2016. [Citované 2022-9-1] Dostupné z <http://cogsci.fmph.uniba.sk/~farkas/theses/martin.varga.dip16.pdf>.
- [14] Eva Wiese, Patrick P. Weis, and Daniel M. Lofaro. Embodied social robots trigger gaze following in real-time hri. *2018 15th International Conference on Ubiquitous Robots (UR)*, pages 477–482, 2018.