

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Emotivní animatronická hlava

Humanoidní robotická hlava s možností bio mimikrického
napodobení lidských emocí

Bakalářská práce

Autor: Tomáš Kracík
Studijní obor: Informační management

Vedoucí práce: Ing. Karel Mls, PhD.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 29.4.2021



Tomáš Kracík

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlovi Mlsovi, PhD. za metodické vedení práce a uvedení mé bakalářské práce do projektu FimBot. Dále děkuji Tereze Zahradníkové za podporu při tvorbě práce.

Anotace

Cílem práce je vytvoření humanoidní robotické hlavy s bio mimikrickým napodobením lidských emocí s ohledem na kompatibilitu s projektem InMoov, zjištěním úskalí tvorby robotické hlavy za účelem edukace a tvorba expresivní tváře projektu FimBot. V práci je popsán průběh tvorby robota od prvotních nápadů, přes neúspěchy při odlévání silikonové masky po programování ovládacího softwarového vybavení. Práce dále navazuje a popisuje autorem schválený správný postup. Součástí práce je také softwarové vybavení, které dovoluje ovládat robota, včetně text-to-speech engine & articulation-engine, sekvencéru pohybů a komunikačního protokolu pro vzdálenou správu robota. Robotická hlava najde uplatnění v propagaci, vzdělání a v případech, kde by byla lidská práce nebezpečná či repetitivní.

Klíčová slova: animatronika, 3D tisk, silikon, software, robotická hlava, animatronický obličej, emotivní robotika

Annotation

Title: Emotive animatronic head

The aim of the work is to create a humanoid robotic head with a bio mimic imitation of human emotions regarding compatibility with the InMoov project, identifying the pitfalls of creating a robotic head for education purposes and creating an expressive face of the FimBot project. The work describes the process of creating a robot starting from the initial ideas, through failures in silicone mask casting to the programming of control software. The work further follows and describes the correct procedure approved by the author. The work also includes software that allows one to control the robot, including a text-to-speech engine & articulation-engine, a motion sequencer, and a communication protocol for remote robot control. The robotic head finds application in promotion, education and in cases where human work would be dangerous or repetitive.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Metodika zpracování	3
4	Teoretický úvod & literární rešerše	4
4.1	Popis problematiky.....	4
4.1.1	Polidštění umělé inteligence	4
4.1.2	Fenomén Uncanny Valley	4
4.2	Využití emotivních robotů.....	6
4.2.1	Psychologický výzkum	6
4.2.2	Osobní technika.....	7
4.2.3	Zdravotnictví.....	7
4.2.4	Teleprezence.....	7
4.2.5	Cestovní ruch.....	7
4.3	Úzkost z nahrazení robotem.....	8
4.4	Historie problematiky	9
4.4.1	Emotivní robotika ve 21. století	9
4.5	Použité technologie a metody.....	11
4.5.1	Použitý software	11
4.5.2	Použitý hardware	13
4.6	Literární rešerše.....	13
4.6.1	Design of Android type Humanoid Robot Albert HUBO	14
4.6.2	Automatic Replication of Teleoperator Head Movements	14
5	Postup stavby robota autorem	15
5.1	První iterace robota.....	15

5.1.1	Výběr očního mechanismu.....	15
5.1.2	Stavba platformy.....	16
5.1.3	První silikonová maska.....	16
5.1.4	Schopnosti první iterace	17
5.2	Druhá iterace robota	18
5.2.1	První lebka	18
5.2.2	Experiment s polyuretanovou pěnou	19
5.2.3	Experiment s modelářskou hlínou	20
5.2.4	Schopnosti druhé iterace	21
5.3	Třetí iterace robota.....	21
5.3.1	Maska z měkkého silikonu	21
5.3.2	Nová lebka a InMoov-compatible krk.....	22
5.3.3	Poloha interních motorů.....	23
5.4	Software	24
5.4.1	Server-side software	24
5.4.2	Protokol Siphona.....	25
5.4.3	Client-side software (ovladač)	28
6	Doporučený postup stavby.....	30
6.1	Výběr obličeje	30
6.2	Odlévání obličeje a tvorba pozitivní formy	30
6.2.1	Reálný obličej.....	30
6.2.2	Digitální obličej ze sochařského softwaru.....	32
6.3	Tvorba lebky	34
6.3.1	Kroky tvorby lebky	34
6.4	Sestavení mechanismů.....	36
6.4.1	Oči.....	36

6.4.2	Čelist.....	38
6.4.3	Krk.....	39
6.5	Odlévání silikonové tváře	40
6.5.1	Výběr materiálu.....	40
6.5.2	Bezpečnostní a hygienická opatření.....	40
6.5.3	Postup odlévání	40
6.6	Software a mikrokontroler.....	41
6.6.1	Výběr platformy softwaru a hardwaru	41
6.6.2	Přímé připojení k PC	42
6.6.3	Client-server architektura.....	42
6.7	Dokončení práce.....	43
7	Popis produktu & dokumentace.....	44
7.1	Rozpočet.....	44
7.1.1	Spotřební zboží.....	44
7.1.2	Potřebné nástroje	44
7.1.3	Celková cena projektu ve vývoji	45
7.2	Technické informace	46
7.2.1	Softwarové nároky na klientský počítač	46
7.3	Spuštění robota.....	47
7.4	Ovládání robota	47
7.5	Součástky	48
8	Shrnutí výsledků.....	51
9	Závěry a doporučení	52
10	Seznam použité literatury	53
11	Přílohy.....	57

Seznam obrázků

Obr. 1 Křivka Uncanny Valley.....	5
Obr. 2 Recepce hotelu Henn-na s emotivním robotem Actroid	8
Obr. 3 Albert HUBO.....	9
Obr. 4 První iterace s a bez silikonové masky	15
Obr. 5 Porovnání čelistí	16
Obr. 6 Fonémy.....	17
Obr. 7 <i>Zleva doprava</i> První verze lebky, polyuretanový obličej, obličej z Noci vědců	18
Obr. 8 Povrchová úprava hlavy v softwaru Sculptris.....	19
Obr. 9 Hliněná hlava z profilu.....	20
Obr. 10 Třetí iterace robota.....	21
Obr. 11 Druhá a třetí maska	22
Obr. 12 Software veBot Operator	24
Obr. 13 struktura formátu přímého ovládní Siphony	25
Obr. 14 struktura formátu předdefinovaných akcí Siphony	26
Obr. 15 struktura formátu řečové syntézy Siphony	27
Obr. 16 Ikona aplikace a formátu .bsq.....	28
Obr. 17 Výsledný odlitek alginátu	31
Obr. 18 Příklad digitalizovaného modelu hlavy	32
Obr. 19 Pozitivní forma	33
Obr. 20 Příklad lebky	34
Obr. 21 Kotevní otvory	35
Obr. 22 Příklad spojovacích táhel.....	38
Obr. 23 Architektura robota.....	46
Obr. 24 3D model.....	48
Obr. 25 Oční mechanismus	49
Obr. 26 Tvář, kotvy a lebky	49
Obr. 27 Čelist a krk.....	50
Obr. 28 Výsledný produkt bakalářské práce	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 Cenová tabulka spotřebního zboží pro tvorbu jednoho robota	44
Tabulka 2 Cenová tabulka pro potřebné nástroje	44
Tabulka 3 Cenová tabulka všech produktů vývoje.....	45
Tabulka 4 Technické informace	46

1 Úvod

Bakalářskou práci na téma „Emotivní animatronická hlava“ si autor zvolil z důvodu fascinace robotikou, animatronikou a napodobením emocí technikou. Fascinace začínala v autorově dětství, kdy v pořadu Prima Svět 2006 zahlédl poprvé v životě androida Actroid Repliee Q2. Android autora vyděsil, ale také inspiroval.

S prací na vytvoření vlastního androida autor začal již v roce 2011, kdy se pokoušel o animatronickou hlavu z Lega, Merkuru a tří servomotorů. Projekt nikdy nespátřil světlo světa z důvodu nedostatku znalostí a servokontroléru.

Nový projekt animatronické hlavy autor pojmenoval kódovým označením „Max“, produktovým názvem „Apuroid 2H“. Max je bio mimetická, animatronická emotivní hlava, která má schopnost napodobovat lidské emoce, včetně základní imitace body language. V práci autor popsal proces tvorby Maxe, od výběru obličeje, přes dilemata při výběru a odlévání silikonu, po programování obslužného softwaru. Dále autor v práci popsal všechny překážky, na které v tvorbě projektu narazil, jak je vyřešil a ze svých chyb přináší ponaučení pro budoucí stavitele animatroniky.

První otázkou, kterou autor chtěl zodpovědět je vůbec možnost vytvořit animatronickou hlavu jednotlivcem s tím, že bude mít přesvědčivé emoce. Druhou otázkou je cena, za kterou lze robota postavit. Třetí otázka jest čistě praktická, jaký typ silikonu funguje nejlépe pro účel, jaký typ plastu je nejvhodnější a samozřejmě jaký typ servomotorů dokáže obličej rozpohybovat.

2 Cíl práce

Hlavním cílem práce je tvorba kompletní animatronické hlavy, včetně ovládacího softwaru a věrohodného obličejce, a popis procesu její tvorby.

Vedlejším cílem jest zlepšení původních designů, které v průběhu práce postupně vznikaly, např. mechanismus očí, úst a čelisti, teorie kotev, či silikonové masky. Na závěr popis správného postupu.

3 Metodika zpracování

Bakalářská práce se skládá ze tří hlavních částí, a sice z části teoretické, ve které je popsána teorie problematiky, postup tvorby produktu autorem i doporučený popis, jeho poslání a využití. Následně z realizace animatronické hlavy samotné, tedy z 1. části praktické, a z tvorby ovládacího softwaru, hlavního ovládacího skriptu v hlavě a ovládacího programu pro PC, jako 2. části praktické – softwarové.

4 Teoretický úvod & literární rešerše

4.1 Popis problematiky

Autor definuje emotivní robotiku je podobor robotiky, který se zabývá fyzickým i psychologickým navozením dojmu reálných emocí směřovaných od automatického robotického systému k člověku. Jejím úkolem je navázání upřímných a reálných vztahů mezi umělou inteligencí a reálnou inteligencí (člověkem).

Dle doktora Hansona (2007) jsou emoce a řeč těla obrovskou a velmi důležitou součástí mezilidské komunikace. Výsledkem lidštější komunikace automatizovaného systému může být silnější mezilidsko-robotické pouto.

Inženýři robotiky tohoto výsledku dosahují především přiblížením robotického systému ke vzhledu člověka, tedy konstrukcí tzv. animatronického obličeje. Druhým způsobem jest využití nehumanoidních způsobů, např. sklápění uší / antének, či vydávání zvuků (Číslo Pět). Nejčastěji se však s emotivní robotikou, či jejímu přiblížení setkáváme v různých online pomocných botech, tedy autonomních systémech s cílem pomoci člověku v nějaké činnosti. Zde může autonomní systém vyjadřovat emoce i pomocí tzv. emoji znaků, nebo podle teorie barev.

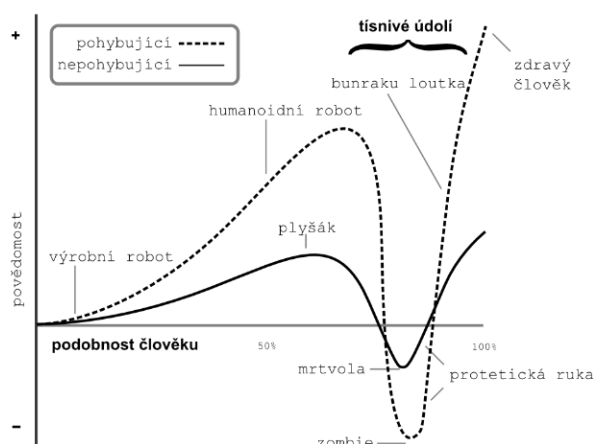
4.1.1 Polidštění umělé inteligence

Dedukcí tedy vyplývá, že umělá inteligence, jež komunikuje s člověkem lidským způsobem (tedy jak v komunikaci samotné – vtipy, výplňová slova, tak vizuálně – řeč těla) předává informace mnohem efektivněji a odstraňuje strach. K tomuto výsledku došli vědci ve studii Loving AI, kde mimo toho studovali možnost vytvoření silnějšího pouta. Jedním z možností navázání silnějšího pouta je tzv. „zrcadlení“, tedy napodobování nepostřehnutelné řeči těla robotem, například poloha hlavy, či emoční rozpoložení. (GOERTZEL et al., 2017)

4.1.2 Fenomén Uncanny Valley

Jedním z největších překážek dalšího rozšíření emotivní robotiky je tzv. Uncanny Valley fenomén neboli fenomén tísnivého údolí. Dle Masahira Mori (1970) je fenomén Uncanny Valley na křivce podobnosti loutky / robota / CGI proti

povědomosti místo, kde je objekt tak podobný člověku, však nedokonale, až spouští ve člověku reakci vyděšení a znechucení.



Obr. 1 Křivka Uncanny Valley.

Zdroj: Smurrayinchester (CC), překlad autor

Jedním z možných vysvětlení je strach ze smrti, či z mrtvol. Masahiro Mori přirovnává statickou tvář robota k mrtvé osobě, jež tvář je bledá a bez života. Dále popisuje zhoršení efektu tísňivého údolí při pohybu, tedy simulace života. (MORI, 1970)

Podobný názor zastává i profesor MacDorman (2006), který k nepříjemnému pocitu ještě připisuje strach z rozložení se na kusy.

Dle Robertse (2012) je fenomén přirozenou obrannou reakcí před nemocným člověkem, robot totiž svou nedokonalostí evokuje v člověku pocit útěku před možnou nákazou.

Teorii nemocného člověka sdílí i autoři Green, Chin-Chang, MacDorman a Vasudevan, kteří myšlenku rozšiřují o přirozené hledání partnera k rozmnožování v robotovi, který však svou nedokonalostí evokuje nedokonalé geny a nemoc. (GREEN et al. 2008)

Fenomén popisuje křivka tísňivého údolí (Obr. 1), kde na ose X se nachází podobnost člověku a na ose Y povědomost či sympatie. Pokud budeme následovat křivku, začneme na nulové podobnosti a sympatie, zde můžeme nalézt naprosto nehumanoidní předměty, jako lednici, či výrobní roboty. Postupem se dostáváme k humanoidním robotům, či jiným humanoidním předmětům, příkladem může být robot Asimo. Podobnost k člověku dále stoupá, ale sympatie prudce klesají do

negativních hodnot. V tomto případě začínáme cítit nepříjemné pocity. Dalším posunem se z údolí dostáváme ven, docházíme ke zdravému člověku.

Fenomén je, i přes kontroverznost, velkým problémem při přibližování člověka k technologiím, jelikož zabraňuje přirozenému navázání vztahů mezi člověkem a robotickým systémem, díky kterému je možné předávat efektivně emotivní zprávy mezi subjekty komunikace. Problémy v komunikaci způsobují také špatně tvořené emoce robotem, které mohou ve člověku neklid ještě zvýšit a efektivitu komunikace úplně zrušit.

4.2 Využití emotivních robotů

4.2.1 Psychologický výzkum

Dle studie univerzity v Pise jsou humanoidní emotivní roboti vhodnější pro lidi na autistickém spektru než roboti nehumanoidní. Jednou z hypotéz studie je, že skoro lidské roboty nemusí být děsivé (tedy nespouští reakci Uncanny Valley) lidem na autistickém spektru (HANSON et al., 2012), další hypotézou je, že roboty se skoro lidským vzhledem, pohyby a interakcemi mohou být zajímaví pro lidi na autistickém spektru (HANSON et al., 2012). Opačný přístup je popsán v práci vedené doktorem Robinsem. Dle Robinse (2005) reagují děti na autistickém spektru pozitivně na nerealistické roboty, v práci pro výzkum využil malou panenku ve dvou verzích, oblečenou a s odkrytými součástkami.

Ve studii univerzity v Pise byl využit plně emotivní robot Hanson Robotics Alice, jež obsahuje 30 bodů volnosti, které pohybují vysoce elastický materiál Frubber, s podobnými vlastnostmi jako živá tkáň. (HANSON a PRIYA, 2007)

Studie také probíhala v Autism Treatment Center v Dallasu, kde byl využit již méně realistický, avšak plně emotivní robot Zeno od Hanson Robokind. Závěrem studie je poznatek, že „lidé pozitivněji reagovali na roboty s větší emoční reakcí než k lidem, zřejmě z důvodu, že roboty jsou předpověditelnější a mechaničtější ve svých emočních simulacích a komunikaci, tedy méně matoucí a zahlcující než lidské stimuly“. (HANSON et al., 2012)

4.2.2 Osobní technika

Emotivní robotika není svázaná pouze s animatronickými hlavami. Autoři Bose, Lu a Ochoa (2019) ve své práci navrhli osobního asistenta, který pomocí ramena a k němu připoutanému mobilnímu telefonu, představuje alternativu k chladným osobním asistentům typu Google Home, či Amazon Alexa. Podobný přístup, jak již bylo uvedeno, můžeme nalézt i v různých komunikačních botech a mobilních AI psychologích, kteří při komunikaci využívají emoji, či barevné tóny.

4.2.3 Zdravotnictví

Z důvodu nedostatku personálu ve zdravotnictví, který se rok od roku zvyšuje, bude emotivní robotika hrát velkou roli v budoucnosti.

Vedle doplnění personálu může emotivní robotika hrát také roli ve zlepšování nálady dětí a seniorů. Autoři Daldien, Goris, Vanderborght, Verrelst, Van Ham a Lefeber (2006) vytvořili návrh „objímatelného robota“ pro hospitalizované děti. Dle autorů je hospitalizace psychicky náročná, zvláště v případech sociálního odloučení. Jako řešení autoři navrhli robota, který emoce simuluje pomocí polohy očí, úst a chobotu a nabízí zábavu, komunikaci (s rodiči, přáteli) teleprezencí a oznamování dětí o nastávajících zákrocích, čím snižuje hladinu stresu přátelským způsobem.

4.2.4 Teleprezence

Schopnost reprodukovat emoce je základním kamenem přesvědčivého teleprezenčního robota. Dle Nishia, Ishigura a Hagity (2007) je teleprezence jedna z možností prezentovat přirozeně se chovajícího robota. Emotivní robotika v oboru teleprezence přináší jedinečný způsob prodloužení lidského těla. Je všeobecně známo, že komunikace přes internet kanály videohovoru, či textu, emailu, jsou méně efektivní než konverzace v reálném světě. Teleprezenční emotivní robotika může tento problém vyřešit.

4.2.5 Cestovní ruch

Emotivní roboti mohou být využiti v několika oborech cestovního ruchu, např. na letištích, jako náhrada chladných automatů a odbavovacích zařízení, nebo v hotelech. Jedním příkladem robotizovaného hotelu je Henn-na Hotel (podivný

hotel / hotel změn) ve městě Kawatana v Japonsku. „Název hotelu má dvojitý význam, podivný a měnící se v japonštině. Jméno tedy poukazuje na skutečnost, že hotel je zaměřen na experimentální a nejmodernější technologie a že se mnoho rysů hotelu může v průběhu let měnit“. (OSAWA, 2017a)



Obr. 2 Recepce hotelu Henn-na s emotivním robotem Actroid

Zdroj: Asahi Shimbun, Getty Images

Příklad robotického hotelu s minimálním množstvím lidských zaměstnanců však vzbuzuje otázku: mohou roboti zastat práci lidí, a tím lidi připravit o zaměstnání? Nebo ještě hůře, mohou emotivní roboti převzít roli milostných partnerů?

4.3 Úzkost z nahrazení robotem

Je pochopitelné, že se někteří lidé mohou obávat nahrazení robotickým automatizovaným systémem, avšak podle Osawy (2017b) roboti nahrazují spíše úlohy než práce (v hotelu Henn-na Hotel), které jsou navíc repetitivní, či člověkem často nevykonány dosti kvalitně a efektivně. Osawa (2017b) dále popisuje nové práce pro zaměstnance na plný úvazek, vesměs se jedná o generalizovanou práci, jako jsou bezprostřední opravy a jiné nepředvídatelné úlohy. Zaměstnanci na částečný úvazek naopak pracují na komplexních úkolech.

Dalším problémem je úzkost z nahrazení sex-botem. Dle Levyho (2007) sex-boti nahradí prostituci a sex s robotem bude normální do roku 2050, své tvrzení vysvětluje možností naprogramování iluze pravého emocionálního spojení, které u prostitutek a prostitutů zpravidla nevzniká.

4.4 Historie problematiky

První plně emotivní komerčně známí roboti schopni různých emotivních výrazů pochází z dílen Walta Disneyho, který tvořil animatronické roboty pro své lunaparky Disneyland. Prvním robotem s možností emotivně se vyjadřovat byl Abraham Lincoln, jenž byl vystaven na mezinárodním veletrhu v New Yorku v roce 1964, poté od roku 1965 byl umístěn v Disneylandu v Kalifornii. (STRODDER, 2017)

4.4.1 Emotivní robotika ve 21. století

4.4.1.1 Hanson Robotics

Jedním z nejvýznamnějších společností na trhu emotivních robotů je Hanson Robotics, jež zakladatelem je doktor David Hanson. Svou činnost zahájila robotem K-Bot, modelovaným po americké umělkyni Kristen Nielsenové. Robot měl 24 bodů volnosti, dokázal simulovat až 28 výrazů tváře a byl prvním robotem, využívajícím materiál Frubber. (CONNOR, 2003)

K-Bota následoval robotický pirát, představený v roce 2004, který svým vzhledem K-Bota připomínal, dále gynoid Eva /2005/, která byla prvním robotem s plně emotivní tváří připevněnou na bipedálním robotovi. (HANSON, 2005)

V roce 2005 Hanson představil také P. K. Dick Android, modelovaný po americkém Sci-fi autorovi Philip K. Dickovi, oblíbenému autorovi Dr. Hansona.



Obr. 3 Albert HUBO

Zdroj: KAIST

Technicky druhým bipedálním chodícím androidem je Albert HUBO. Robot byl vyroben ve spolupráci s KAIST – Korea Advanced Institute of Science and Technology. Jedná se o korejského humanoidního robota HUBO (podobného

japonskému Asimo) s plně emotivní hlavou Alberta Einsteina. Ve své době byl označován jako jediný chodící robot s emotivním obličejem fungujícím z baterií, čehož je docíleno pomocí materiálu Frubber. (OH et al., 2006)

Práce pokračovala na robotovi Jules, jež byl představen na konferenci Wired Nextfest 2006, nyní je využíván Univerzitou západní Anglie v Bristolu. Již zmiňovaná Alice byla v roce 2008 původně vytvořena pro laboratoře MIRA v Ženevě pro studium autismu. (WELLER, 2017)

BINA48 byla vytvořena společností Hanson Robotics pro organizaci Terasem Movement Foundation v roce 2010 jako ukázka možného přenosu lidské mysli a vědomí pomocí tzv. mind files. BINA48 je vytvořena po vzoru Biny Rothblattové, manželky spoluzakladatelky Terasem Movement Foundation, Martine Rothblattové. (RYSSDAL, 2016)

Nejnovějšími emotivními roboty Hanson Robotics je Han /2015/ a světoznámá Sophia /2016/. Sophiina tvář byla inspirována Audrey Hepburn. Je prvním robotem, který získal občanství, poprvé byla aktivována 17. února 2016 (WELLER, 2017). V dnešní době je Sophia obdařena bipedálním lokomočním systémem a slouží mimo jiného i jako edukační platforma.

4.4.1.2 Kokoro Dreams a Hiroshi Ishiguro

Řada robotů Actroid a Geminoid je pod taktovkou profesora Hiroshi Ishigura z Univerzity v Ósace. Jejich výrobce je společnost Kokoro Dreams, dceřiná společnost zabývající se animatronikou známého výrobce Hello Kitty, Sanrio.

Roboti z řady Actroid / Geminoid se vyznačují velmi kvalitní kovovou konstrukcí, poněkud strnulejšími výrazy (hlavně artikulace) a využitím pneumatických aktuátorů, na rozdíl od Hanson Robotics, jež využívá servomotory.

Prvním robotem projektu Actroid byl model ReplieeQ1 a ReplieeR1. Q1 bylo modelováno po mladé japonské ženě, kdežto R1 imitovalo mladou holčičku. Pro výstavu Expo Aichi 2005 byl představen ReplieeQ1-expo. Vysokou popularitu celosvětově získal ReplieeQ2.

Společnost Kokoro začala nabízet v roce 2005 službu robopůjčovny. Pro účel vyvinula tři gynoidy série DER – Dramatic Entertainment Robot, tedy DER /2005/,

DER-2 /2006/ a DER-3 /2008/, DER-2 se objevil i v japonské reklamě. (Kokoro Dreams, 2021)

První robot ze série Geminoid (gemini – dvojče), byl dvojník profesora Hiroshi Ishigura, Geminoid HI-2. Robot slouží jako teleprezenční nástroj a v dnešní době je již ve verzi HI-5. Následující model je Geminoid-F, dvojník mladé japonské ženy. Model F se stal celosvětově známý po několika divadelních vystoupeních, či pěveckých výstupech v obchodních centrech. Existuje i variace Actroid-F, která na rozdíl od Geminoida-F existuje i v mužské variantě. Třetím Geminoidem je Geminoid-DK, dvojník dánského profesora Henrika Schärfe.

Nejnovější Geminoid se jmenuje Erica. Slouží pro studium komunikace mezi člověkem a strojem. (Hiroshi Ishiguro Labs, 2021)

4.5 Použité technologie a metody

4.5.1 Použitý software

Při tvorbě projektu bylo využito mnoha softwarových řešení, technologií a programovacích jazyků.

4.5.1.1 Autodesk Fusion 360

Pro samotný návrh struktur robota autor využil 3D CAD/CAM aplikace Fusion 360 od společnosti Autodesk, která je nabízena Univerzitou Hradec Králové svým studentům zdarma. Aplikace autorovi pomohla v návrhu součástek pro 3D tisk svým intuitivním a snadno osvojitelným prostředím.

Aplikace nabízí 7 módů provozu. Mód Design, ve kterém je možné sestrojovat 3D struktury jednoduchým editorem. Mód Generative Design, nabízející tvorbu několika variant stejného designu pro testování návrhu z hlediska ceny a výkonu. Mód Render, generující realistická média navrhovaného designu. Mód Animation poskytuje možnost tvorby animace využití součástek a jejich interakce snadným timeline-style animátorem. Mód Simulation, pomocí kterého je možno předčasně zachytit problémové části součástky, které by se mohly v budoucnu rozbít, nebo poničit. Mód Fabricate zobrazuje možnosti výroby součástky v profesionálním

prostředí. Poslední mód je Drawing, který umožňuje genezi technických nákresů pro dokumentace. Aplikace nabízí export do STL souboru, jež byl využit pro tisk robota.

Software byl vybrán z důvodu vysoké popularity mezi profesionály, dostupnosti pro studenty UHK, možnosti cloudového uložení návrhů a pro jeho atraktivní uživatelské prostředí, které má rozumnou křivku učení.

4.5.1.2 Visual Studio 2019 Community a Visual Studio Code

Pro tvorbu ovládacího softwaru na klientském počítači bylo vybráno Visual Studio 2019 Community. Aplikace je standardním nástrojem v oboru a je nabízena zdarma společností Microsoft. Podporuje nepřeborné množství typů projektů, rozšíření a programovacích jazyků. Autor software vybral z důvodu dobré znalosti nástroje.

Visual Studio Code byl pro stejné důvody vybrán pro naskriptování ovládacího skriptu na straně serveru. Jedná se o open-source programové vybavení běžící nad frameworkem Electron, který je využit také např. pro komunikační klient Discord, Microsoft Teams, nebo Slack.

4.5.1.3 C#, WPF a .NET

Ovládací software byl napsán v jazyce C# pro .NET s vloženými knihovnami SSH.NET pro SSH konektivitu, Wpf.Themes pro nastýlování aplikace ve stylu Autodesk Maya, ConsoleControl pro zobrazení SSH připojení a další.

Programovací jazyk C# byl vytvořen společností Microsoft v roce 2000. Jeho genetickým předchůdcem je jazyk C++, avšak byl silně ovlivněn jazykem Java a naopak. Jedná se o multiparadigmatický a objektově orientovaný jazyk, který byl představen spolu s první verzí frameworku .NET Framework.

Aplikační rámec .NET Framework nabízí spouštěcí rozhraní a knihovny. Jednou ze součástí .NET je WPF (Windows Presentation Foundation), knihovna pro tvorbu uživatelských rozhraní postavená na značkovacím jazyce XAML, která nahrazuje starší Windows Forms.

Autor technologický balíček vybral kvůli dobré znalosti balíčku, robustnosti jazyka C# a velkému množství rozšiřovacích knihoven.

4.5.1.4 Python 3

Serverový skript byl napsán ve skriptovacím jazyce Python3 s využitím knihovny Adafruit Servo lib. Skript běží na Raspberry Pi OS.

Python je multiparadigmatický nekompilovaný skriptovací jazyk, který v roce 1991 vytvořil Guido van Rossum jako projekt snadného, otevřeného programovacího jazyka, který je vhodný pro každodenní úkony.

Python byl zvolen pro serverový skript z důvodu kompatibility s knihovnou ovladače servomotorů od společnosti Adafruit.

4.5.2 Použitý hardware

4.5.2.1 Ender3

Pro tisk součástek byla vybrána 3D tiskárna Creality Ender3 s rozšířením bed-leveling sensoru. Jako filament posloužil Creality filament, který je certifikovaný pro použití s vybranou 3D tiskárnou.

Tiskárna byla vybrána pro svou příznivou cenu, dobré recenze a dostupnost v době první vlny onemocnění COVID-19.

4.5.2.2 Raspberry Pi 4B

Robot využívá Raspberry Pi 4B jako svůj vnitřní počítač. Počítač má dostatečný výkon pro přijímání Siphona příkazů a odesílání videa. Waveshare RPi FPC kamera s konektorem CSI slouží jako vstupní periferie oka.

Nízká cena, vysoká popularita a rozumné rozměry byly hlavním důvodem výběru Raspberry Pi. Vedlejšími důvody byl integrovaný WiFi modul, kompatibilita s I2C protokolem a možnost běhu operačního systému GNU/Linux.

4.6 Literární řešerše

Literární řešerše slouží k prozkoumání cílové problematiky a blízkých oblastí robotiky a animatroniky. Jako zdroje literárních řešerší byla vybrána webová služba ResearchGate.

4.6.1 Design of Android type Humanoid Robot Albert HUBO

Autoři Oh Jun-ho, David Hanson, Kim Won-Sup, Han Young-Il, Kim Jung-Yup a Park Ill-Woo v článku popisují stavbu „zřejmě prvního chodícího robota s expresivním obličejem“ na počest stého výročí představení teorie relativity doktorem Albertem Einsteinem. Robot Albert HUBO byl sestaven dvěma týmy, tedy korejským týmem KAIST, který vytvořil humanoidního bipedního robota KHR-3 (HUBO) a americkým týmem Hanson Robotics, který pro robota připravil vysoce expresivní tvář s podobiznou doktora Einsteina. V práci autoři popisují dokonalé propojení pokročilých robotických systémů, které je zařízeno nízko proudým řešením materiálu Frubber, díky kterému expresivní obličej Alberta HUBO zkonsumuje méně než 10W, na rozdíl od klasických animatronických systémů, umožňující běh motorů obličeje a plné výrazy tváře z baterie i při pohybu tělesné části robota. Hlavními otázkami projektu byly: kdo bude zvěčněn v robotické podobě a jak se dá spojit tvář a tělo harmonicky. Na první odpověď autoři zodpověděli jednoduše, v roce 2005 bylo výročí teorie relativity a tvář Dr. Einsteina je světoznámá. Druhou otázku autoři zodpověděli díky společnosti Hanson Robotics.

4.6.2 Automatic Replication of Teleoperator Head Movements

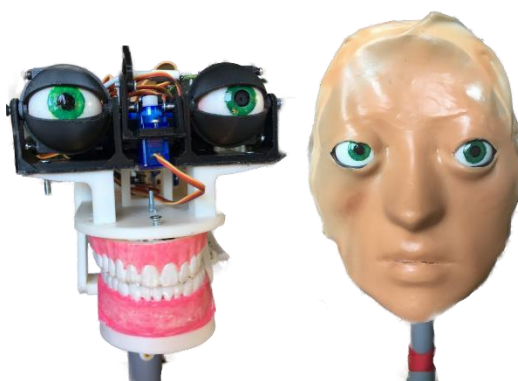
Autoři Jan Ondras, Oya Celiktutan, Evangelos Sariyanidi a Hatice Gunes se článkem snaží dokázat vytvořit teleprezenčního robota s využitím technologie pro rozpoznání obličejových výrazů a náklonu hlavy. Jako robotický konec autoři vybrali robota Nao od SoftBank Robotics, dříve Aldebaran, který emoce vyjadřoval pomocí LED diod okolo očí. Pro zjištění emoce operátora autoři využili umělou inteligenci, která poznala emoci podle tzv. akčních jednotek, tedy míry pohybu svalů na obličeji. Autoři dále sestavili studii s 28 účastníky, kteří ovládali systém jako operátoři a 18 pozorovateli, kteří posuzovali kvalitu vyjádřených emocí robotem.

5 Postup stavby robota autorem

5.1 První iterace robota

První iterace robota, byla zahájena výběrem očního mechanismu a objevila se v pořadu Události v regionech. Hlava se sestávala z plně funkčního mechanismu očí, stojanu z PVC trubky, základní dřevěné báze a základní čelisti.

Robot byl schopen mluvit rapidním otevíráním a uzavíráním čelistí ve třech polohách.



Obr. 4 První iterace s a bez silikonové masky

Zdroj: autor, vlastní zpracování

5.1.1 Výběr očního mechanismu

Na začátku stavby byl vybrán oční mechanismus. Z důvodu nulových zkušeností autora s prací s CAD softwarem, byl pro robota vybrán Creative Commons model od pana Willa Cogleyho na webu Instructables.

Oči byly vybaveny kamerou, uměly mrkat a rozhlížet se. Oční bulvy byly vytisknuty na 3D tiskárně z bílého PLA materiálu, který byl následně obroušen do požadovaného tvaru. První iterace očí měla zelenou duhovku z temperových pigmentů a lesklý povrch byl dosažen pomocí průhledného laku na nehty, jež byl následně obroušen jemným brusným papírem a nalakován znovu.

U očního mechanismu došlo k mnoha chybám. Nejpodstatnější bylo zjištění nekvality použitých motorků, které při delším mrkání přestaly reagovat a začaly cukat.

5.1.2 Stavba platformy

Designová filozofie autora v té době byla tzv. „zevnitř ven“, tedy nejdříve sestavit součástky uvnitř hlavy, následně potáhnout mechanickou část silikonovou maskou. Pokračovala tedy práce na centrální platformě a čelistech.

Pro platformu byl vybrán design autora, který se v průběhu ukázal jako příliš vysoký, tím tvář zbytečně prodlužoval a ta tak ztrácela realistické rysy. Revidovaná verze spodní čelisti již obsahovala integrované zuby. Zdroj vrchních zubů robota je open source 3D-print model zubní náhrady, spodní set zubů pochází ze svobodného 3D modelu reálné lidské lebky, která byla softwarem upravena a extrahována. Po vytištění byly zuby nalakovány lakem na nehty, konkrétně pigmenty Radiant Pink a Pink (světlá růžová), což docílilo realistické variace barev velmi prokrvených mladých dásní.



Obr. 5 Porovnání čelistí

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Upevnění čelisti robota bylo na centrální platformu provedeno zavěšením pomocí kloubů přezdívaných jako „Airpods“. Napojení kloubu táhlem přezdívaným „banán“ na motorové rameno zajišťovalo otevírání a uzavírání úst.

5.1.3 První silikonová maska

Jako model pro první odlitek silikonové masky posloužil 3D model obličeje vygenerovaný aplikací FaceGen3D. Tisk obličeje s nulovou výplní proběhl za použití bílého PLA materiálu Creality. Následně byl zhotoven sádrový odlitek a po vytvrzení byl obroušen a upraven. Lesklého povrchu bylo dosaženo za pomoci laku na dřevo.

Pro první pokus o zhotovení masky byl vybrán silikon Dragon Skin FX od společnosti Smooth-ON zbarvený směsí temperových pigmentů. Výsledná maska byla však silně nedostačující. Ukázalo se, že pro rovnoměrnou distribuci silikonu je

třeba vytvořit i pozitivní formu, protože výsledná maska obličeje nevypadá realisticky kvůli nerovnoměrnému rozložení silikonu.

5.1.4 Schopnosti první iterace

Obličej byl schopen mrkat, rozhlížet se a mluvit. V oku se nacházela kamera, která přes CSI rozhraní komunikovala s ovládacím počítačem Raspberry Pi Zero W, kamerový stream ve formátu MJPEG přijímala kontrolní aplikace v rozlišení 720p, 30FPS.

První iterace dokázala simulovat základní emoce pomocí precizní polohy víček, otevření úst, či polohy očí. Robot simuloval emoce překvapení, kterého bylo dosaženo širokým otevřením očí a úst, a závist, simulovanou přivřením očí.

Přirozené pohyby obličeje, jako mrkání, či rozhlížení se simuloval pomocí generátoru pohybů, který je založen na generátoru náhodných čísel.

Mluvení zajišťoval analyzační algoritmus, který rozložil větu na jednotlivé fonémy a přiřadil ke každému fonému určitou polohu úst (zavřeno, polootevřeno, otevřeno).

```
openMouthPhoneme = new string[]
{
    "a","e","o","a:","e:","o:"
};
closeMouthPhoneme = new string[]
{
    "n","t","d","t̪s","d̪z","s","z","r","l","r̪","ɛ̃","d̪ʒ","f","ʒ","ɲ","c","ʒ","j","ɪ","i:"
};
slightlyOpenMouthPhoneme = new string[]
{
    "m","p","b","f","v","k","g","x","h","u","u:","ou"
};
```

Obr. 6 Fonémy

Zdroj: autor, vlastní zpracování

5.2 Druhá iterace robota

Druhá iterace robota, byla inspirována potřebou lebky, která by sloužila jako podpora silikonové masky. Je také spojována s prvním použitím pozitivní formy. V této iteraci také probíhalo experimentování s polyuretanovou pěnou a jejím spojením se silikonem za účelem tvorby materiálu podobnému kompozitu Frubber™ od Hanson Robotics. Experiment se nezdařil.

Robotická hlava se ve druhé iteraci objevila v Noci Vědců 2020 v sekci FimBot a v aprílovém videu Univerzity Hradec Králové. Zobrazovala zde vylepšenou artikulaci a úsměv.



Obr. 7 Zleva doprava První verze lebky, polyuretanový obličej, obličej z Noci vědců

Zdroj: autor, vlastní zpracování

5.2.1 První lebka

První lebka robota je založena na novém obličejí, svobodném 3D modelu obličejí muže kolem 25 let pro software Sculpttris. Pro tvorbu první pozitivní formy proběhla povrchová úprava sestávající se z vyhlazení povrchu obličejí, odstranění nosu a zvýraznění úst a očí pro dosažení nižší vrstvy silikonu. Ve formátu STL proběhl import modelu do aplikace Autodesk Fusion 360, kde byl vyhlouben, rozdělen a připraven (vyraženo místo pro oči, zubní oblouky).



Obr. 8 Povrchová úprava hlavy v softwaru Sculptris

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Na stávající platformu první iterace byla lebka připevněna poněkud nestabilně šrouby, které, kvůli nulové výplni původní platformy, nedržely pevně. Nadále byly do lebky vyvrtány otvory pro drátková táhla.

5.2.2 Experiment s polyuretanovou pěnou

Autor, inspirován materiálem Frubber™, chtěl docílit lehkého, vzdušného a vysoce pružného materiálu, který by byl roztažitelný slaboproudými servomotory. Rozhodl se smíchat polyuretanovou pěnu Flex Foam-iT se silikonem Dragon Skin FX. Experiment smíchání materiálu způsobil nevytvrzení silikonu a deaktivaci pěnivé reakce polyuretanové pěny. Ukázalo se, že nevytvrzený materiál nelze umýt konvenčními přípravky.

Druhý experiment spočíval v kombinaci tenké vrstvy silikonu a výplně polyuretanové pěny. Autor vylil novou formu, založenou na novém obličejí (zpracovanou stejnou technikou, jako první iterace), silikonem obarveným pigmentem z temper. Po částečném zatuhnutí nalil do formy rozmíchanou polyuretanovou pěnu, do které vložil pozitivní formu (vytisknutou na 3D tiskárně) a z důvodu expanze pěny aplikoval tlak tak, aby zadní plochá část odlitku lícovala se zadní stranou pozitivní formy.

Výsledek byl vysoce neuspokojivý, silikon se s pěnou nespojil, pěna nebyla dostatečně flexibilní. Avšak vysoká pevnost obličejí představila nové způsoby

využití metody, po lehké úpravě by se dal výrobek využít jako statický model obličeje, např. pro figuríny.

5.2.3 Experiment s modelářskou hlínou

Autor, ve frustraci z nekvalitních výsledků vytisknutého nového obličeje a viditelných linek po tisku, zakoupil modelářskou hlínu a rozhodl se obličej vymodelovat. Kus hlíny otiskl do původního sádrového odlitku pro získání obtisku tvaru obličeje a poté nechal den zaschnout. Následně otisk upravil, vyhladil a stvořil hlavu z hlíny.



Obr. 9 Hliněná hlava z profilu

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Hliněná hlava byla, na rozdíl od předchozích odlitků, odlita stomatologickým alginátem. Materiál se ukázal jako nevhodný pro daný use-case, jelikož jeho work-time byl příliš krátký.

Alginátový odlitek byl opatrně sejmuto z hlavy a zafixován sádrou, dále (z důvodu charakteristiky alginátu) bylo třeba vysušit přebytečnou vodu akumulovanou na dně odlitku. Odlitek byl vyplněn silikonem Dragon Skin FX, obarvený pigmentem SmoothON Flesh Tone, který zanechal velmi přesvědčivý tón pleti kavkazského typu.

Výsledný odlitek se ukázal být vysoce přesvědčivý, bohužel z důvodu nedostatku materiálu mu chyběly uši. Ukázalo se také, že použitý silikon je příliš tuhý, a tudíž nevhodný pro pohybový systém tvořený soustavou táhel a kotev poháněný slabými motorky.

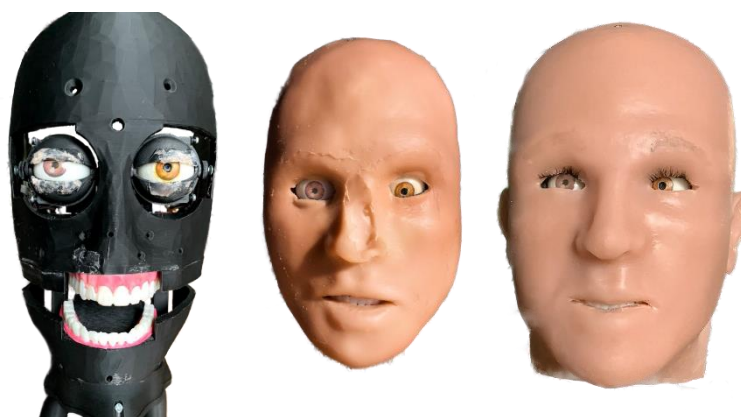
5.2.4 Schopnosti druhé iterace

Robotická hlava získala schopnost artikulace a úsměvu. Nové výrazy emocí byly zprostředkovány pomocí technologie kotev. Plastová kotva je vložena dovnitř silikonové kůže a spojena se servomotorem pomocí tažného materiálu.

Pro zajištění nových schopností získala ovládací aplikace a skript aktualizaci v oboru syntézy řeči. Výslovnost fonémů pomocí otočení pák motorů zachytila nová tabulka, jež je uvedena jako první příloha této práce.

5.3 Třetí iterace robota

Práce na třetí iteraci robota začala krátce po prezentaci druhé iterace na Noci vědců. Robot byl vytvořen zcela od znova. Lebka byla přetvořena tak, aby se uvnitř nacházela podporující platforma pro kompletně přepracovaný mechanismus očí, tvořený tentokrát autorem samotným, dále platformy podporují integraci servomotorů pro jemnou motoriku obličeje.



Obr. 10 Třetí iterace robota

Zdroj: autor, vlastní zpracování

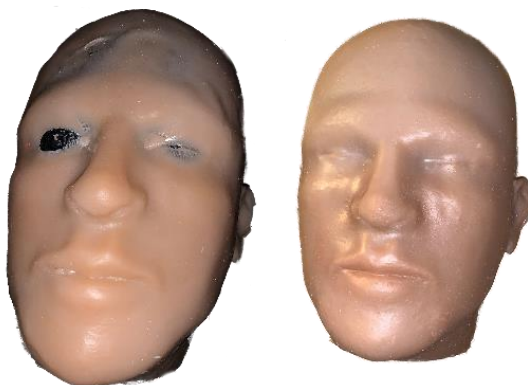
Nový oční mechanismus obsahuje pryskyřicové oči, kompletně přepracovaný systém střední lodičky pro vertikální pohyb očí, podporu stávajících víček a novou kameru s delším kabelem, což dovoluje montáž interního počítače na zadní stranu krčního mechanismu, zlepšující vnitřní rozpoložení hýbajících se komponent.

5.3.1 Masky z měkkého silikonu

Po mnoha neúspěších s tvrdším Dragon Skin FX silikonem, tvorbou materiálu podobného Frubberu™ a změkčováním silikonu pomocí roztoku Silicone Thinner, se autor rozhodl využít měkký silikon s nižší viskozitou Ecoflex 00-20 od stejného

výrobce, Smooth-ON. Inspirací výběru materiálu byla robotická divize Disney, která jako povrchový materiál využívá měkčený silikon. (BICKEL et al., 2012)

Silikon se osvědčil jako perfektní materiál pro animatronické využití. Jeho viskozita dovoluje přirozenější pohyby, které jsou proveditelné slabšími servomotory a kůže vypadá realističtěji než u Dragon Skin FX.



Obr. 11 Druhá a třetí maska

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Jedinou velkou nevýhodou materiálu je velmi dlouhá doba tuhnutí, kvůli které se odlitek masky povedl až na potřetí. Nedokonalost prvního odlitku byla absence nosu a uší, druhý odlitek trpěl příliš tenkými stěnami. Třetí odlitek se povedl v určitých mezích, jedinou velkou nedokonalostí byla příliš silná vrstva silikonu, způsobující omezenou artikulaci a nepřesvědčivé emoční vyjádření. Tento problém byl vyřešen instalací výkonnějších motorků MG995 a silnějšího tažného materiálu, který se nepřetrhne tak snadno (lze využít například struny, či více kusů rybářského vlasce).

Menší nevýhodou jest několikadenní doba úplného vytvrzení. Silikon po „demouldingu“ působí ulepeným dojmem. Tento problém lze vyřešit nanesením pudru nebo zajištěním dostatečného času pro dokonalé vytvrzení.

5.3.2 Nová lebka a InMoov-compatible krk

Nová lebka, jak již bylo řečeno, obsahuje centrální platformy. Vrchní platforma se prodlužuje daleko za konec lebky a poskytuje tak opěrné místo nového krčního mechanismu, který je kompatibilní s projektem InMoov od Gaela Langevina. Pro

plnou kompatibilitu byl vybrán model druhé iterace krčního mechanismu, který byl upraven tvorbou podpůrných sloupců.

Vrchní platformu se spodní čelistí spojuje, již zmiňovaná, struktura přezdívaná „Airpods“ (kvůli podobnosti s bezdrátovými sluchátky společnosti Apple), tedy čelistní klouby, které robot využívá již od první iterace. Otevírání a zavírání úst je zařízeno dlouhým táhlem, které je napojeno na servomotor umístěný na zadní straně krku, vyvolávající otevření úst. Následné uzavření způsobuje pružnost silikonu, je tedy automatické.

Otáčení krku je zprostředkováno servomotorem napojeným na ozubená kola dlouhým válcem. Z důvodu tíhy hlavy je pro krční pohon vybrán servomotor MG995, který je využitý i pro pohyb koutků úst.

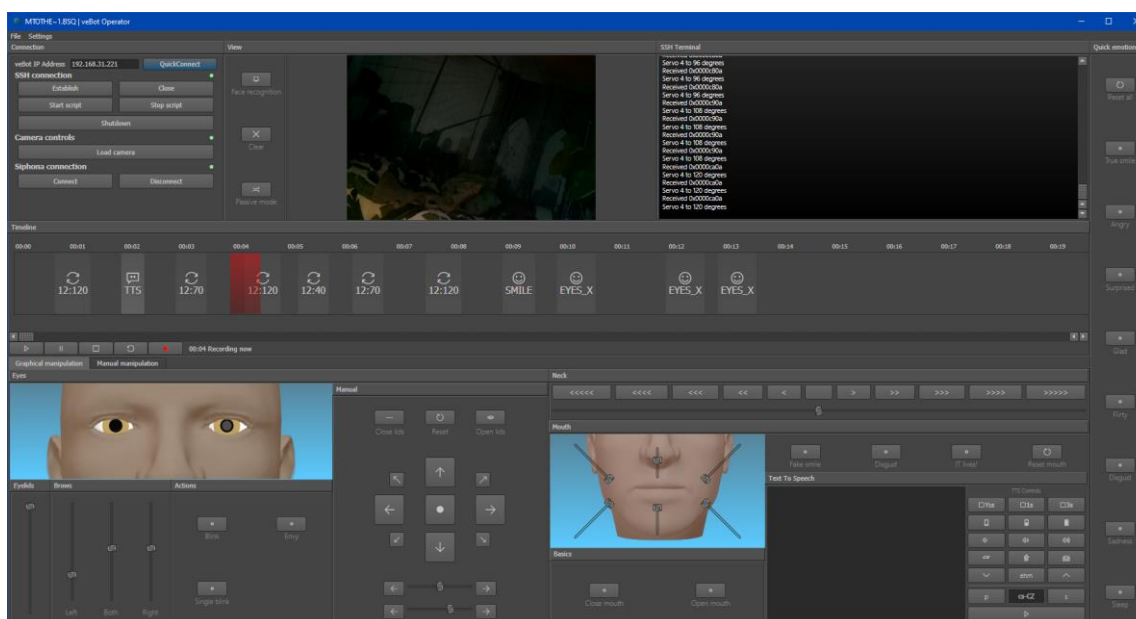
5.3.3 Poloha interních motorů

Interní platformy mají speciálně rozpoložené otvory pro servomotory, které ovládají jemnou motoriku kolem úst. Vrchní platforma obsahuje otvory dva, jeden obsazený slabším motorem, ovládající vrchní ret, dále čtyři věžovité struktury podporující oční mechanismus, které v raných fázích vývoje objímaly dva servomotory, ovládající koutky úst nahoru. Náhradní silnější servomotory MG995 byly instalovány na podpůrné sloupce a křídla, která jsou připevněna ke koncové části vrchní platformy.

Spodní platforma má otvory tři, jež obsahují servomotory ovládající spodní ret a koutky úst dolů. Další dva servomotory jsou situovány na vrchu lebky, zajišťující pohyb obočí.

5.4 Software

Ovládací software je nedílnou součástí robotického systému. Umožňuje efektivně, správně a precizně ovládat servomotorové aktuátory, sbírat data z okolního prostředí pomocí perceptorů (např. kamer, dotykových senzorů, také servomotorů se zjišťováním otočení), komunikovat korektně mezi robotem a ovládacím počítačem, řadit akce do sekvencí a poskytnout přátelský most mezi operátorem a složitou masou robota.



Obr. 12 Software veBot Operator

Zdroj: autor, vlastní zpracování

5.4.1 Server-side software

Software, který běží v počítači robota, tedy serveru, je naprogramovaný ve vysokoúrovňovém skriptovacím jazyku Python, prostředí, které je zprostředkováno operačním systémem Raspberry Pi OS (dříve Raspbian), který je založen na GNU/Linuxové distribuci Debian. Ovládací skript vyžaduje Python třetí verze.

Ovládací skript je rozdělen na dvě verze, Legacy/Experimental script, tedy skript, který existuje pro experimentační účely a byl využit jako první. Pro standardní využívání robota není používán. Dále na tzv. Siphona script, interpret doménově specifického protokolu Siphona, který pro tento problém byl vytvořený autorem. Protokol zprostředkovává komunikaci s ovládacím počítačem skrz binární

zprávy přes protokol transportní vrstvy TCP (jako možné rozšíření lze využít i UDP). Důvod tvorby protokolu Siphona je úspornost zpráv Siphony a absence otevřených standardů požadovaného typu.

5.4.2 Protokol Siphona

Protokol Siphona je komunikační protokol postavený nad protokolem TCP s přípravou pro podporu UDP, stvořený pro komunikaci klientského ovládacího softwaru a serverového skriptu. Protokol byl vytvořen kvůli špatné zkušenosti autora při odesílání několika příkazů v datovém formátu String přes Wi-Fi ve velmi rychlém tempu (např. při mluvení robota), příkazy svou objemností zahlcovaly skript.

Název protokolu pochází z latinského označení rodu malých mušek kuklic, tedy sifon. Stejně jako mušky létají velmi malé pakety protokolu Siphona vzduchem. Na rozdíl od mušek, pakety přenášejí příkazy.

Pakety protokolu samotného (pokud vynecháme informace pro chod TCP/UDP), obsahují hlavičku a tělo. V hlavičce (4 bity) se nachází tři pole, paritní bit (sudá parita), bit asynchronicity (připraveno pro určení, zdali se instrukce přijatá systémem vykoná hned v okamžiku příjmu, či pokud se vloží do fronty. Bit není implementován z důvodu nepotřebnosti synchronního ovládání) a označení formátu těla, tedy způsob další interpretace přijaté zprávy. Tělo paketu (12 bitů) obsahuje samotnou instrukci pro robotický systém.

5.4.2.1 Formát přímého ovládání (0b01)

Pro plnohodnotné ovládání až 16ti motorů slouží formát přímého ovládání (Direct Control). Paket je dvoubytový (WORD), jeho tělo se dělí na dvě části. První část (4 bity) je selektor servomotoru pro ovládání. Druhá část (8 bitů) je stupeň otočení daného servomotoru.



Obr. 13 struktura formátu přímého ovládání Siphony

Zdroj: autor, vlastní zpracování

V klientském ovládacím programu se, po zavolání funkce *MoveServo(int servoNum, int servoDegree, bool asnc)* nejdříve zkontroluje, zdali bylo vybrané servo, které existuje (tedy mezi 0 a 15), dále se validuje stupeň otočení (0 až 180 stupňů). Pokud je vše v pořádku, začne se konstruovat paket. Obě hodnoty se pomocí vestavěné funkce *Convert.ToByte* převedou na datový typ byte. Dále se vytvoří hlavička. Pomocí bitwise operátorů se operací OR sloučí hlavička a 4 bity selektoru serva. Vrchní byte se pomocí bitwise shiftu posune o osm míst dopředu a sloučením OR operací je WORD připraven pro kontrolu parity.

WORD se sečte, zjistí se sudost/lichost a výsledek se, jako boolean zapíše do prvního bitu WORDu. Zpráva se pomocí UDP/TCP protokolu přenesse do robota pomocí WLAN.

Server skript zprávu přijme, zkontroluje paritu, extrahuje označení a zavolá funkci *directControl(bytes)*. Funkce extrahuje potřebné informace a posune servomotory.

5.4.2.2 Formát předdefinovaných akcí (0b00)

Formát předdefinovaných akcí vznikl z několika důvodů, především z vyššího výkonu lokálně prováděných akcí, snazšího provedení složitějších akcí (akcí vyžadujících mnohem více instrukcí, např. mrkání, automatický režim, komplexní emoce apod.), akcí nezahrnující ovládání servomotorů (např. nastavení easingu, získání otočení motoru apod.) a předávání k instrukcím i atributy.



Obr. 14 struktura formátu předdefinovaných akcí Siphony

Zdroj: autor, vlastní zpracování

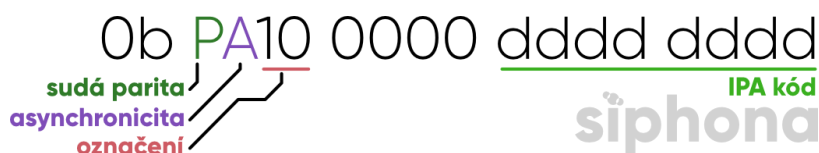
Paket je, stejně jako předchozí, dvoubytový. Sestává se z kódu akce (8 bitů) a z intenzity/atributu dané akce (4 bity). Intenzita může robotovi předat informaci frakční úpravy vyjádření dané informace, tedy robot se může usmívat jen lehce, či se může nepříjemně šklebit. Pomocí intenzity se drasticky sníží počet ne-dependentních akcí (místo LOOKUP, LOOKDOWN, LOOKCENTER stačí mít jednu funkci EYES_Y, kde intenzita akce se přepočítá na stupeň otočení servomotoru, přispívající k zapouzdření systému).

Klientská aplikace obsahuje enum (výčtový typ) všech akcí, které robotický systém nabízí v binárním formátu, enum je přiložen k práci jako Příloha 2. Pro zavolání akce je využita funkce *SendAction(PredefinedActions action, int strength, bool asnc)*, která zkontroluje rozsah intenzity (*strength*), následně ji převede do 4 bitového formátu frakčním přepočtem, vytvoří hlavičku, kterou bitwise OR operátorem sloučí s 4mi bity intenzity. O 8 míst jest první byte posunut výše a sloučen s bytem korespondujícím k dané *PredefinedActions* z enumu. WORD je sečten, zkontrolován na sudost/lichost a paritní bit je přidán na začátek. Paket je přenesen přes bezdrátovou síť do robota.

Robot paket přijme, zkontroluje paritu, extrahuje označení a zavolá funkci *actions(bytes)*. Funkce podle přijatého kódu akce zavolá příslušnou funkci a případně předá intenzitu. Daná funkce si intenzitu upraví podle své potřeby frakčním přepočítáním.

5.4.2.3 Formát řečové syntézy provedené v klientu

Vzdálené předávání fonémů řeči u robotů vyžaduje přenos obrovského množství informací. Pro každý vyslovený foném je potřeba ovládat 7 servomotorů okolo úst tak, aby robotická artikulace vypadala co nejpřirozeněji. Přístup přímého ovládání je nepřípustná, jelikož by docházelo k mnoha kolizím paketů.



Obr. 15 struktura formátu řečové syntézy Siphony

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Pro vyřešení tohoto problému stačí odeslat pouhé číselné označení hlásky IPA, robot dále ví, jak daný foném artikulovat. Interní skript si udržuje tabulku různých úhlů servomotorů pro nasimulování vyslovení jednotlivých fonémů.

Klientská aplikace po stisknutí tlačítka syntézy řeči větu rozdělí na fonémy a v průběhu vyslovování odesílá pakety s následujícím vysloveným fonémem (kvůli latenci bezdrátové sítě a zpracování požadavku je odesílán další foném). Aplikace zároveň kontroluje, zdali se jedná o foném, který je třeba vyslovit s otevřenými čelistmi, pokud ano, odešle také příkaz pro otevření úst.

Paket se připraví stejným způsobem, jako u předchozích formátů, tělo má však pouze jeden byte, který koresponduje k IPA znaku a jeho výslovnosti.

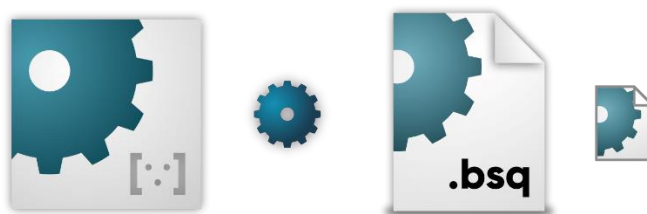
5.4.3 Client-side software (ovladač)

Hlavní úlohou klientského softwaru je zprostředkování přátelského uživatelského rozhraní mezi komplikovaným robotickým systémem a uživatelem. Ovládací program robota v sobě kombinuje mnoho funkcí. Vedle obyčejného ovládání motorů dokáže i přijímat video stream, ve kterém dokáže pomocí externí knihovny FaceRecognitionDotNet od autora Takuya Takeuchi experimentálně rozpoznat obličej, plná funkce rozpoznávání obličejů je možný návrh budoucího rozšíření.

Ovládací aplikace byla napsána v jazyce C# .NET. Pro své GUI využívá WPF, tedy XAML-based uživatelské prostředí.

Okno aplikace je rozděleno na tři vertikálně oddělené části. První část obsahuje hlavní ovládací a připojovací prvky, kamerový výstup kamery v oku a SSH konzoli. Obsahuje tlačítka pro navázání připojení ke vzdálené konzoli pomocí protokolu SSH (které je viditelné v druhém sloupci druhé části), pro navázání připojení MJPEG streamu, pro spuštění ovládacího skriptu v robotovi, či pro vypnutí robota (příkazem *sudo shutdown now*). Speciálním tlačítkem je QuickConnect, díky kterému se provede připojení a nastavení automaticky.

Druhá část obsahuje časovou osu pro tvorbu scénářů. Scénář se tvoří stisknutím tlačítka nahrávání a následným postupným stlačováním tlačítek akce. Scénář lze poté přehrát a uložit ve formátu .bsq (veBot Sequence). Časová osa obsahuje snímky zadané akce.



Obr. 16 Ikona aplikace a formátu .bsq

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Třetí část obsahuje ovládací prostředí. Dělí se na dvě záložky. První záložka je dedikována pro ovládání robota dle jednoduchých akcí, např. ovládání očí, úst, mluvení apod. Druhá záložka slouží k ovládání motorků manuálně. Celé prostředí má postranní panel s rychlým výběrem nejčastějších předdefinovaných emocí.

6 Doporučený postup stavby

Postup stavby projektu popisuje zkušenosti autora, včetně chyb a neúspěchů tak, aby se mohl možný budoucí stavitel poučit a těchto chyb se vyvarovat.

6.1 Výběr obličeje

Prvním krokem při tvorbě projektu animatronické hlavy je vizualizace její výsledné podoby, tedy stanovení základních charakteristik vzhledu modelu, jako je pohlaví, věk, rasa a tvar hlavy.

Ideálním způsobem vytvoření modelu je použití 3D modelářského softwaru, či pořízením 3D scanu reálné lidské hlavy. 3D model nám pomůže při tvorbě lebky a pozitivní formy.

Při tvorbě modelu musíme nejprve změřit obvod hlavy, šířku kořene nosu, vzdálenost rohovek, výšku obličeje a jeho šířku. Pokud pracujeme s digitálním obličejem, tento krok provedeme v digitálním prostředí. Pracujeme-li s oscanovaným obličejem, pomůže nám výtisk na 3D tiskárně.

6.2 Odlévání obličeje a tvorba pozitivní formy

6.2.1 Reálný obličej

Pro zhotovení odlitku reálného obličeje existuje několik způsobů, mezi které řadíme i použití sádry nebo alginátu. Pro zhotovení odlitku za pomoci sádry je potřeba velké množství vazelíny a osoby, která má velmi vysoký práh bolesti a nevádí jí vysoká pravděpodobnost ztráty obočí, či vousů. Z tohoto důvodu použil autor mnohem šetrnější odlévací materiál, a to alginát.

6.2.1.1 Postup odlévání alginátem

V přípravné fázi pro tvorbu odlitku za pomoci alginátu provedeme důkladné očištění a odmaštění obličeje. Pokud má vybraná osoba vlasy, zakryjeme je nejlépe pomocí tzv. bald cap, což je velmi tenká silikonová pokrývka hlavy simulující pleš. Výhodou této pokrývky je dokonalé překrytí vlasu bez nežádoucích záhybů a přechodů. Bald cap lze nahradit koupací nebo plaveckou čepicí, eventuálně pevným ovázáním hlavy potravinářskou fólií. Pro lepší sejmutí zhotovené masky nanese

na obličej tenkou vrstvou vazelíny, či jiného šetrného maziva. Obzvláště důležité je důkladné nanesení vazelíny na oblast obočí, vousů a řas. Následuje fáze odlévání.

Zprvu byl na odlitek použit dentální alginát, který je používán ve stomatologii při zhotovování zubních otisků. Avšak jeho velkou nevýhodou je rychlé tvrdnutí, proto autor doporučuje speciální alginát pro odlévání Alja Safe od společnosti Smooth-ON, který je přímo určen pro odlévání obličejů a jiných částí těla. Tento alginát navíc neobsahuje člověku nebezpečné látky.

Alginát připravíme dle návodu. Kvůli poměrně rychlému tvrdnutí materiálu je vhodné alginát připravovat po menších částech a urychleně aplikovat na celou přední polovinu hlavy. V oblasti obličeje musíme v průběhu nanášení dbát na důkladné vyplnění všech prohlubní, kromě dýchacích otvorů – nosu. Během aplikace kontrolujeme dýchání a psychický stav odlévané osoby. Proces může u klaustrofobiků spustit stav úzkosti.



Obr. 17 Výsledný odlitek alginátu

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Po zatuhnutí alginátu si připravíme sádrové obvazy. Obvazy namáčíme do sádry a nanášíme na alginátem pokrytý obličej. Obvazů je potřeba nanést dostatečné množství, budou sloužit jako držák negativní formy.

Po zaschnutí sádrových obvazů celou masku sundáme a následně sejmemе i alginát z obličeje. Alginátový otisk je tvarově nestabilní, proto jej uložíme do sádrové masky. Pro lepší manipulaci a zpevnění můžeme sádrovou masku ponořit do nádoby s rozmíchanou sádrou, a tím vytvoříme formu, připravenou pro další použití.

6.2.1.2 Úpravy odlitku

U odlitku reálné lidské hlavy se mohou vyskytnout různé nedokonalosti. Tyto nedokonalosti se dají upravit na finálním silikonovém odlitku, ale výsledek nebývá uspokojivý.

Vhodnějším způsobem je zhotovení sádrového odlitku, který můžeme upravovat a docílit tak požadované podoby pro další silikonový odlitek.

Mezi úpravy odlitku můžeme řadit změnu výrazu (při otisku se může osoba mračit), vymodelování lepších nosních dírek, či otevření očí.

Alternativně lze pro úpravy použít i modelářskou hlínu, která nám dává větší prostor ke kreativě, ale nevýhodou je praskání při vysychání materiálu.

6.2.2 Digitální obličej ze sochařského softwaru

Tvorba pozitivní i negativní formy je snadnější, pokud máme k dispozici 3D model hlavy. Takový model se dá importovat do sochařského softwaru a zde dále upravovat.



Obr. 18 Příklad digitalizovaného modelu hlavy

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Postup získání digitálního obličej se podobá odlévání toho reálného. Prvním krokem je zhotovení výtisku 3D hlavy na 3D tiskárně. Vytisknutý produkt je nutné obrousit nebo jinak vyhladit, aby na výsledné masce nebyly vidět rýhy vniklé při tisku. U tiskového materiálu ABS lze využít k vyhlazení rýh výpary acetonu, u častěji

používaného materiálu PLA používáme dvousložkovou pryskyřici. Takto vytvořený obličej je připravený pro nanesení alginátu. Při použití sádry samotné by byl při demouldingu výtisk znehodnocen.

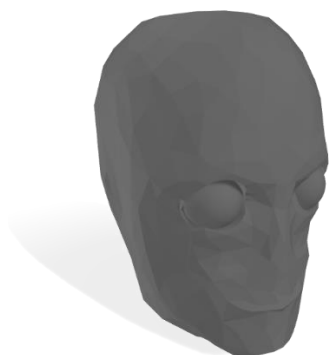
Výhodou digitálního obličej je mnohem snadnější proces odlévání, kdy se nemusíme starat o psychické a fyzické zdraví odlévané osoby a odlitek se většinou podaří zhotovit napoprvé. Nevýhodou je nižší uvěřitelnost a podobnost realitě a časová náročnost tisku 3D hlavy.

6.2.2.1 Tvorba pozitivní formy

Pro správné a rovnoměrné rozmístění silikonu potřebujeme vytvořit k formě negativní také formu pozitivní. Předpokladem pro úspěšné zhotovení formy jsou kvalitní modelářská hlína, důsledné dodržení technologických postupů a v neposlední řadě šikvné ruce modelujícího. Pozitivní forma musí být menší než hlava samotná. Tento úkon je velmi náročný, protože forma musí být matematicky přesná.

Efektivnějším řešením je 3D sken hlavy osoby. Celý model musíme zmenšit tak, aby tloušťka silikonu odpovídala požadované tloušťce, tedy max. 9 mm.

V případě potřeby formu následně upravujeme, například odkrojením části, která na určitých místech způsobuje nežádoucí tloušťku silikonu. Úpravou tedy myslíme různé modifikace obličej. Během úpravy můžeme také na pozitivní formu přidat tzv. pozitivní anchory, tedy ostré výstupky, pomocí kterých je silikonová maska připevněna na finální lebce, alternativně lze masku k lebce přišroubovat / přilepit.

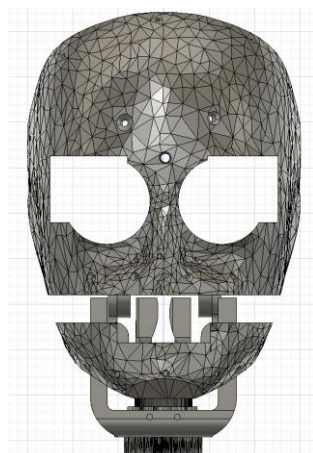


Obr. 19 Pozitivní forma
Zdroj: autor, vlastní zpracování

Pokud známe charakteristiku silikonu, můžeme pozitivní formu vytvořit tak, aby v jednotlivých částech obličeje byla vrstva silikonu tenčí, či naopak. Tato změna v tuhosti nám umožní lepší regulaci pohybů obličeje.

6.3 Tvorba lebky

Lebka robota je základní částí obličeje, jelikož podporuje tíhu silikonu a poskytuje opěrnou soustavu pro systém kotev a táhel. Lebku vytvoříme v 3D modelovacím softwaru (v této ukázce využíváme Autodesk Fusion 360).



Obr. 20 Příklad lebky

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Pokud odlévaná maska je odebrána z reálného obličeje, proces je složitější. V tomto případě můžeme vyhledat 3D model lebky na internetu, který nadále upravíme podle potřeb.

Pokud je silikonová maska odlita z digitálního obličeje, tvorba lebky je o to snadnější. Recyklujeme totiž design pozitivní formy.

6.3.1 Kroky tvorby lebky

6.3.1.1 Obstarání digitální formy obličeje

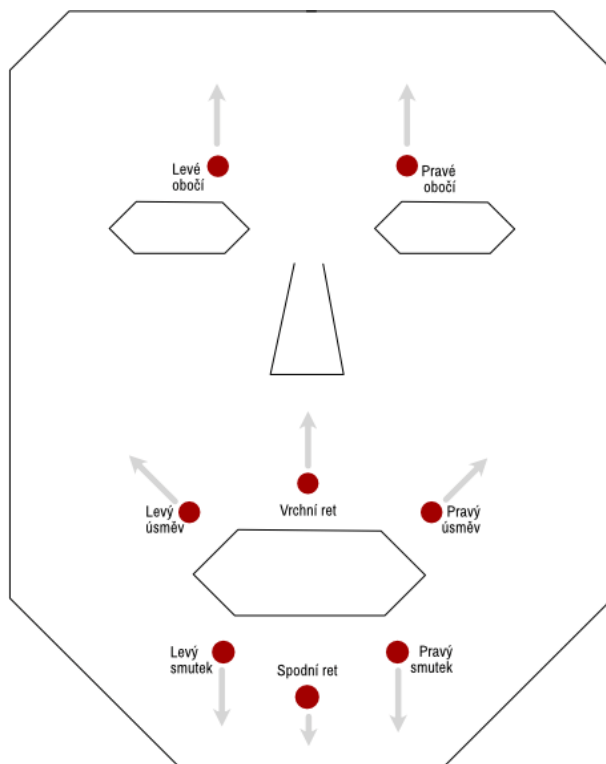
Pokud již máme digitální pozitivní formu, je možno tento krok přeskočit. Obstarat si digitální formu můžeme více způsoby, buď provedeme 3D scan obličeje, či z internetu stáhneme obličej podobné velikosti.

6.3.1.2 Úprava

Obličej je potřeba vyhloubit, to provedeme kopií lebky samotné, kterou zmenšíme tak, aby výsledný průnik obou obličejů zanechal přibližně 0.8 mm tlusté strany. Pro průnik lze využít funkce Combine, kterou nastavíme do režimu Cut.

Další úprava, kterou musíme vykonat, je vyříznutí očních otvorů. Před lebku v místě očí narýsujeme dva kruhy. S pomocí funkce Extrude vytáhneme kruhy skrz lebku, tedy vyřízneme dva kruhové otvory. Touto metodou můžeme pro více místa vyříznout i čtverce tak, jak je uvedeno na obrázku příkladu lebky.

Důležitou úpravou je rozříznutí modelu na dvě části, spodní čelist a horní část lebky. Dále v lebce vytvoříme otvory, sloužící pro provléknutí tahacího materiálu systému kotev, podle následujícího diagramu.



Obr. 21 Kotevní otvory

Zdroj: autor, vlastní zpracování

6.3.1.3 Stavba interních platforem

Pro stavbu robustní robotické hlavy je doporučeno autorem integrovat co nejvíce strukturálních platforem do jednoho kusu. Integrací docílíme pevnou jednolitou strukturu, která vydrží pohyb hlavy samotné v celku.

Interní platformy jsou dvě, vrchní a spodní. Vrchní platforma slouží k upevnění mechanismu očí a ukotvení motorů jemné motoriky. Spodní platforma upevňuje spodní čelist a, stejně jako vrchní, slouží jako držák jemně motorických aktuátorů, či reproduktoru.

6.3.1.3.1 Postup stavby

Nejdříve si připravíme 3D model lebky. Pomocí režimu kreslení najdeme uvnitř vrchní části lebky nejnižší bod a sestrojíme podpůrný sloupek. Sloupky vytvoříme minimálně 2, na každé straně vnitřku lebky jeden. Následně sloupky propojíme a vytvoříme platformu. Podle zvolených mechanismů čelisti, očí a dalších, platformu upravíme např. perforací prostřední části platformy, vytvořením přidržovací struktury motorů apod.

Stejně úpravy můžeme provést i u spodní části lebky, musíme však dát pozor na zajištění dostatku místa pro vložení a zafixování zubní protézy do čelisti, tedy platformy tvoříme alespoň 8 mm nad/pod hranou, kde byla lebka rozdělena na vrchní a spodní část.

6.4 Sestavení mechanismů

6.4.1 Oči

Mechanismus očí je nejsložitější částí robota, kvůli velkému množství motorů, zajišťujících nezávislý pohyb očních víček, bulev a obočí. Před započatím stavby očního mechanismu je třeba důkladné změření rozestupu očí, tedy vzdálenosti mezi vnitřními koutky očí / rohovek, a jeho porovnání s odlitou maskou. Pokud používáme odlitek reálného obličeje, změříme tuto vzdálenost pomocí pravítka. U 3D modelu můžeme využít funkce Inspect>Measure v softwaru Autodesk Fusion 360, či jiné, podobné funkce v dalších CAD softwarových řešeních. Pokud budou měření nepřesná, bude pohled u výsledné podoby modelu hlavy působit rušivým dojmem (můžeme způsobit např. efekt šilhání).

6.4.1.1 Tvorba očních bulev

Pro tvorbu očních bulev potřebujeme celkem 3 modely vytisknuté na 3D tiskárně, průhlednou pryskyřici, papír, barevnou tiskárnu / barvy, brusný papír,

jemný nevytvrzený silikon a vrtačku. Dva menší modely použijeme jako výplň budoucích bulev a jeden ve velikosti odpovídající finální bulvě, použijeme pro tvorbu formy.

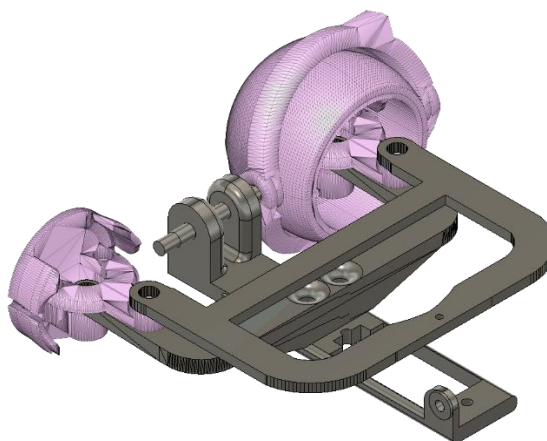
Vytisknuté bulvy nejprve obrousíme do požadovaného tvaru, následuje jejich vyhlazení, ke kterému můžeme použít pryskyřicový nátěr, či acetonovou saunu, v případě tisku z materiálu ABS. Přesvědčivého vzhledu lidské duhovky dosáhneme vytištěním předlohy na papír, jejím vystřížením a následným nalepením vhodným adhesivem na obroušenou a vyhlazenou bulvu. Duhovku můžeme též namalovat, k tomu vhodnými, barvami. Pro realističtější podobu oka natřeme pohledovou stranu lepidlem a pomocí špejle a červených vláken vytvarujeme žilky.

Pokud chceme dosáhnout opravdu přesvědčivého vzhledu reálného oka je použití pryskyřice nezbytnou částí procesu tvorby oční bulvy. Vetší model bulvy ponoříme do nevytvrzeného silikonu a následně jej necháme ztuhnout. Pro lepší manipulaci a možnost snadného vytažení ze silikonu, připevníme k modelu bulvy válcovitý nástavec. Po ztuhnutí silikonu bulvu opatrně vyndáme a na nástavec připevníme menší model bulvy.

Do vzniklé silikonové formy nalijeme rozmíchaný roztok pryskyřice, ponoříme do něj bulvu na nástavci a necháme ji v co nejrovnější poloze vytvrdit. Tento postup opakujeme i s druhou bulvou. Tvrdnutí pryskyřice trvá většinou jeden až dva dny. Vytvrzené bulvy obrousíme do hladka brusným papírem tak, aby se jemně leskly. Do takto vzniklého oka, které bude osazené kamerou, provrtáme otvor tenkým vrtákem a následně kameru nainstalujeme. Pro realističtější vzhled oka můžeme bulvu před ponořením do pryskyřice předvrtat a takto vzniklý otvor přelepit, abychom zabránili vtečení pryskyřice do bulvy.

6.4.1.2 Spojovací táhla a mounting

Pro synchronizovaný pohyb obou očí je potřeba oči bezpečně upevnit. V tomto projektu jsou oči připevněny na tzv. oční lod'ku, tedy na společný kymácivý držák, který je zepředu připevněn ke zbytku mechanismu pomocí šroubku, nebo kousku plastové tyčinky. Tím je zajištěn pohyb očí na vertikální ose. Horizontální posun je zprostředkován pomocí tzv. očních vidlí, tedy společným spojovacím táhlem, které transformuje točivý pohyb servomotorů na pohyb horizontální posuvný.



Obr. 22 Příklad spojovacích táhel

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Oční bulvy na zbytek mechanismu připevníme nástavcem, který je připojen k vidlím pomocí šroubků, které zajišťují otáčivý pohyb na horizontální ose. Vidle nadále přišroubujeme k ramenu servomotoru, který je upevněn v loďce.

6.4.2 Čelist

Pro mechanismus čelisti musíme nejprve zvolit nejvhodnější způsob otevírání úst. V tomto projektu byla využita struktura zvaná „Airpods“. Tuto strukturu můžeme snadno použít pro spojení centrální platformy a spodní čelisti. Jeden z „Airpod“ kloubů může být ozubený a pomocí propojení se servomotorem nám zajistit otevírání a zavírání úst. Alternativně se můžeme spolehnout na pružnost silikonu a jeho schopnost vracet se do původního tvaru. Pro otevírání úst bychom použili vlákno zavléknuté za část čelisti a zavírání úst by nám zajistila již zmíněná vlastnost silikonu.

Na začátku je nutné si uvědomit, jaké funkce bude spodní čelist zajišťovat. Vedle opěrné funkce pro silikonovou masku, mohou být v čelisti uloženy servomotory potřebné pro pohyb spodní části obličeje, především části okolo úst.

Do připravené spodní části lebky integrujeme, stejným způsobem jako probíhala integrace centrální platformy, malou platformu. V této platformě vyřízneme otvory pro servomotory, či pro reproduktory. Lebku perforujeme v místech, která nám zajistí korektní vzdálenost od místa vniku kotev do silikonu. V zadní části platformy zajistíme přípojný bod pro čelistní klouby.

Po zhotovení výtisku spodní platformu osadíme potřebnými součástkami, motory, reproduktory apod. Pomocí čelistního kloubu spojíme spodní a vrchní část lebky dohromady.

6.4.3 Krk

Tvorba krku je individuální záležitostí každého robota. Pro tvorbu základního emotivního robota není třeba konstruovat pohyblivý krk, ale vystačíme si i s pouhým připevněním hlavy na statický stojan. Avšak pro plné vyjádření emocí, jakými jsou např. smutek (svěšení hlavy), údiv (mírné naklonění hlavy na stranu) nebo euforie, je vhodné pro robota obstarat plně pohyblivý krk s možností otáčení a naklánění hlavy v co největším, avšak pro člověka stále přirozeném, rozsahu.

Existuje mnoho mechanismů vhodných pro manipulaci s hlavou. V této práci byl použit mechanismus kloubový, kde centrem pohybu je velký kloub, který nese váhu celé hlavy. Naklánění hlavy je zajištěno menšími klouby, které mohou být přitahovány servomotory pomocí lineárního aktuátoru (jako u robota InMoov), či pákovým přitažením.

Druhým použitým mechanismem je mechanismus pérový. Hlava samotná je ke zbytku těla připevněna dvojicí silných pér, která se ohýbají po přitažení jednoho, či více táhel, umístěných v rozích platformy stojící na pérech a nesoucí váhu hlavy.

Tyto mechanismy mohou využívat dvou způsobů otáčení hlavy. Jedním z nich je způsob interkapitární (uvnitř hlavy), kde vrchní platforma krku je ke zbytku hlavy připevněna pomocí ozubených kol připojených k servomotoru, který otáčí hlavou. Opačný mechanismus označujeme jako extrakapitární (vně hlavy), či princikolumární (na začátku krku), kde jsou ozubená kola postavena připevněna přímo na základně mechanismu.

6.5 Odlévání silikonové tváře

6.5.1 Výběr materiálu

Vhodným materiálem pro tvorbu tváře (obličeje) je silikon s nižší viskozitou. Jako ideální se prokázala viskozita Shore 00-20, která se vyznačuje vysokou elasticitou a optimální tuhostí. Vedle silikonu potřebujeme také speciální nádoby, špachtle a barevné pigmenty.

6.5.2 Bezpečnostní a hygienická opatření

Při manipulaci se silikonem musíme počítat s jeho vysokou špinitelností v nevytvrzené formě. Pro odměřování a přípravu silikonu používáme jednorázové kelímky a špachtle. Doporučené je použití jednorázových rukavic a překrytí pracovní plochy igelitem nebo novinami, protože silikon lze z povrchů odstranit velmi obtížně.

V případě kontaktu nevytvrzeného silikonu s kůží, nebo povrchy, počkáme na zatuhnutí, poté sloupneme a kůži omyjeme, nikdy nestíráme. V případě kontaktu jedné z dvou částí silikonu s kůží, či povrchy, se snažíme doplnit stejné množství druhé části, smícháme a necháme zatuhnout, poté odloupneme. Vždy si přečteme leták přibalovaný k silikonu.

6.5.3 Postup odlévání

Před samotnou přípravou silikonu si řádně prostudujeme návod a bezpečnostní pokyny. Po přípravě pracovního místa je nutné správně vypočítat potřebu materiálu, kterou stanovíme tak, že odečteme objem pozitivní formy od objemu 3D návrhu a pomocí online kalkulatoru výrobce vypočteme potřebné množství.

Použitý silikon Ecoflex 00-20 je dvousložkový, proto musíme nejdříve odměřit jednotlivé složky, a to buď hmotnostně nebo objemově. Do jedné ze složek přidáme potřebné množství pigmentu a promícháme, dokud není směs jednobarevná. Dále slijeme obě složky do větší nádoby a důkladným promícháním špachtlí vytvoříme jemný silikonový gel požadovaného odstínu. Měkčený silikon má dlouhý „work-

time“, proto si můžeme dát při míchaní opravdu záležet, avšak dáваме pozor, abychom ve směsi nevytvořili vzduchové bubliny.

Alginátovou negativní formu, necháme umístěnou v sádrovém držáku tak, aby byla při používání stabilní a pevná. Připravený silikon vlijeme do formy a špachtlí ho rozetřeme do všech záhybů a prohlubní. Během procesu nanášení silikonu se snažíme redukovat vznikající bublinky. Po nanesení celého množství silikonu do negativní formy vložíme formu pozitivní, vmáčkneme ji a zatížíme tak, abychom zadní strany obou forem byly ve jedné úrovni. Zde je potřeba mít matematicky přesné díly, protože pokud nám formy nelícuji, může se stát, že v některých místech bude silikon příliš tenký nebo příliš tlustý, nebo vnitřní výstupky nebudou korespondovat s vnějšími. Případné přebytky silikonu, vytlačované po obvodu formy, můžeme po vytvrzení oříznout.

Silikon necháme vytvrdnout dle návodu. Po jeho vytvrzení vyjmeme formy ze sádrového držáku a odstraníme alginát. Následně opatrně sejmemе silikonovou masku z pozitivní formy. Do takto vzniklé masky vyřízneme oči a ústa. V požadovaných místech vpravíme do silikonu vytisknuté kotvy, jež připevníme k motorům jemné motoriky. Masku připevníme na lebku, napudrujeme, případně doplníme řasy, obočí, či vousy. Vznikl nám finální obličej robota.

6.6 Software a mikrokontroler

6.6.1 Výběr platformy softwaru a hardwaru

Pro ovládání servomotorů uvnitř robotické hlavy je potřeba vhodného mikrokontroleru a ovládajícího počítače, záleží na žádané architektuře a jejích výhodách. Pokud se rozhodneme pro přímé připojení robota k ovládacímu počítači, jako mikrokontroler nám postačí např. Arduino. Výhodou přímého připojení je výrazné zjednodušení ovládání robota. Architektura client-server, kde serverem je robot samotný, přináší výhodu běhu bez přímého připojení k počítači, dovolující plně bezdrátový provoz. Nevýhodou tohoto připojení může být představení latence a složitější technické provedení.

6.6.2 Přímé připojení k PC

Ovládací skript robota využívajícího jednoduchý mikrokontroler je ve své podstatě stejný, jako u client-serveru. Rozdílem je příjem příkazů. U přímého připojení budou příkazy předávány po sériové lince, v současnosti nejčastěji po USB, dříve hojně používané RS232. Pro tuto architekturu je nejčastěji využíváno mikrokontroleru Arduino, či nového Raspberry Pi Pico. Pokud chceme dosáhnout ovládání bezdrátově, můžeme využít rozšiřovacích modulů, tzv. hatů s Bluetooth konektivitou.

6.6.3 Client-server architektura

Client-server architektura vyžaduje způsob propojení ovládacího softwaru a lokálního skriptu. Na výběr je WiFi, Ethernet, Bluetooth, IrDA, LTE, či úsporný ZigBee. Lokální skript můžeme spustit na jakémkoliv počítači, který podporuje zvolený jazyk, ve kterém napíšeme ovládací skript (např. Python). Univerzální a dobrou volbou je Raspberry Pi.

6.7 Dokončení práce

Před prohlášením robota za dokončeného musíme provést následující kroky. Nejprve provedeme generální zkoušku a rigorózní stress-test všech mechanismů. Necháme robota předvést veškeré emoce, které máme k dispozici. Mezi jednotlivými testy robota nevypínáme a necháme ho zapnutého po co nejdelší možnou dobu. Během testování se však snažíme udržet hlavu v dobře chlazeném prostředí, abychom nepoškodili motory. Dále necháme robota mluvit. Texty by měly být pestré, vhodně doplněné i o jazykolamy.

V případě poruchy hardwaru tuto chybu mechanicky neopravujeme, ale snažíme se najít v našem designu příčinu, kterou mohlo být selhání způsobeno.

Dalším krokem je úprava vizáže robota tak, aby se co nejvíce přiblížila podobě člověka. Využijeme tedy umělé řasy a nalepovací obočí, eventuálně je můžeme nastřelit. Použitím vousu můžeme zakrýt případné nedostatky. Dále je možné na obličej robota nanést klasický make-up.

Posledním krokem je dokončení vzhledu celého robota. Dle cílové osobnosti robota, či zrobotizované osobnosti, zvolíme vhodné doplňky jako jsou vlasy, oblečení, brýle, náušnice apod.

Výsledkem by měl být robot, který připomíná člověka jak vzhledem, tak i projevem.

7 Popis produktu & dokumentace

7.1 Rozpočet

V následujícím oddílu jsou uvedeny produkty, jež byly zakoupené, či jsou doporučovány pro stavbu projektu animatronické hlavy

7.1.1 Spotřební zboží

Tabulka 1 Cenová tabulka spotřebního zboží pro tvorbu jednoho robota

Zboží	Cena
Creality 1.75mm PLA 1kg bílá	399,00 Kč
Creality 1.75mm PLA 1kg černá	399,00 Kč
Ecoflex 00-20	1 050,00 Kč
Gédéo Formovací alginát 500g	471,00 Kč
Gédéo Křišťálová pryskyřice, 150ml	335,00 Kč
Lepidlo UHU Super Glue	32,00 Kč
Raspberry Pi 16GB microSDHC Class 10	199,00 Kč
Raspberry Pi Micro HDMI kabel, bílá, 1 m	99,00 Kč
Raspberry Pi 4 USB-C Power Supply	247,00 Kč
Raspberry Pi 4 Model B 2GB	1059,00 Kč
Sádra bílá 1kg 2ks	54,00 Kč
SG90 9G Micro Servo Motor (20x)	755,38 Kč
MG995 Servo Motor (5x)	840,00 Kč
So-Strong Flesh Tone - 110 g	698,17 Kč
Šrouby, matky	50,00 Kč
Tetovací obočí	28,00 Kč
Umělé řasy	245,00 Kč
Waveshare RPi FPC kamera	659,00 Kč
Celkem	7619,55 Kč

Zdroj: autor, vlastní zpracování

7.1.2 Potřebné nástroje

Tabulka 2 Cenová tabulka pro potřebné nástroje

Zboží	Cena
Creality Ender-3 Hochpräziser	6 172,86 Kč
Míchací nádoba - velikost L	57,00 Kč
Míchací nádoba - velikost S	19,00 Kč
Míchací nádoba - velikost S	19,00 Kč
Náhradní díl Creality BL Touch Autoleveling device	1 698,00 Kč
Odměrka UH 1,5L	44,00 Kč
Štětce natěračský plochý	52,00 Kč
Celkem	8 061,86 Kč

Zdroj: autor, vlastní zpracování

7.1.3 Celková cena projektu ve vývoji

Tabulka 3 Cenová tabulka všech produktů vývoje

Zboží	Cena
Creality 1.75mm PLA 1kg bílá	399,00 Kč
Creality 1.75mm PLA 1kg černá	399,00 Kč
Creality 1.75mm PLA 1kg černá	399,00 Kč
Creality Ender-3 Hochpräziser	6 172,86 Kč
Dragon Skin FX-Pro	1 403,60 Kč
Ecoflex 00-20	1 050,00 Kč
Ecoflex 00-20	1 050,00 Kč
Ecoflex 00-20	1 050,00 Kč
Flexfoam-iT 6 Pillow 0,88 kg	810,70 Kč
Gédéo Formovací alginát 500g	471,00 Kč
Gédéo Křišťálová pryskyřice, 150ml	335,00 Kč
Kromopan Alginát 450g	522,00 Kč
Lepidlo BI Epoxy Repair	139,00 Kč
Lepidlo UHU Super Glue	32,00 Kč
Míchací nádoba - velikost L	57,00 Kč
Míchací nádoba - velikost S	19,00 Kč
Míchací nádoba - velikost S	19,00 Kč
Náhradní díl Creality BL Touch Autoleveling device	1 698,00 Kč
Odměrka UH 1,5L	44,00 Kč
Propojka kamerových kabelů pro RPi	93,00 Kč
Raspberry Pi 16GB microSDHC Class 10	199,00 Kč
Raspberry Pi Mini HDMI kabel, bílá, 1 m	99,00 Kč
Raspberry Pi Zero kamera kabel 38mm	39,00 Kč
Raspberry Pi Zero W	313,00 Kč
Sádra bílá 1kg 2ks	54,00 Kč
SG90 9G Micro Servo Motor	377,69 Kč
SG90 9G Micro Servo Motor	377,69 Kč
Silicone Thinner 25g	60,00 Kč
So-Strong Flesh Tone - 110 g	698,17 Kč
Šrouby, matky	50,00 Kč
Štětce natěračský plochý	52,00 Kč
Tetovací obočí	28,00 Kč
Umělé řasy	245,00 Kč
Waveshare RPi FPC kamera	659,00 Kč
Waveshare RPi Zero V1.3 kamera	439,00 Kč
Raspberry Pi 4 Model B	1059,00 Kč
Raspberry Pi 4 USB-C Power Supply	247,00 Kč
MG995 Servo	840,00 Kč
Celkem	21 999,71 Kč

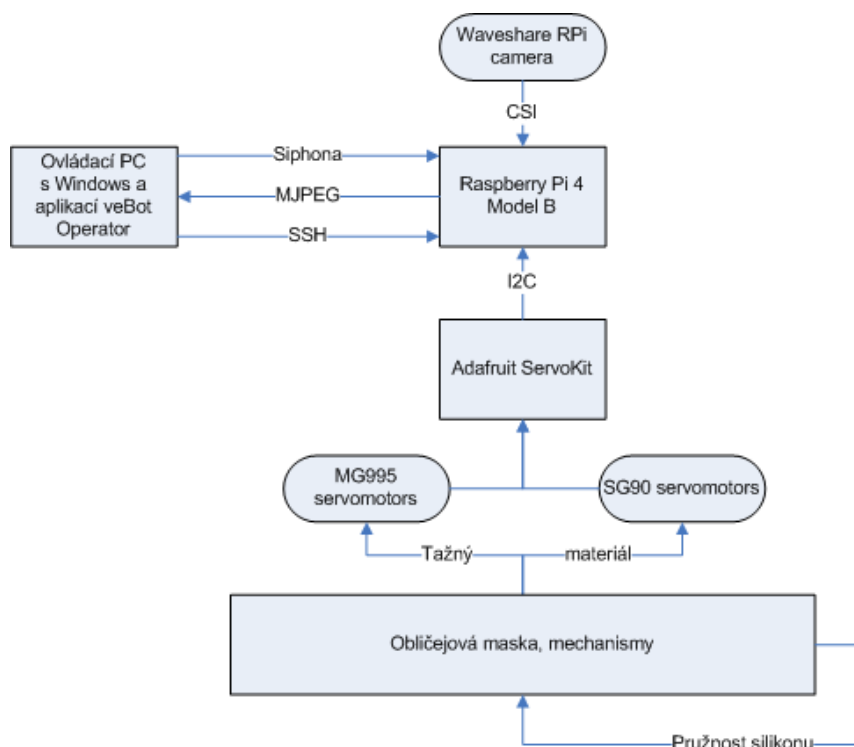
Zdroj: autor, vlastní zpracování

7.2 Technické informace

Tabulka 4 Technické informace

veBot Max / APUROID 2H	
Rozměry (šxvxh)	16 cm x 40 cm x 25 cm
Váha	1,99 kg
Materiál obličeje	Silikon Ecoflex 00-20
Materiál struktury	PLA
Operační systém	Raspberry Pi OS Buster (Debian GNU/Linux Buster)
Počet DOF	16 (15 uvnitř tváře, 1 v krku)
Paměť RAM	2048 MB (2GB)
Komunikační protokol	SiphonaV2
Barva očí	Lískový ořech, mírná heterochromie
Odstín pleti	Kavkazská, odstín Porcelán
Barva zubů	Zářivě bílá
Cílové pohlaví	Androgynní, směřuje k mužskému

Zdroj: autor, vlastní zpracování



Obr. 23 Architektura robota

Zdroj: autor, vlastní zpracování

7.2.1 Softwarové nároky na klientský počítač

Pro spuštění aplikace je potřeba .NET Framework 4.5 a vyšší, Windows 7 x64 a vyšší (Wine nepodporováno), připojení k lokální počítačové síti, popřípadě

doporučeno připojení WLAN. Doporučeno minimálně 512 MB RAM, 2MB místa na disku a monitor s rozlišením 1440x900 je naprosté minimum.

7.3 Spuštění robota

Nejdříve robota připojíme ke zdroji elektrické energie, robot má dva přívodní kabely. Jeden kabel má USB přípojku, druhý má klasickou elektrickou. Kabel s USB koncem je zdrojem energie pro servomotory, dodáme mu tedy min. 2A zdroj. Druhý kabel s klasickou 230V koncovkou je zdrojem interního počítače.

Nyní necháme robota startovat (neboli bootovat). Bootování robota trvá max. 2 minuty. Plné nastartování robota zjistíme tak, že se všechny motory robota restartují, to poznáme hlasitým cuknutím motorů a robot otevře oči. Nyní můžeme zahájit proces připojování k robotovi.

V počítači s operačním systémem Windows (minimálně Windows 7) spustíme aplikaci veBot Operator, zadáme IP adresu robota (robot se sám připojí k předurčené WiFi síti, pokud ji nenajde, spouští svůj vlastní hotspot), vybereme přípojný protokol (výchozí a doporučovaný je Siphona). Dále klikneme na tlačítko QuickConnect, v případě úspěchu připojení se robot na sekundu usměje a mrkne, alternativně můžeme provést proces připojení ručně.

Nyní je robot připraven k ovládání. Pokud se automaticky nezapnula kamera, spustíme ji manuálně tlačítkem Load camera.

7.4 Ovládání robota

V aplikaci Operator máme tři možné způsoby ovládání robotického obličejce. Můžeme využít již přednastavených emočních akcí, nebo manuálně aktivovat části obličejce, například rozhlížet se. Lze také napřímo ovládat motory manuálním způsobem. Speciálním módem je mód pasivní. V pasivním módu robot náhodně provádí akce.

Akce můžeme skládat do sekvencí, které lze uložit a otevřít. Sekvence mají sampling rate 1 sekundu, nastavení vlastního sampling rate může být předmětem rozšíření práce.

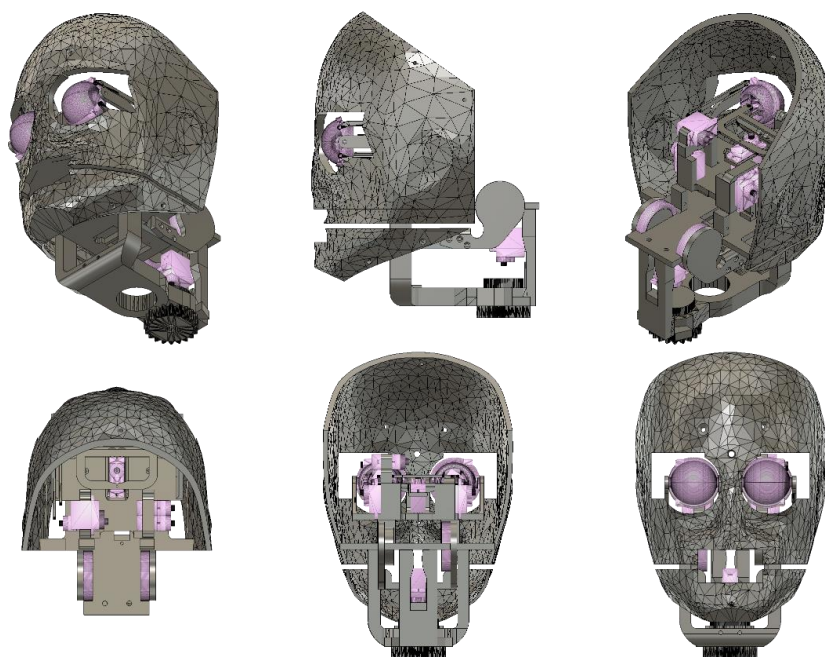
Robot je vybaven syntetizátorem řeči, je tedy možné ho nechat říct cokoliv si přejeme. Pro tuto funkci je v aplikaci vyhrazené textové pole s tlačítky pro sestavení

SSML (notace pro textové syntetizátory) značek, díky kterým lze vytvořit přibližně přirozeně znějící větu.

7.5 Součástky

Ve výchozím stavu se robot sestává z dvou nezávislých dílů, hlavy a krkovoého podstavce, který může být nahrazen robotem typu InMoov. Hlava samotná se sestává z šesti částí, obličejové masky, spodní čelisti, vrchní lebky s integrovaným mechanismem očí, servokontrolerem, krčním mechanismem a mikropočítačem.

Tyto části (zejména obličejová maska a zbytek hlavy) by se neměly nezkušenou osobou oddělovat, jelikož jsou zkalibrovány. Po oddělení je třeba provést úplnou kalibraci. Díly mohou být spojeny lepidlem, jejich oddělení může způsobit poškození robota.



APUR0ID 3D model

Obr. 24 3D model

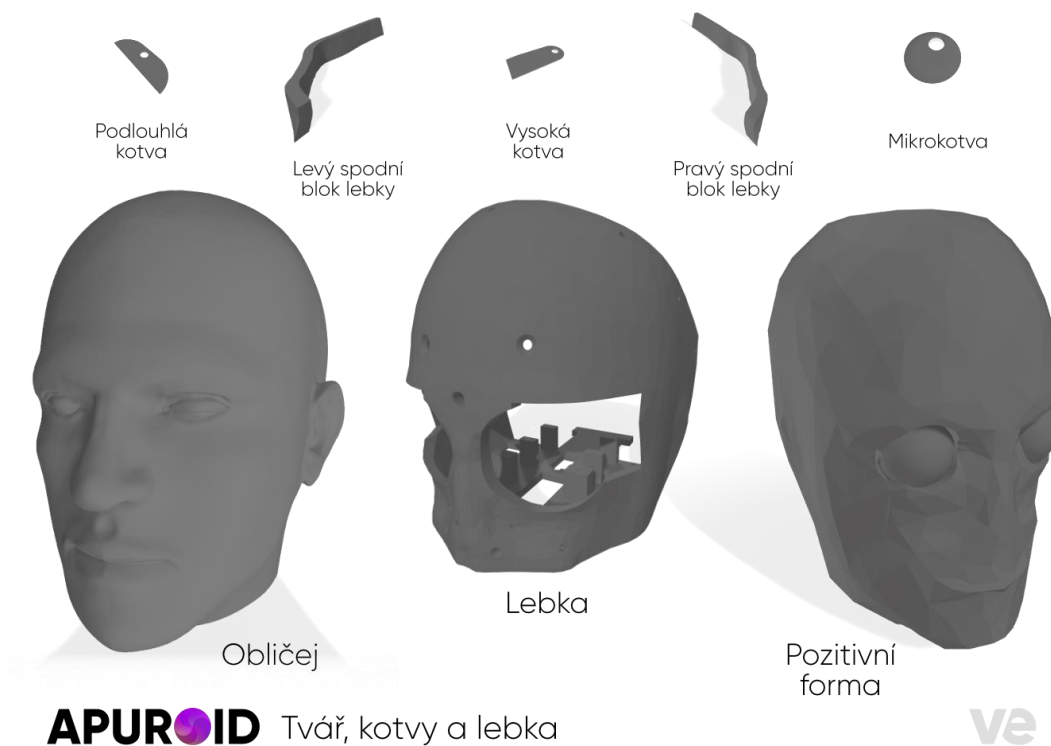
Zdroj: autor, vlastní zpracování



APUROID Oční mechanismus

ve

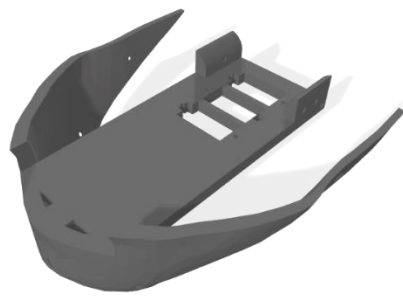
Obr. 25 Oční mechanismus
Zdroj: autor, vlastní zpracování



APUROID Tvář, kotvy a lebka

ve

Obr. 26 Tvář, kotvy a lebky
Zdroj: autor, vlastní zpracování



Čelist



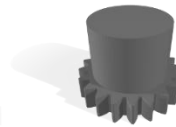
Krční atlas



"Airpod"



"Airpod" kroužek



Krční hřidel

APUROID Čelist a krk

ve

Obr. 27 Čelist a krk

Zdroj: autor, vlastní zpracování

8 Shrnutí výsledků

Všechny cíle práce byly splněny. Byl vytvořen komplexní funkční design animatronické hlavy, ovládací software i její fyzická manifestace. Bylo třikrát iterováno na původních designech, které byly vylepšeny do současné podoby. Nakonec byl sepsán doporučený postup se všemi upozorněními pro budoucí stavitele animatronických emotivních hlav.



Obr. 28 Výsledný produkt bakalářské práce

Zdroj: autor, vlastní zpracování

Robotická hlava je k vidění v akci na serveru Youtube s adresou:

<https://www.youtube.com/watch?v=7GtTDU3XGzU>

Ovládací software je dostupný jako příloha, či na službě GitHub:

<https://github.com/mozekvlaku/vebotmax>

Dalším rozšířením hlavy by mohl být rozpoznávací software pro zjištění výrazu operátora, který by mohl být reprodukován hlavou samotnou.

9 Závěry a doporučení

Výsledkem bakalářské práce je animatronická hlava Apuroid 2H / veBot Max, která reprodukuje přesvědčivé emoční vyjádření.

Při konfrontaci s profesionálními projekty, jako je Sophia od Hanson Robotics, nedosahuje projekt jejich kvalit, ale tato skutečnost je pochopitelná při porovnání vývojového týmu Hanson Robotics s autorem této práce, který robota tvořil zcela sám bez absolvování jakéhokoliv kurzu, či školení v oborech vymezených v práci (odlévání silikonu, CAD práce apod.).

S jistotou lze však říci, že emoční vyjádření a mimika robota lehce převyšuje řadu robotů Actroid DER od společnosti Kokoro, hlavně v oblasti artikulace, avšak výsledná vizualizace nedosahuje úrovně realistických kvalit této řady.

Největšími nedostatky finálního produktu – animatronické hlavy je příliš silná vrstva silikonu v oblasti očních víček, která zapříčiňuje nerealisticky vypadající oči, a poněkud trhavé pohyby, které jsou způsobeny nevhodným výběrem aktuátorů, vhodnějšími aktuátory by byly pneumatické.

10 Seznam použité literatury

- [1] BICKEL, Bernd, Peter KAUFMANN, Mélina SKOURAS, et al. Physical face cloning. *ACM Transactions on Graphics* [online]. 2012, 31(4), 1-10 [cit. 2021-4-26]. ISSN 0730-0301. Dostupné z: doi:10.1145/2185520.2185614
- [2] BOSE, Gautam, Marisa LU, Lucas OCHOA a Dan LOCKTON. Emoto. In: *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* [online]. New York, NY, USA: ACM, 2019, 17. 3. 2019, s. 451-457 [cit. 2021-4-26]. ISBN 9781450361965. Dostupné z: doi:10.1145/3294109.3300993
- [3] CONNOR, Steve. Meet K-bot, the face of future that can read your emotions. *Independent* [online]. London: Independent Digital News & Media Limited, 2003, 18. 2003 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.independent.co.uk/news/science/meet-k-bot-face-future-can-read-your-emotions-119419.html>
- [4] GOERTZEL, Ben, Julia MOSSBRIDGE, Eddie MONROE, David HANSON a Gino YU. Loving AI: Humanoid Robots as Agents of Human Consciousness Expansion [online]. Hong Kong, 2017 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/320014583_Humanoid_Robots_as_Agents_of_Human_Consciousness_Expansion. Výzkum. Hong Kong Polytechnic University, School of Design, Gino Yu's Lab.
- [5] GREEN, Robert D., Karl F. MACDORMAN, Chin-Chang HO a Sandosh VASUDEVAN. Sensitivity to the proportions of faces that vary in human likeness. *Computers in Human Behavior* [online]. 2008, 24(5), 2456-2474 [cit. 2021-4-25]. DOI: 10.1016/j.chb.2008.02.019. ISSN 07475632. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0747563208000447>
- [6] GREEN, Robert D., Karl F. MACDORMAN, Chin-Chang HO a Sandosh VASUDEVAN. Sensitivity to the proportions of faces that vary in human likeness. *Computers in Human Behavior* [online]. 2008, 24(5), 2456-2474 [cit. 2021-4-25]. DOI: 10.1016/j.chb.2008.02.019. ISSN 07475632. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0747563208000447>
- [7] HANSON, David a Shashank PRIYA. An Actuated Skin for Robotic Facial Expressions, NSF Phase 1 Final Report. Alexandria: National Science Foundation, 2007. NSF 05-557.
- [8] HANSON, David, Andrew OLNEY, Ismar A. PEREIRA a Marge ZIELKE. *Upending the Uncanny Valley*. Dallas, 2005.
- [9] HANSON, David, Daniele MAZZEI, Carolyn GARVER, Arti AHLUWALIA, Danilo DE ROSSI, Matt STEVENSON a Kellie REYNOLDS. *Realistic Humanlike*

- Robots for Treatment of ASD, Social Training, and Research; Shown to Appeal to Youths with ASD, Cause Physiological Arousal, and Increase Human-to-Human Social Engagement [online]. Pisa, 2012 [cit. 2021-4-26].
Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/233951262 Realistic Humanlike Robots for Treatment of ASD Social Training and Research Shown to Appeal to Youths with ASD Cause Physiological Arousal and Increase Human-to-Human Social Engagement](https://www.researchgate.net/publication/233951262_Realistic_Humanlike_Robots_for_Treatment_of_ASD_Social_Training_and_Research_Shown_to_Appeal_to_Youths_with_ASD_Cause_Physiological_Arousal_and_Increase_Human-to-Human_Social_Engagement). Zápis z konference. University of Pisa.
- [10] HANSON, David. Humanizing Interfaces-- an Integrative Analysis of HumanLike Robots: David Hanson's Doctoral Dissertation at the University of Texas at Dallas, Interactive Arts and Engineering, Ph.D. received in 2007. Dallas, TX, USA, 2007. Doktorská disertace. University of Texas at Dallas.
- [11] Hiroshi Ishiguro Labs [online]. Kyōto: ATR Institute, 2020 [cit. 2020-08-29]. Dostupné z: <http://www.geminoid.jp/en/robots.html>
- [12] Kokoro Dreams [online]. Tōkyō: Sanrio, 2021 [cit. 2021-04-25].
Dostupné z: [https://www.kokoro-dreams.co.jp/english/rt tokutyu/actroid/](https://www.kokoro-dreams.co.jp/english/rt_tokutyu/actroid/)
- [13] LEVY, David. Love and Sex with Robots. Spojené státy: HarperCollins, 2007. ISBN 0061359750.
- [14] MACDORMAN, Karl F. Introduction to the special issue on android science. Connection Science [online]. 2006, 18(4), 313-317 [cit. 2021-4-25]. DOI: 10.1080/09540090600906258. ISSN 0954-0091. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09540090600906258>
- [15] MORI, Masahiro. 不気味の谷現象 (Bukimi no tani genšō – The Uncanny Valley). Energy. Esso, 1970, 7(4), 33–35.
- [16] NISHIO, Shuichi, Hiroshi ISHIGURO a Norihiro HAGITA. Geminoid: Teleoperated Android of an Existing Person. CARLOS, Armando. Humanoid Robots: New Developments. London: IntechOpen, 2007, 343 - 352. ISBN 978-3-902613-00-4.
- [17] OH, Jun-Ho, et al. Design of android type humanoid robot Albert HUBO. In: 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2006. p. 1428-1433.
- [18] ONDRAS, Jan, et al. Automatic replication of teleoperator head movements and facial expressions on a humanoid robot. In: 2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN). IEEE, 2017. p. 745-750.
- [19] OSAWA, Hirotaka, Arisa EMA, Hiromitsu HATTORI, Naonori AKIYA, Nobotsugu KANZAKI, Akinori KUBO, Tora KOYAMA a Ryutaro ICHISE. Analysis of robot hotel: Reconstruction of works with robots. In: 2017 26th

- IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN) [online]. IEEE, 2017a, 2017, s. 219-223 [cit. 2021-4-26]. ISBN 978-1-5386-3518-6. Dostupné z: doi:10.1109/ROMAN.2017.8172305
- [20] OSAWA, Hirotaka, Arisa EMA, Hiromitsu HATTORI, Naonori AKIYA, Nobutsugu KANZAKI, Akinori KUBO, Tora KOYAMA a Ryutaro ICHISE. What is Real Risk and Benefit on Work with Robots? In: Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction [online]. New York, NY, USA: ACM, 2017b, 6. 3. 2017, s. 241-242 [cit. 2021-4-26]. ISBN 9781450348850. Dostupné z: doi:10.1145/3029798.3038312
- [21] ROBINS, B., K. DAUTENHAHN, R. Te BOEKHORST a A. BILLARD. Robotic assistants in therapy and education of children with autism: can a small humanoid robot help encourage social interaction skills? Universal Access in the Information Society [online]. 2005, 4(2), 105-120 [cit. 2021-4-26]. ISSN 1615-5289. Dostupné z: doi:10.1007/s10209-005-0116-3
- [22] RYSSDAL, Kai. This robot wants your memories. Marketplace [online]. Collegeville: Minnesota Public Radio, 2016 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.marketplace.org/2016/06/10/tech/terasem-movement-foundation-can-digitize-your-personality/>
- [23] SALDIEN, J., K. GORIS, B. VERRELST, R. VAN HAM a D. LEFEBER. ANTY: the Development of an Intelligent Huggable Robot for Hospitalized Children. Brusel: Vrije Universiteit Brussel, Department of Mechanical Engineering, Robotics & Multibody Mechanics Research Group, 2006.
- [24] STRODDER, Chris. The Disneyland Encyclopedia. 3rd. Solana Beach: Santa Monica Press, 2017. ISBN 978-1595800909.
- [25] WELLER, Chris. The first robot citizen has 7 humanoid 'siblings' -- here's what they look like. Business Insider Australia [online]. Sydney: Business Insider, 2017 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com.au/sophia-robot-hanson-robotics-other-humanoids-2017-11>

11 Přílohy

- 1) Překládací tabulka fonémů a úhlů servomotorů
- 2) Předdefinované akce SiphonaV2

Příloha

Příloha 1

	6	7	8	9	10	11
0 A	90	90	60	90	90	80
1 B	90	0	180	90	90	0
2 C	90	0	180	90	90	120
3 D	90	0	180	90	90	120
4 E	160	0	50	150	90	120
5 F	90	0	60	90	150	50
6 G	90	0	90	90	150	50
7 H	90	0	90	90	150	50
8 CH	90	0	90	90	150	50
9 I	90	90	90	150	0	90
10 J	90	90	90	150	0	90
11 K	90	0	90	90	150	50
12 L	90	0	90	90	150	50
13 M	90	20	150	90	150	50
14 N	90	0	90	90	150	50
15 O	90	20	30	90	150	90
16 P	90	20	150	90	150	50
17 Q	90	0	90	90	150	50
18 R	90	0	90	90	150	50
19 S	90	90	90	150	0	90
20 Š	90	0	90	90	150	50
21 T	90	0	90	90	150	50
22 U	90	20	50	90	150	90
23 V	90	0	90	90	150	50
24 W	90	20	50	90	150	90
25 X	90	90	90	150	0	90
26 Y	90	90	90	150	0	90
27 Z	90	90	90	150	0	90
NORMA	90	20	150	0	150	0

Servo **6**: Spodní levý depressor anguli oris

Servo **7**: Vrchní pravý levator anguli oris

Servo **8**: Orbicularis oris (odkrývač zubů)

Servo **9**: Spodní pravý depressor anguli oris

Servo **10**: Vrchní levý levator anguli oris

Servo **11**: Depressor labii inferioris / Mentalis (stahovač rtů dolů)

Příloha

Příloha 2

ID	BIN	FULLCODE	HEX	NAME	FRACT	FRACT_BASE	FRACT_DEC	P
1	00000001	1000110100000001	0x8D01	SMILE	Y	87	13,05	1
2	00000010	1000100000000010	0x8802	FROWN	Y	50	8	1
3	00000011	0000100000000011	0x0803	SURPRISE	Y	50	8	0
4	00000100	1000000000000100	0x8004	BLINK	N		0	1
5	00000101	0000000000000101	0x0005	CLOSE_EYES	N		0	0
6	00000110	1000000000000110	0x8006	OPEN_EYES	N		0	1
7	00000111	0000000000000111	0x0007	SET_EASING_ON	N		0	0
8	00001000	1000000000001000	0x8008	SET_EASING_OFF	N		0	1
9	00001001	0000100000001001	0x0809	EYES_X	Y	50	8	0
10	00001010	1000100000001010	0x880A	EYES_Y	Y	50	8	1
11	00001011	0000000000001011	0x000B	SINGLE_BLINK_RIGHT	N		0	0
12	00001100	1000000000001100	0x800C	SINGLE_BLINK_LEFT	N		0	1
13	00001101	0000000000001101	0x000D	EYES_LIDS	Y	0	0	0
14	00001110	1000100000001110	0x880E	FAKE_SMILE	Y	50	8	1
15	00001111	0000000000001111	0x000F	WAKE_UP	N		0	0
16	00010000	1000000000010000	0x8010	SLEEP	N		0	1
17	00010001	0000000000010001	0x0011	RESET_MOUTH	N		0	0
18	00010010	1000000000010010	0x8012	RESET_EYES	N		0	1
19	00010011	0000000000010011	0x0013	RESET_ALL	N		0	0
20	00010100	1000000000010100	0x8014	HAPPINESS	N		0	1
21	00010101	0000000000010101	0x0015	SEXY	N		0	0
22	00010110	1000000000010110	0x8016	DISGUSTED	N		0	1
23	00010111	0000000000010111	0x0017	MADNESS	N		0	0
24	00011000	1000000000011000	0x8018	MOUTH	N		0	1
25	00011001	0000000000011001	0x0019	ENVY	N		0	0
26	00011010	1000100000011010	0x881A	EYES_DIAG_LEFT	Y	50	8	1
27	00011011	0000100000011011	0x081B	EYES_DIAG_RIGHT	Y	50	8	0
28	00011100	1000100000011100	0x881C	BROWS	Y	50	8	1
29	00011101	0000100000011101	0x081D	BROW_LEFT	Y	50	8	0
30	00011110	1000100000011110	0x881E	BROW_RIGHT	Y	50	8	1



Zadání bakalářské práce

Autor:	Tomáš Kracík
Studium:	I1800424
Studijní program:	B6209 Systémové inženýrství a informatika
Studijní obor:	Informační management
Název bakalářské práce:	Emotivní animatronická hlava
Název bakalářské práce AJ:	Emotive animatronic head

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Cíl: Cílem práce je sestavení humanoidní robotické hlavy s bio mimikrickým napodobením lidských emocí s ohledem na kompatibilitu s projektem InMoov.

Osnova:

1. Teoretický úvod
2. Postup stavby robota autorem
3. Doporučený postup stavby
4. Popis hotového produktu + krátká dokumentace
5. Závěr
6. Použitá literatura

OH, Jun-Ho, et al. Design of android type humanoid robot Albert HUBO. In: *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2006. p. 1428-1433.* ONDRAS, Jan, et al. Automatic replication of teleoperator head movements and facial expressions on a humanoid robot. In: *2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN). IEEE, 2017. p. 745-750.*

Garantující pracoviště: Katedra informačních technologií,
Fakulta informatiky a managementu

Vedoucí práce: Ing. Karel Mls, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 21.1.2020