

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

**INTELIGENTNÍ OVLÁDÁNÍ POHYBEM
RUKY**
INTELLIGENT CONTROL USING HAND GESTURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN APJAR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. VÁCLAV ŠIMEK

BRNO 2017

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá zhotovením zariadenia vhodného na snímanie gest ľudskej ruky, výberom vhodných senzorov, tvorbou obslužného softvéru a návrhom komunikácie. Zariadenie funguje na báze Arduino dosky s mikroprocesorom od firmy Atmel ATmega32u4. V prvej časti práce bola vykonaná podrobná rešerša existujúcich spôsobov a riešení daného problému. Nasledujúce časti sú venované návrhu môjho riešenia, popisu výroby a návrhu tela modelu spolu s popisom použitých materiálov. Ďalej práca obsahuje popis všetkých senzorov a snímačov a detailný popis dodanej dosky plošných spojov. Na konci nájdeme časť programovú, kde je rozobrané ovládanie a práca so senzormi. Výsledkom práce je funkčný model ovládaný rukou a obslužný softvér.

Abstract

This work deals with a creation of the device suitable for capturing the gestures of the human's hand, selection of suitable sensors, creation of service software and communication proposal. The device working is based on Arduino board with microprocessor from the company Atmel ATmega32u4. In the first part of the thesis a detailed search of the existing ways of solving the given problem was performed. The following sections are devoted to the design of my solution, the description of the fabrication of the model body and the description of the used materials. Further, the Thesis contains a description of all sensors and scanners and a detailed description of the supplied PCB. At the end we will find the program section where the control and sensor work is disassembled. The result of this work is a hand-held model and firmware.

Klíčová slova

ATmega32u4, qduino, rozpoznávanie gest, i2cdevlib, mpu9250, flex senzor, Li-Pol, esp8266, akcelerometer, gyroskop, magnetometer, nositeľné zariadenie, 3D tlač

Keywords

ATmega32u4, qduino, gesture recognition, i2cdevlib, mpu9250, flex sensor, Li-Pol, esp8266, accelerometer, gyroscope, magnetometer, wearable device, 3D print

Citace

APJAR, Martin. *Inteligentní ovládání pohybem ruky*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Šimek Václav.

Inteligentní ovládání pohybem ruky

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením pána Ing. Václava Šimka. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....
Martin Apjar
18. 05. 2017

Pod'akovanie

Týmto by som sa chcel poďakovať vedúcemu práce Ing. Václavovi Šimkovi, za jeho odbornú pomoc a cenné rady pri tvorbe tejto práce. Ďalej by som rád poďakoval pánu Ing. Radimovi Lužovi a pani Bc. Jarmile Prosekovej. Jedno obrovské ĎAKUJEM taktiež patrí mojej milovanej rodine a všetkým mojím blízkym, ktorý pri mne stáli a podporovali ma po celú dobu.

© Martin Apjar, 2017

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Obsah.....	1
1 Úvod.....	3
2 Metódy rozpoznávania pohybu a gest ruky	4
2.1 Rozpoznávanie gest s využitím kamery.....	4
2.1.1 Zariadenie Kinect.....	4
2.1.2 Leap Motion.....	5
2.2 Rozpoznávanie ruky pomocou nositeľných zariadení.....	6
2.2.1 Myo Gesture Control Armband (3)	6
2.2.2 Power Glove	7
2.2.3 Acceleglove Motion Capture Glove (6).....	8
2.2.4 CyberGlove III - MOCAP GLOVE (7)	9
2.2.5 DG5 VHand 3.0 (8)	11
2.2.6 5DT DataGloves (9)	11
2.2.7 X-ist Data Glove HR2.....	12
2.2.8 ShapeHandPlus (11)	13
2.2.9 Synertial IGS Glove (10)	14
2.2.10 P5 Essential Reality glove (13)	15
3 Senzory	17
3.1 Generácie senzorov.....	17
3.2 Najbežnejšie typy senzorov používané pri technikách záznamu ruky.....	18
3.2.1 Akcelerometer.....	18
3.2.2 Gyroskop.....	19
3.2.3 Flex Senzor	20
4 Popis hardvérovej realizácie	21
4.1 Obal modelu.....	21
4.1.1 3D tlač.....	23
4.2 Vonkajšie senzory – flex senzory	25
4.3 Vnútoré časti rukavice	27
4.3.1 Mikrokontrolér.....	27
4.3.2 IMU.....	32
4.4 Všeobecné vlastnosti	33
4.4.1 Akumulátor	33
5 Softwarová realizácia.....	35
5.1 Platforma Arduino	35

5.1.1	Zdrojový kód	35
6	Záver	46
	Zoznam použitých skratiek.....	47
	Zoznam tabuliek	48
	Zoznam obrázkov	49
	Zoznam použitej literatúry	51
	Zoznam príloh.....	54

1 Úvod

Pre ľudí je pri vyjadrovaní prirodzené využívať aj svoje telo ku neverbálnej komunikácii. Mimika, ako pohyby tváre; kinetika, ako postoj, chôdza; proxemika, ako napríklad časová vzdialenosť medzi komunikujúcimi; či najbežnejšia gestika, hlavne gestá rukami, sú bežnou praxou pre každého jedinca. Navzdory všetkým možnostiam ako lze dnes ovládať počítač bežnými periférnymi zariadeniami, je práve ovládanie gestami a pohybmi ruky tak obľúbené, nakoľko väčšina zariadení ponúka možnosť ovládania iba v 2D a iba na špecifické úkony.

V tejto práci sa budeme zameriavať na zariadenie užívateľsky lákavé, čo najmultifunkčnejšie, ktoré bude schopné zaznamenávať pohyby a gestá ľudskej ruky, ale zároveň cenovo dostupné, nakoľko cena pri zariadeniach so širším spektrom uplatnenia, či napríklad snímania v 3D je v iných prípadoch bohužiaľ veľmi vysoká. V tejto práci sa pokúsím dopodrobna rozobrať možnosti detekcie gest a pohybu ľudskej ruky. Pri detekcii však treba dbať na viaceré faktory, ako napríklad poloha a dynamika pohybu ruky, pohyby dlane a stav prstov.

Existuje nespočetne veľa možností, ako detegovať pohyby ruky. Väčšinu z nich si rozoberieme v kapitole 1 a 2, kde sa detailnejšie pozrieme na všeobecné prístupy k detekcii gest ruky a možnosti ich zaznamenávania pomocou periférnych statických zariadení, snímajúcich gestá v priestore. Následne, v kapitole 3 a 4 tejto práce, sa budeme venovať zvolenej metóde detekcie pohybu ruky pomocou nositeľných zariadení umiestnených priamo na ruke formou vstavaného systému. Taktiež budú spomenutí niektorí zástupcovia už existujúcich riešení tejto problematiky. Detailne rozoberieme princíp funkčnosti, až na úroveň jednotlivých senzorov. Zvyšná časť tejto práce sa bude venovať návrhu a realizácii vlastnej koncepcie nositeľného zariadenia na snímanie gest ruky.

2 Metódy rozpoznávania pohybu a gest ruky

Existuje viacero spôsobov ako snímať gestá rúk a zároveň množstvo spôsobov rozdelenia snímačov. Pre význam tejto práce je vhodnejšie rozdelenie na systémy s kamerou a nutnosťou „zostať v obraze“ alebo na nositeľné zariadenia, ktoré dávajú užívateľovi oveľa väčšiu voľnosť pohybu.

2.1 Rozpoznávanie gest s využitím kamery

Jedná sa o metódu, ktorá k identifikácii gest využíva sústavy kamier a výstup z nich, v ktorom je následným spracovaním obrazu detegované hľadané gesto, alebo pohyb. Táto metóda prevažne nevyžaduje žiadne špeciálne zariadenia umiestnené na človeku, avšak má podstatne okresaný záber detekcie pohybu, nakoľko sledovaný objekt sa musí nachádzať v priamej viditeľnosti kamerového systému. V nasledujúcej časti si uvedieme najznámejších a najdostupnejších zástupcov.

2.1.1 Zariadenie Kinect

Dnes ide o pomerne bežné zariadenie spoločnosti Microsoft, slúžiace k rozpoznávaniu pohybu ľudského tela na určitú vzdialenosť bez nutnosti manuálneho ovládania danej aplikácie.

Pôvodne bolo vyvinuté ako ovládač k hraniu hier, ale dnes nachádza omnoho širšie uplatnenie práve v oblastiach, kde je nutné diaľkové ovládanie či už aplikácii, alebo priamo hardvérových komponentov.

Princíp fungovania je približne nasledujúci: zariadenie sníma svoje okolie za pomoci dvojice kamier. Jednej RGB a jednej infračervenej. Infračervené svetlo je vyžarované zo zariadenia a následne je snímaný práve jeho odraz. K ovládaniu pomocou hlasu potom slúži set vstavaných mikrofónov. Softvérová časť sa skladá z algoritmov, ktoré sú schopné dáta zo spomínaných senzorov zapracovávať a produkovať výstupy.

Samotné spracovanie pohybu prebieha v dvoch fázach. V prvej z nich je pomocou IR senzorov zisťovaná hĺbková mapa obrazu. V princípe sa jedná o projekciu vopred známeho vzoru a sledovanie jeho deformácie v priestore. Konkrétne Kinect používa technológiu *speckle pattern*. Hĺbka je určovaná na základe dvoch princípov. Prvým je tzv. *depth from focus*, ktorý funguje na princípe, že čím viac sú predmety vzdialené, tým menej sú ostré. Druhým je tzv. *depth from stereo* - predmet, ktorý je bližšie sa

pri natočení posunie o väčšiu vzdialenosť než predmet, ktorý je vzdialený viac. Oboje tieto techniky sú v Kinecte značne vylepšené a sú kombinované.

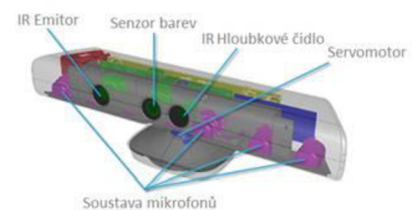
Druhá, skôr už softvérová fáza potom odhaduje samotný pohyb človeka. Na základe hĺbkovej mapy má približný tvar postavy. Pomocou desiatok tisíc naučených vzorov a za využitia rozhodovacích lesov potom odhaduje rozdelenie na jednotlivé časti tela a následne samotný pohyb. (1)

Napriek tomu, že bol Kinect pôvodne vyvíjaný čisto ako herná konzola, našiel si aj vedecké využitie. Vzhľadom k svojej dobrej funkčnosti a senzorevej vybavenosti je jeho pravdepodobne najčastejšie využitie ako diaľkové ovládanie robotov. Ďalšie jeho využitie je napríklad ako zariadenie pre skenovanie povrchov vo vnútri pre človeka nedostupných, či nebezpečných miest ako sú jaskyne apod., ale aj snímanie povrchu Zeme, aj keď na obmedzenú vzdialenosť, zato ale s pomerne vysokou presnosťou. Popri posledných dvoch zmieňovaných využitíach je často používaný hlavne kvôli tomu, že ostatné zariadenia, ktoré k týmto účelom boli využívané sú niekoľkonásobne drahšie ako práve Kinect. (2)

Medzi hlavné nevýhody vo vzťahu k našej práci bezpodmienečne patrí neschopnosť zachytiť jemné pohyby dlane a prstov.



Obrázok 2.2 Zariadenie Kinect - vzhľad (6)



Obrázok 2.1 Zariadenie Kinect – popis (7)

2.1.2 Leap Motion

Leap Motion je malý prenosný snímač pohybu ruky, ktorý je určený najmä na stabilné umiestnenie na stôl. V poslednej verzii však našiel uplatnenie aj ako ovládač upevnený na VR helme snímajúci pohyb pred ním.

K snímaniu používa dve monochromatické infračervené kamery a tri infračervené LED diódy premietajúce mriežkový vzor do oblasti približne jeden meter pred snímač.

Kamery sú schopné zachytávať takmer 200 snímok za sekundu. Odrazené infračervené svetlo zachytené na snímke je ďalej odosielané cez USB rozhranie do počítača, kde je pomocou proprietárneho softvéru vypočítavaná poloha dlaní v 3D priestore pri využití 2D snímok z 2 kamier. Presný spôsob však firma tají. Presnosť pohybu je dopyčovaná na približne 0,7 mm.

Firma uzavrela zmluvnú dohodu aj so spoločnosťou HP ešte v roku 2013. Odvtedy je senzor Leap Motion namontovaný v minimálne 10 druhoch zariadení ako napríklad klávesnice, AIO počítače a notebooky. (3)

Cena tohto zariadenia sa pohybuje okolo 80\$.



Obrázok 2.4 Zariadenie Leap Motion, ukážka funkčnosti



Obrázok 2.3 Zariadenie Leap Motion - diely

2.2 Rozpoznávanie ruky pomocou nositeľných zariadení

Táto metóda má výhody oproti predchádzajúcej najmä v tom, že snímaná ruka alebo osoba má voľnosť pohybu a nemusí sa zaujímať, či je v dohľade kamier. Vzhľadom k povahe tejto práce bude tejto kapitole venované viac priestoru.

V nasledujúcich podkapitolách sa zameriame na niekoľko konkrétnych zástupcov z tejto oblasti. Patrí sem viacero druhov nositeľných zariadení, ako sú napríklad náramky alebo najbežnejšie používané rukavice, ktoré sú najvhodnejšou formou k detailnému snímaniu každého gesta či pohybu ruky.

2.2.1 Myo Gesture Control Armband (3)

Myo náramok od firmy Thalmic Labs je ovládač využívajúci pohyb a pnutie svalov vo vnútri ruky k rozpoznávaniu gest. Je veľmi praktický na použitie vďaka tomu, že užívateľ a nijak neobmedzuje v možnostiach kontaktu ruky so svojím okolím. Kontrolér sníma päť preddefinovaných gest v kombinácii s pohybmi ruky. Užívateľovi ponúka vibračnú odozvu na pokyny a informuje aj o úspešnosti spojenia s ovládaným zariadením. Ďalšou možnosťou spätnej odozvy je dvojica LED diód, pričom jedna z nich je umiestnená pod logom výrobcu a signalizuje stav zapnuté/vypnuté a druhá,

umiestnená vedľa s obdĺžnikovým tvarom signalizuje podľa farby nabíjanie prístroja pri zelenej a spojenie s ovládaným zariadením pri modrej farbe.

Komunikácia je zabezpečená prostredníctvom Bluetooth 4.0 LE, čo prospieva najmä výdržou zariadenia. Pri dodávanej Li-Ion batérii vydrží aj celodenné fungovanie na jedno nabitie, ktoré prebieha prostredníctvom microUSB konektoru.

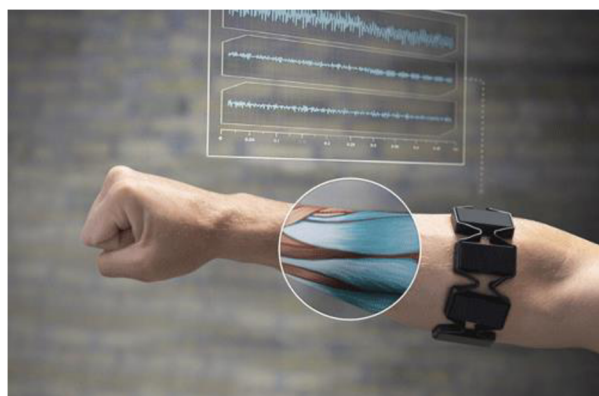
V senzorovej výbave ukrýva niekoľko EMG proprietárnych svalových senzorov na rozpoznávanie sťahov či uvoľnenia jednotlivých svalov v predlaktí čo mu umožňuje identifikáciu gesta ruky. Na rozpoznávanie pohybu mu poslúži 9-DOF modul, ktorý kombinuje akcelerometer, gyroskop a magnetometer.

Aj napriek všetkej výbave má váhu iba 93g, čo s určitosťou prispieva k pohodlnosti pri celodennom nosení. Náramok má vnútorný rozmer 19,05cm avšak dokáže sa rozťahovať až na 34cm takže sadne každému.

Cena tohto zariadenia sa pohybuje okolo 250\$.



Obrázok 2.6 Myo náramok - vzhľad



Obrázok 2.5 Myo náramok – princíp fungovania

2.2.2 Power Glove

Prakticky prvé dostupné ovládanie gestami ruky na trhu. V pôvodnej konfigurácii to síce nemalo žiadnu extra funkcionálnosť, avšak v dnešnej dobe ich už viac obľubujú najmä ľudia, ktorí si ich prerábajú na oveľa výkonnejšie a multifunkčnejšie zariadenia. (4) V roku 1989, kedy boli zverejnené na trhu, spôsobili okamžité nákupné šialenstvo a obrovský záujem. Bolo predaných vyše 10 000 kusov, avšak rovnako rýchlo ako prišli, tak rýchlo aj začali upadať do zabudnutia, nakoľko ich hráči okamžite zavrhlí z dôvodu ich nekvalitného systému a nízkej presnosti kalibrácie.

Fungovali na princípe sústavy ultrazvukových mikrofónov a reproduktorov pričom vďaka triangulácii dvoch mikrofónov dokázali identifikovať pohyb ruky v priestore na osiach X, Y, Z,

natočenie a vybočovanie ruky. Jedine sklápanie ruky to zaznamenať nedokázalo nakoľko sa pri tomto pohybe nemenila vzájomná pozícia mikrofónov. (5)

Technické parametre:

výrobca	Nintendo (Mattel/PAX)
rozhranie	RS232
senzory	proprietárne optické flex senzory ultrazvukové mikrofónne pole

Tabuľka 2.1 Technické parametre zariadenia Power Glove

Cena tohto zariadenia sa pohybuje okolo 150\$.



Obrázok 2.7 Power Glove

2.2.3 Acceleglove Motion Capture Glove (6)

Pôvodne určené pre vojenský priemysel v spolupráci s americkým ministerstvom obrany pre robotickú kontrolu, kde časom našli uplatnenie aj ako náhrada klávesnice a myši pri videohrách. Sú schopné rozpoznávať statický aj dynamický pohyb ruky a prstov. Prevedenie majú ako uzavreté rukavice z materiálu nylon a lycra.

Technické parametre:

výrobca	AnthroTronix
rozhranie	USB
hmotnosť	54g
rozlíšenie	10bit AD prevodník pre každú os
rozsah	180° na každú os
rozsah zrýchlenia	+/- 1,5G
senzory	6x 3-osé akcelerometre, pričom jeden na každom prste nad nechtom a jeden na chrbte ruky
napájanie	5V z USB

Tabuľka 2.2 Technické parametre zariadenia Acceleglove Motion Capture Glove

Cena tohto zariadenia sa pohybuje okolo 499\$.



Obrázok 2.8 Acceleglove Motion Capture Glove

2.2.4 CyberGlove III - MOCAP GLOVE (7)

Rukavice MOCAP vychádzajú v ústrety potrebám pre animačný grafický priemysel. Vďaka zjednodušenému dizajnu umožňujú vysokú mobilitu monitorovaného subjektu. Vychádzajú z pôvodného návrhu CyberGlove, avšak kombinujú v sebe ďalších 20 rokov skúseností, preto sa

dokonale hodia do prostredia záznamu pohybu. Prevedenie vyzerá ako uzavreté rukavice z materiálu nylon s kapsou nad laktom.

Technické parametre:

výrobca	CyberGlove Systems
rozhranie	USB microSD karta voliteľne 802.11 g Wi-Fi
hmotnosť	54g
rozlíšenie	12bit AD prevodník pre každú os
presnosť	< 1°
rozsah zrýchlenia	+/- 1,5G
senzory	18senzorov, z toho 5x flex senzory na prstoch
napájanie	3,7V z batérie
výdrž	2hodiny

Tabuľka 2.3 Technické parametre zariadenia CyberGloveIII

Cena tohto zariadenia sa pohybuje okolo 17 000\$ (pri Cyber Glove 2 okolo 13 000\$).



Obrázok 2.9 CyberGlove III - MOCAP GLOVE

2.2.5 DG5 VHand 3.0 (8)

Jednoduché rukavice schopné zaznamenávať dynamický aj statický pohyb v troch osách. Výhodou je možnosť odopnutia elektroniky pre jednoduchšie čistenie. Sú v prevedení ako uzavreté rukavice z materiálu lycra.

Technické parametre:

výrobca	DGTech
hmotnosť	54g
rozlíšenie	10bit AD prevodník pre každú os
rozsah	180° na každú os
rozsah zrýchlenia	+/- 1,5G
senzory	5x proprietárny flex senzor na každom prste jeden gyroskop, akcelerometer a magnetometer na chrbte ruky
rozhranie	USB RS232 (11520bps) Voliteľné Wi-Fi

Tabuľka 2.4 Technické parametre zariadenia DG5 VHand3.0

Cena tohto zariadenia sa pohybuje od 585\$.



Obrázok 2.10 DG5 VHand 3.0

2.2.6 5DT DataGloves (9)

Rukavice sú určené pre veľmi citlivé snímanie pohybu prstov a dlane. Sú vhodné obzvlášť pre potreby moderného zachytávania pohybu a profesionálnej animácie v reálnom čase. Výrobným

materiálom je pružná lycra, dostať ich iba v jednej veľkosti v prevedení ako plné rukavice bez špičiek prstov a opaskom na elektroniku a batérie. K výberu sú s 5 alebo 14 senzormi na rukavici, pričom pri verzii 5 je zaznamenaný ohyb prstov vďaka flex senzorum na každý prst. Pri variante 14 sú na každom prste 2 flex senzory a 4 senzory medzi prstami.

Technické parametre:

rozhranie	USB RS232 voliteľne rozšíriteľné o Bluetooth modul
rozlíšenie	8 až 10bit AD prevodník
výdrž	až 8hodín pri napájaní z batérie
senzory	2-osí senzor náklonu voliteľne 5 alebo 14 flex senzorov

Tabuľka 2.5 Technické parametre zariadenia 5DT DataGloves

Cena tohto zariadenia sa pohybuje pri verzii 5 na úrovni 1 000\$ avšak pri verzii 14 už na 5 495 \$ za rukavicu (cena za kus, nie pár).



Obrázok 2.11 5DT DataGloves

2.2.7 X-ist Data Glove HR2

Najnovšia verzia poskytuje najväčšie množstvo senzorov vďaka kombinácii viacerých predchádzajúcich modelov. Obsahuje senzory ohybu na každý kĺb na prstoch a jeden medzi bruškom palca a dlaňou, zároveň na konci každého prstu je senzor dotyku. Sú rozšíriteľné o 2-osí akcelerometer na chrbát dlane. Prevedenie majú ako uzavreté rukavice z materiálu lycra a bavlneným vnútrom na

uchytenie elektroniky. Využívajú sa v kombinácii s databoxom, ktorý obsahuje riadiacu jednotku pre pripojenie jedného páru rukavíc, možnosť rozšírenia o bezdrôtovú konektivitu a napájanie z batérie. Bez neho je k dispozícii iba 2 m D-SUB kábel bez riadiacej elektroniky, iba priamym prístupom k senzorum. (10)

Technické parametre:

senzory	v maximálnom prevedení až 24senzorov <ul style="list-style-type: none"> • voliteľne 0-20 senzorov ohybu • voliteľne 0-20 senzorov tlaku • voliteľne až 4 dodatočné kanály na senzor alebo 2-osí akcelerometer (x/y +/- 90 stupňov)
hmotnosť	Približne 200g vrátane kábla

Tabuľka 2.6 Technické parametre zariadenia X-IST Data Glove HR2

Cena tohto zariadenia sa pohybuje od 500\$ do približne 1 000\$ podľa vybavenia.



Obrázok 2.12 X-ist Data Glove HR2

2.2.8 ShapeHandPlus (11)

Na rozdiel od ostatných produktov ShapeHandPlus od výrobcu Measurand je viac menej len box s Velcro prútkami obsahujúcimi optické flex senzory, ktorý sa dá upevniť k prakticky akejkoľvek rukavici. Ich prednosťou je najmä snímanie pohybu v reálnom čase vhodné predovšetkým v kombinácii so snímačmi celej postavy k animáciám.

Technické parametre:

senzory	40 proprietárnych senzorov schopných merať ohnutie, natiahnutie, rotáciu a otváranie a zatváranie dlane
rozhranie	Ethernet Wi-Fi 802.11b
napájanie	batéria
výdrž	3 hodiny

Tabuľka 2.7 Technické parametre zariadenia ShapeHandPlus

Cena tohto zariadenia sa pohybuje okolo 3 000\$.



Obrázok 2.13 ShapeHandPlus

2.2.9 Synertial IGS Glove (10)

Svoje uplatnenie nachádzajú najmä vo filmovom priemysle pri animáciách. Prevedenie vyzerá ako uzatvorená rukavica z dvojitého vzdušného mikrovlnáka a elastickej lycry.

Technické parametre:

výrobca	Animazoo – Synterial
senzory	12x 9 – DOF senzory kombinujúce gyroskop, akcelerometer a magnetometer. Gyroskop s rozsahom 2000 stupňov za sekundu a akcelerometer 16Gs.
konektivita	USB Wi-Fi

napájanie	batérie
výdrž	cca 3,5hodiny

Tabuľka 2.8 Technické parametre zariadenia Synertial IGS Glove

Cena tohto zariadenia sa pohybuje okolo 22 500\$.



Obrázok 2.14 Synertial IGS Glove

2.2.10 P5 Essential Reality glove (13)

Jednoduchšie plastové prevedenie prispieva k prijateľnej váhe a cene zariadenia, avšak nutnosť ďalšieho hardvéru (infračerveného optického sledovacieho stojanu) a iba káblové pripojenie podstatne obmedzuje voľnosť pohybu.

Technické parametre:

hmotnosť	128 g
rozhranie	USB
senzory	6-DOF (optické sledovanie) 5 proprietárnych flex senzorov

Tabuľka 2.9 Technické parametre zariadenia P5 Essential Reality glove

Cena tohto zariadenia sa pohybuje od 90\$.



Obrázok 2.15 P5 Essential Reality glove

3 Senzory

Senzor je zariadenie, ktoré sníma sledovanú fyzikálnu, chemickú alebo biologickú veličinu a podľa určitého definovaného princípu ju transformuje fyzikálnym prevodom na veličinu výstupnú, často elektricky kvantitatívnu.

Stav sledovanej veličiny sníma citlivá časť senzoru označovaná tiež ako čidlo a spracováva vyhodnocovací obvod senzoru. (11)

3.1 Generácie senzorov

V súvislosti s rozvojom sensorovej techniky je možné rozpoznať nasledujúce tri generácie senzorov.

Prvá generácia senzorov (tiež základná) využíva rôzne makroskopické princípy či už elektromechanické, alebo mechanické. Patria sem senzory odporové, kontaktné, kapacitné, apod. Meracie vlastnosti tejto generácie senzorov dosiahli v minulosti svojho vrcholu, ktorý bol prekonaný až nástupom integrovaných pokročilých technológií.

Druhá generácia senzorov využíva elektronické javy v tuhých látkach (napr. piezoelektrický jav, magnetostrikčný jav, fotoelektrický jav, apod.) a v plynach (napr. nárazová ionizácia). Významnú skupinu tejto generácie tvoria polovodičové senzory.

Tretia generácia senzorov využíva pôsobenie neelektrickej veličiny na zväzok svetelného žiarenia. Táto generácia senzorov je označovaná skratkou OVS (optické vláknové senzory). Pri ich konštrukcii sa využívajú princípy optoelektroniky a integrovanej optiky. V posledných rokoch sú všetky tri generácie rozvíjané vďaka technológii miniaturizácie.

3.2 Najbežnejšie typy senzorov používané pri technikách záznamu ruky

Pomocou rôznych druhov senzorov dokážeme zachytiť pohyb, svetlo, teplo, tlak. Postupom času sa aj senzory zdokonaľovali, rovnako ako iné technické prístroje, preto dnešné senzory sú na takej úrovni citlivosti, že dokážu zachytiť aj jemnú, skoro až nepatrnú zmenu pozorovaného javu.

3.2.1 Akcelerometer

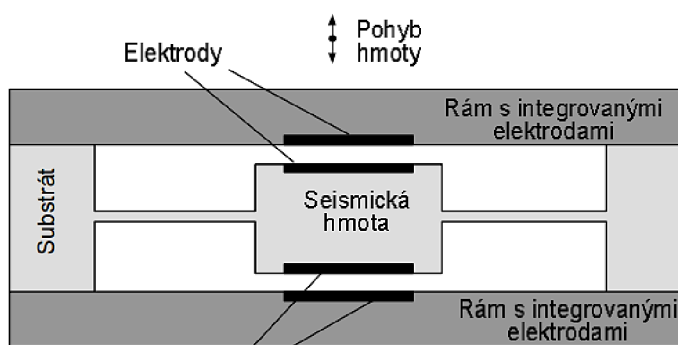
Hlavnou veličinou, ktorú akcelerometre snímajú je zrýchlenie. Akcelerometre dokážu merať gravitačné a aj dynamické zrýchlenie. Gravitačné zrýchlenie je prítomné vždy a je ho potrebné pri meraní dynamického zrýchlenia odstrániť filtráciou.

Základný princíp a štruktúra kapacitných akcelerometrov sú popísané v nasledujúcom texte. V kapacitných akcelerometroch sa zmenou polohy závažia mení geometria plôch kondenzátora. Výsledné zrýchlenie získavame prevodom zmeny kapacity na zrýchlenie, ktoré je jej úmerné. Princíp funkcie kapacitného akcelerometra, ako vidieť na obrázku (3.2) zotrvačná hmota je po oboch stranách uchytaná pružinami a sú z neho vyvedené vodivé dosky pod pravým uhlom. Tie sú symetricky umiestnené po oboch stranách hranolčeka tvoriaceho závažie. Stredové dosky sú umiestnené medzi párom vodivých elektród symetricky po oboch stranách. Spolu tvoria kapacitný delič. Elektródy sú pripojené na harmonický signál rovnakej amplitúdy, ale opačnej polarita s frekvenciou 1 MHz. Ak na snímač nepôsobí vonkajšia sila, tak sú obe kapacity rovnaké a na stredovej doske by malo byť 0 V. Keď začne pôsobiť na snímač vonkajšia sila stredová doska sa vychýli spolu s hranolom proti pôsobeniu zrýchlenia smerom k jednej z elektród, tým sa posilní kapacitná väzba. Potom môžeme na stredovej doske detegovať napätie.

V praxi to pre nás znamená, že akcelerometrom dokážeme identifikovať náklon telesa. (12)



Obrázok 3.2 Akcelerometer



Obrázok 3.1 Akcelerometer – schéma (8)

3.2.2 Gyroskop

Gyroskopy sú snímače, ktoré sa používajú na stanovenie uhlovej rýchlosti a veľkosti rotácie.

Hodnota sa udáva v °/s. Rozdelenie podľa použitia:

- meranie náklonu
- spresňovanie hodnoty GPS navigácií
- stabilizácia predmetov, prípadne obrazu
- meranie zotrvačnosti
- atď.

Podľa fyzikálneho princípu môžeme gyroskopy rozdeliť na:

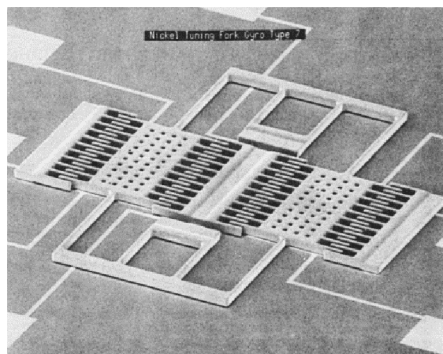
- mechanické
- kvantové
- MEMS gyroskopy
- optické
- laserov

Kremikové mikro-mechanicky obrábané gyroskopy s dvoma seizmickými hmotnosťami sú viac praktické ako gyroskopy s jednou seizmickou hmotnosťou. Sú odolnejšie voči okolitému rušeniu. Ich diferenciálny vstup dokáže efektívne potlačiť súhlasné rušenie. *Dual mass* gyroskop, s metódou dvojitej štruktúry bol navrhnutý k odstráneniu problému oddelenia snímačej a riadiacej časti gyroskopu.

(12)



Obrázok 3.3 Gyroskop



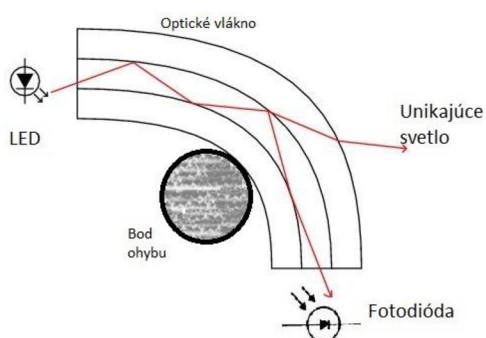
Obrázok 3.4 Gyroskop v prevedení MEMS
(31)

3.2.3 Flex Senzor

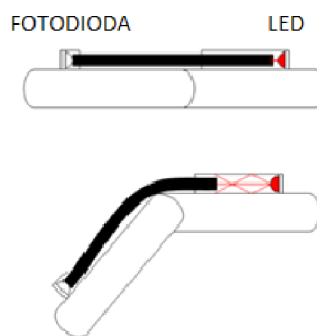
Flex Senzor je snímač ohybu, ktorý meria množstvo vychýlenia alebo ohýbania snímanej plochy. Najčastejšie sa snímač prilepí na povrch a odpor sensorového prvku sa mení ohnutím povrchu. Flex senzory môžeme rozdeliť na optické a odporové.

Optický senzor ohybu funguje na princípe intenzity svetla, tj. pri vyrovnanom senzore sa na čidlo dostáva 100 % osvetlenia, pričom pri zahnutí senzoru svetelnosti úmerne ubúda, vďaka čomu vieme zmerať uhol ohybu.

Skladá sa z optického vlákna s nepriesvitným obalom, svetelnej LED diódy a foto-senzitívnej diódy.

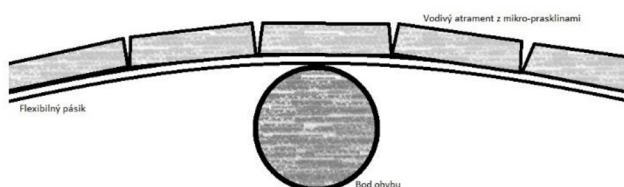


Obrázok 3.6 Princíp optického flex senzoru

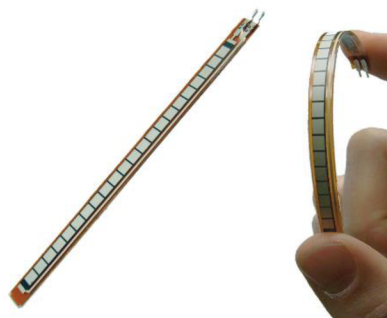


Obrázok 3.5 Ukážka funkčnosti flex senzoru

Odporový funguje podobne ako optický, avšak na princípe zvyšovania meraného odporu pri zohnutí senzoru. Jeho prevedenie je najčastejšie ako flexibilný pásik potlačený vodivým atramentom s prasklinami, prípadne ako prúžok, v ktorom sú zaliate vodivé plôšky, ktoré sa od seba vďaka ohybu oddiaľujú a tým znižujú kontaktnú plochu čím zvyšujú odpor. Príklad odporového flex senzoru je na nasledujúcich obrázkoch.



Obrázok 3.8 Odporový flex senzor – princíp činnosti



Obrázok 3.7 Odporový flex senzor – ukážka

4 Popis hardvérovej realizácie

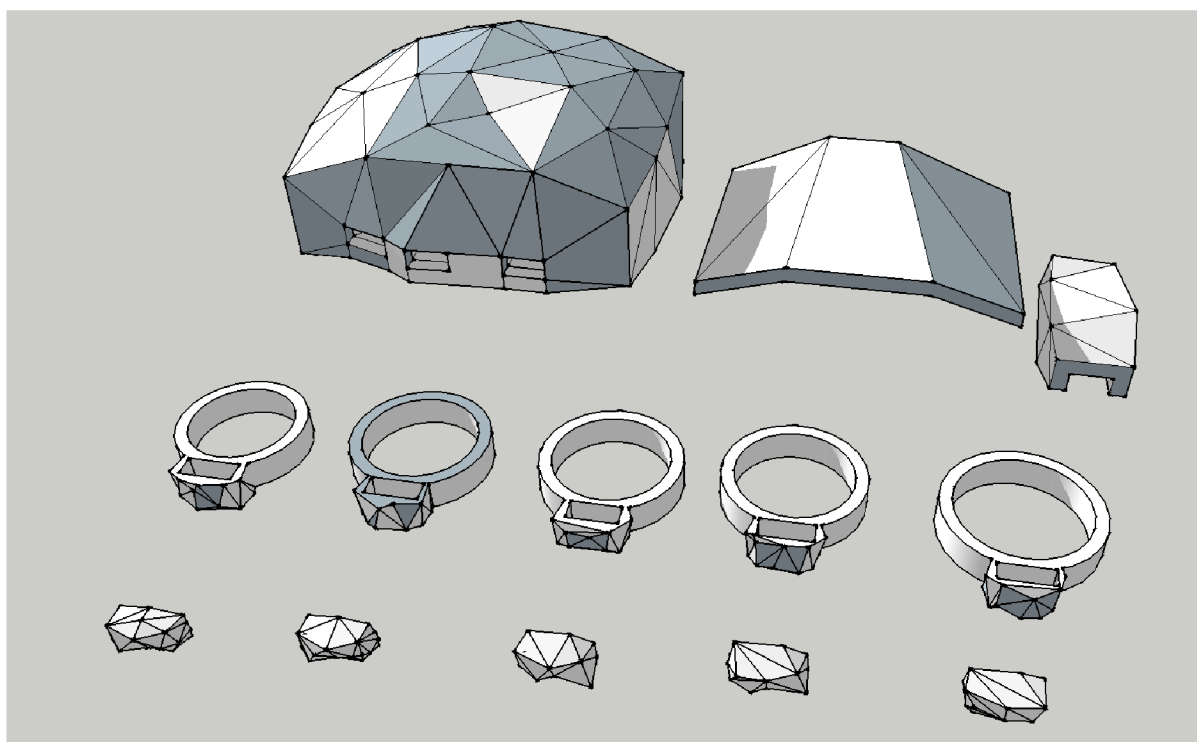
Inšpirovaný vyššie uvedenými modelmi som sa rozhodol zhotoviť vlastný model cenovo aj materiálovo dostupný, avšak funkčne a výkonnostne porovnateľný s predchádzajúcimi. V tejto kapitole sa budeme venovať najdôležitejšej časti, ktorou je HW zariadenie. Jeho funkčnosť, vzhľad, či použiteľnosť je bez pochyb na úrovni špičkových zariadení od známych firiem aj napriek tomu, že bol vytváraný improvizáciou v domácom prostredí a za pomoci cenovo dostupných materiálov.

Postupne si rozoberieme celé zhotovenie od počiatku, ako je obal, cez vnútorné časti, až po samotný finálny výrobok. Spomínaný obal bol zhotovovaný pokrokovou metódou 3D tlače, s ktorou sa bližšie oboznámime v texte, kde sa dozvieme o jej vzniku a vývoji až do dnešnej podoby a možnostiach tlače. Zároveň si preberieme potrebné úpravy, aby bol finálny model vyhovujúci požadovanému štandardu.

4.1 Obal modelu

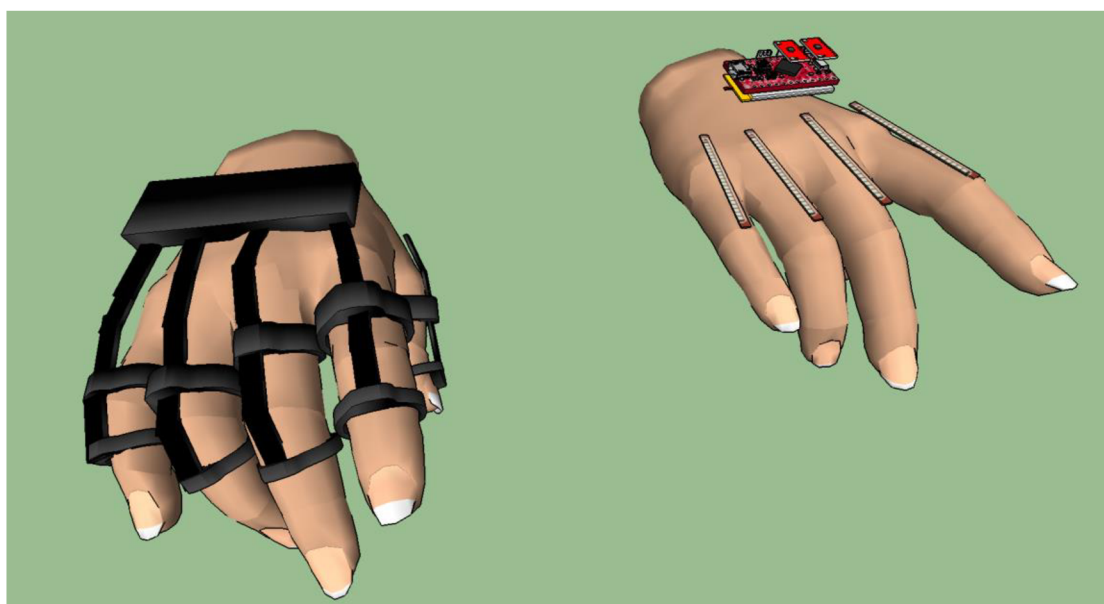
Návrh modelu bol vytvorený v CAD software pre tvorbu 3D modelov menom *SketchUp*. Tento program je vyvíjaný spoločnosťou Trimble, obľúbený pri práci vývojárov počítačových hier a filmových tvorcov, avšak pôvodne bol navrhnutý pre profesionálnych architektov, stavebných a strojných inžinierov. (13) Tento program umožňuje napríklad vytvárať 3D objekty a textúrovať ich povrch. Ovládanie *SketchUp* je veľmi intuitívne. Veľká výhoda tohto programu spočíva v možnosti vyhľadať a stiahnuť už hotové objekty pre vlastnú prácu (obytné budovy, zariadenia interiérov, ako nábytok, stavebné úpravy, realizácie záhrad, dopravná infraštruktúra, apod.). Ďalším šikovným rozšírením Google *SketchUp* je *3D Warehouse*, ktorý umožňuje užívateľovi vyhľadávať, sťahovať a zdieľať už vytvorené modely. Touto technológiou bol vyhotovený aj daný model, následne vyexportovaný do formátu STL, ktorý bol programom Slic3r prispôbeným k tlači na tlačiarnach od Jozefa Průšu prevedený do formátu *gcode* a vytlačený z kombinácie materiálov ABS a PLA, pričom hlavne telo, ktoré chráni elektroniku je z ABS, ktoré je pevnejšie a odolnejšie a prstene sú z PLA pre

jeho vyššiu flexibilitnosť. Všetky výtlačky boli následne vyhladené pomocou acetónových výparov, čo dopomohlo k jemnejšiemu vzhľadu a zaoblenejším hranám aj pri tomto agresívnejšom dizajne.



Obrázok 4.1 Dizajn modelu vytvorený programom SketchUp

Samotný dizajn modelu prešiel taktiež mnohými obmenami a vývojom ako je možné vidieť na nasledujúcom obrázku s pôvodným konceptom, ktorý však bol vytvorený, ako prvotný dizajnový návrh ešte pred finálnym výberom súčiastok a koncového dizajnu.



Obrázok 4.2 Pôvodný koncept modelu vytvorený programom SketchUp

Výsledný model splňa požiadavky a "slušné zásady" (nepísané pravidlá pre správnu tlač) modelu vhodného pre 3D tlač; ako napríklad min. šírka stien 3mm pre pevnosť a pod.. Viac o zásadách modelovania pre 3D tlač je rozpísané v knihe od *Josefa a Michala Průšu - Základy 3D tisku*.¹ Taktiež je model navrhnutý pre maximálnu úsporu miesta a využitie každej krivky. Napríklad je dostatočne tenká vrstva nad samotným mikroprocesorom pre lepšie chladenie.

Zároveň je strategicky a ekonomicky navrhnuté rozmiestnenie súčiastok a mechanických prvkov, napríklad MPU a mikrokontrolér majú vlastné úložné miesto vo vrchnej časti krytu a WiFi modul v spodnej časti. Batéria, ako najrozmernejší článok, je umiestnený v strede. Vibračný motor je zapustený do bočnej steny krytu, čím prenáša vibrácie do celého modelu, zároveň aj umiestnenie MPU je strategické, jeho umiestnenie vo väčšej vzdialenosti od chrbta ruky spôsobuje citlivejšie vnímanie každého pohybu ruky. Všeobecne je model skôr robustnejší pre predpoklad použitia aj v náročnejších podmienkach, ale aj dostatočne malý na dlhodobé nosenie. Model je ergonomicky tvarovaný v krivkách s jemným ohybom pre dokonalé prilnutie k chrbtu ruky, vďaka čomu žiadna jeho časť na ruke neprekáža a preto ani dlhodobé nosenie nespôsobuje žiadne problémy.

Vnútomosti modelu sú umiestnené do presne predpripravených priestorov v 3D výtlačku a upevnené silikónovým lepidlom, ktorého výhodou je aj tlmenie otrasov a okrem stabilnej fixácie zároveň dostatočne izoluje, takže všetky citlivé súčiastky sú odolné voči prípadnému zatečeniu vody a vniknutiu prachových častíc do hlavného krytu modelu a následnému poškodeniu a znehodnoteniu.

K výrobe finálneho modelu bola použitá 3D tlačiareň Original Prusa i3 MK2S. Celková časová náročnosť tlače pri nastavenom jemnom rozlíšení bola približne 14 hodín a spotrebovalo sa cca 25m filamentu s priemerom 1,75mm.

4.1.1 3D tlač

Fyzický model bol nakoniec zhotovený FDM technológiou 3D tlače.

FDM alebo Fused Deposition Modeling, je jednou z najrozšírenejších metód profesionálnej 3D tlače, ktorá zároveň stála pri zrode celého hnutia lacných 3D tlačiarní, ktoré využívajú ich odvodeniny (napríklad FFF používaná v projekte RepRap) rozšírené po skončení platnosti pôvodného patentu na FDM v roku 2009. FDM je technológiou aditívnej výroby, ktorú na konci osemdesiatych rokov dvadsiateho storočia vyvinul a v roku 1989 patentoval S. Scott Crump, neskorší zakladateľ spoločnosti Stratasys, ktorá má tento pojem zabezpečený ochrannou známkou. Princíp FDM spočíva v tavení plastu alebo kovu vo forme vlákna vo vnútri extrúdznej hlavice, ktorá taveninu vytlačuje na podložku a svojím pohybom v dvoch osiach postupne nanáša veľmi tenkú vrstvu materiálu v rovine horizontálneho prierezu budúceho výrobku. Po nanosení celej vrstvy sa podložka zníži o hrúbku vrstvy po vertikálnej osi a postupné nanášanie pokračuje nanovo, až do vytvorenia celého produktu.

¹ <http://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>

Najčastejšími používanými materiálmi pre FDM sú termoplasty ABS a PLA. V profesionálnych aplikáciách sú využívané ďalšie materiály, ako polykarbonáty, alebo špeciálne termoplasty typu Ultem.^[10] Pre túto technológiu som sa rozhodol z dôvodu nízkej ceny a vysokej dostupnosti, nakoľko sa jedná o implementáciu v bežných komerčných 3D tlačiarňach.

Existuje však aj mnoho iných technológií ako napríklad **SLS – Selective Laser Sintering**. Ten označuje proces aditívnej výroby alebo 3D tlače. Voľne sa tento pojem dá do slovenčiny preložiť ako selektívne zváranie laserom. Technológiu vyvinuli v polovici osemdesiatych rokov vedci Texaskej univerzity v Austine, ktorí následne založili spoločnosť DTM zameranú na výrobu SLS strojov. V roku 2001 túto firmu kúpila konkurenčná 3D Systems. Výrobok tu vzniká tavením práškového materiálu (tým môže byť napr. plast, kov, keramika alebo sklo), ktorý je po tenkých vrstvách zváraný v miestach rezov podľa digitálneho modelu vysoko výkonným laserom. Najprv je nanosená vrstva prášku po celej ploche základnej dosky a stroj tento materiál predhreje na teplotu blízku jeho bodu topenia, aby laseru umožnil využiť všetku jeho energiu k pozváraniu materiálu v mieste práve vytváraného rezu modelom. Akonáhle laser ožiari príslušnú plochu, klesne základná doska o hrúbku jednej stavebnej vrstvy nižšie. Naniesie sa ďalšia vrstva materiálu a takto sa celý proces opakuje, až po finálne dohotovenie modelu. Výhodou tohto postupu, kde je vytváraný model neustále obklopený prebytočným práškovým materiálom, je eliminácia potreby dočasných podpôr. SLS technológia dokáže poskytnúť výrobky porovnateľných kvalít, ako konvenčné výrobné metódy – na rozdiel od nich však môže z kovu, keramiky, alebo ďalších materiálov vytvárať aj veľmi zložité štruktúry. (14)

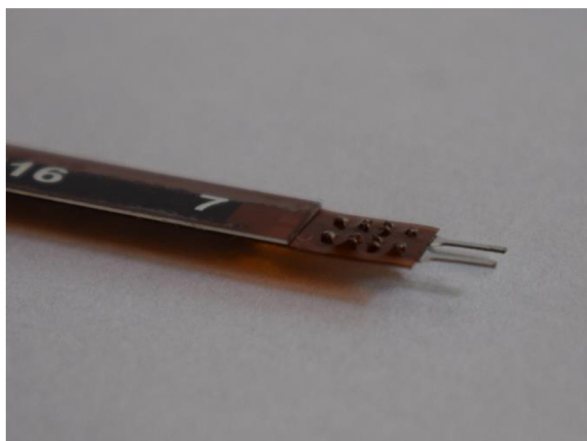
SLA - Stereolitografia je označenie procesu aditívnej výroby alebo 3D tlače. Týmto procesom model vzniká pôsobením ultrafialového laserového lúča na tekutú fotopolymerickú živicu, ktorá je pôsobením laseru vytvrdzovaná vo vrstvách, ktorých tvar vždy zodpovedá danej vrstve rezu STL modelu. Po vytvrdnutí vrstvy živice sa základová doska posunie vo vertikálnom smere o hrúbku ďalšej vrstvy (medzi 0,05 až 0,15mm), naniesie sa ďalšia vrstva živice a pôsobením laseru dôjde k opätovnému vytvrdzovaniu nanesej vrstvy podľa rezu STL modelu. Pre stavbu tvarovo zložitejších modelov je pri stereolitografii nutné budovať dočasné podpory, ktoré sa po vyhotovení modelu manuálne odstraňujú. Výhodou stereolitografie je možnosť vytvárať veľké modely s dobrými fyzikálnymi vlastnosťami, pri ktorých je možné takéto výrobky ďalej obrábať alebo využívať napríklad ako formy pre vstrekovanie plastov. Pri zariadeniach pre stereolitografiu je však samozrejماً aj vyššia cena, čo sa týka taktiež používaných materiálov. (15)

Ďalšou z možných variantov je napríklad **DMLS - Direct Metal Laser Sintering** (priame kovové laserové zváranie) je generatívna technológia, ktorá vytvára výrobok po jednotlivých vrstvách (layer by layer). Ľubovoľné geometrické tvary môžu byť zhotovované efektívne a rýchlo bez použitia nástrojov či klasického obrábania. Neodmysliteľným predpokladom sú 3D CAD dáta dielov. V priebehu výroby je 3D CAD model rozdelený na vrstvy, následne je technológiou DMLS stavaný na požadovanú geometriu vrstvu po vrstve. Energia laseru taví kovový materiál v podobe jemného prášku

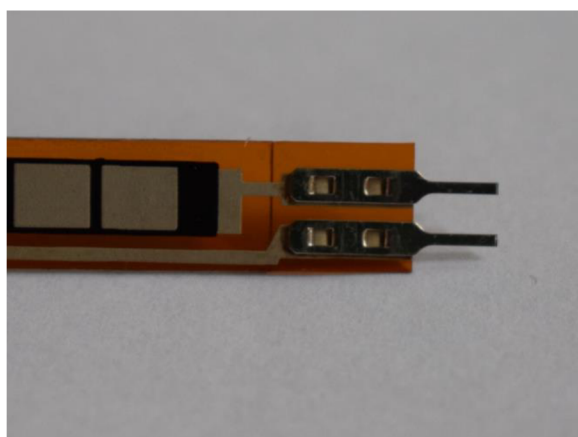
iba v oblasti geometrie dielu. Proces DMLS umožňuje výrobu niekoľkých tvarovo odlišných výrobkov zároveň. (16)

4.2 Vonkajšie senzory – flex senzory

Z hlavného tela modelu nad každým prstom jeden a z externého krytu nad palcom vyčnievajú z prednej časti flex senzory od firmy Spectra Symbol. Tieto senzory sa vyznačujú nízkou cenou a vysokou životnosťou pri zachovaní podmienok správneho používania ako napríklad nezohýbať senzor v smere k potlačí vodivým atramentom, alebo nenamáhať senzor v mieste uchytenia napájacích kontaktov senzoru. Tam sa totiž nachádza oslabené miesto z dôvodu absencie spevňovacieho plastového pásiku, ktorý je umiestnený inak po takmer celej dĺžke senzora, čo môže spôsobiť prasknutie tenkej vrstvy vodivého atramentu na vrhnej strane, a tým pádom znehodnotenie celého senzora.



Obrázok 4.3 Flex Senzor- oslabené miesto, pohľad zospodu



Obrázok 4.4 Flex Senzor- oslabené miesto, pohľad zvrchu



Obrázok 4.5 Flex Senzor od firmy spectrasymbol

Životnosť senzora v počte ohnutí	> 1 milión
Hrúbka	0,43 mm
Dĺžka	114,30mm
Rozsah teplôt	- 35°C až + 80°C
Odpor senzora vo vyrovnanom stave	10k Ω
Tolerancia odchýlky odporu	\pm 30%
Rozsah odporu pri ohybe	60 až 110k Ω
Maximálna kontinuálna spotreba	0,50W
Maximálna špičková spotreba	1.00W

Tabuľka 4.1 Parametre flex senzora

Bolo nutné vyriešiť problém s ohýbaním flex senzorov v kĺboch, nakoľko pri zohnutí prstu je vzdialenosť medzi jeho koncom a kĺbom na dlani väčšia. Z tohto dôvodu, prichádzali do úvahy 2 riešenia, buď pevné uchytenie konca senzora v prstene a pohyblivá časť s vodiacim kanálikom v hlavnej jednotke, alebo pevné uchytenie na ruke a voľné drážky na prsteňoch pre možnosť pohybu senzora v nich. Rozhodol som sa pre variantu číslo dva z dôvodu úspory miesta v hlavnom module a možnosť lepšieho utesnenia a predpokladu väčšej životnosti senzorov, nakoľko nebude vznikať také opotrebenie v prednej časti senzora, ktorý je najnáchylnejší na poškodenie, ako už bolo spomínané vyššie. K celkovému obalu senzora som následne musel ešte pridať spevňujúci materiál, tenký prúžok kevlaru v mojom prípade, na oslabené miesto pod vrchnú vrstvu obalu, čím bolo minimalizované riziko prasknutia vodivého atramentu na senzore, čo by znamenalo jeho znehodnotenie. Zároveň sa vyskytol ďalší problém, pretože pri rôznych dĺžkach prsta mohlo dôjsť k vypadnutiu senzora z prsteňa, z toho

dôvodu bolo nutné dorobiť zarážky na ich konce. Tie samozrejme nijak neovplyvňujú rozsah použitia vďaka autokalibrácii každého senzora ktorú si bližšie rozoberieme pri softvérovej implementácii.

Pevný úchyt senzora na palec je umiestnený v externom kryte mimo hlavného modulu z dôvodu väčšej flexibility, nakoľko palec je proti stojný k ostatným prstom. Preto mi pri návrhu modelu ako najpraktickejšie vychádzalo umiestnenie v externom boxe, ktorý neobmedzuje slobodu pohybu.

Samotné senzory ohybu sú obalené viacerými vrstvami materiálu pre zvýšenie ich životnosti. Ako prvá vrstva je použitá vulkanizačná páska, ktorá zaručuje dokonale priľnutie k materiálu a vďaka spôsobu omotania "na pletenku" aj vysokú flexibilitu a pružnosť, čím priaznivo vplyva na obnovenie senzora do pôvodného tvaru tzn. vystretie prsta. Následne je senzor zatavený do teplom zmrštiteľnej bužírky s vrstvou lepidla, ktoré pre zmenu zvyšuje tuhosť, čím dopomáha k čiastočnému "odporu" pri zhybe prstov a zároveň k udržiavaniu tvaru. Bužírka plní na senzore okrem prioritnej vrchnej ochrannnej vrstvy na zabezpečenie pred poškodením senzora taktiež aj estetickú funkciu, keďže je v podstate jej posledným obalom. Vďaka hladkému a nepriľnavému povrchu tohto materiálu je zároveň spoľahlivo zabezpečený plynulý pohyb v drážkach prsteňov.

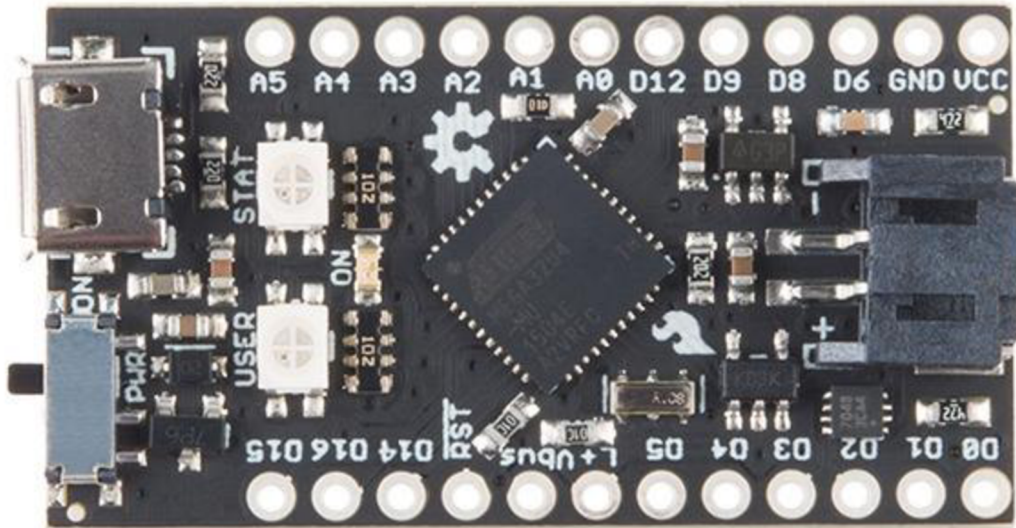
4.3 Vnútorne časti rukavice

Aby boli chránené citlivé súčiastky samotného ovládania modelu sú umiestnené vo vnútornej časti rukavice pod krytom z už spomínaného ABS plastu.

4.3.1 Mikrokontrolér

Ako mikrokontrolér bola zvolená vývojová doska *Qduino*² od spoločnosti hackster.io a to vďaka svojim malým rozmerom iba 2cm x 3,9cm, kompaktnosti, váhe, iba 5g a implementácii väčšiny potrebných obvykle periférnych obvodov, ako napríklad nabíjací modul Li-Pol batérii, alebo obvod na kontrolu stavu batérie.

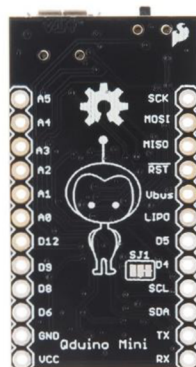
² <https://www.hackster.io/qtechknow1/products>



Obrázok 4.6 Doska Qduino Mini

Technické parametre vývojovej dosky sú:

- ATmega32U4 Procesor – Mikroprocesor s nízkou spotrebou, 8-bit AVR RISC – architektúra, USB 2.0 integrovaná podpora, 12-kanálový 10-bit A/D-prevodník.
- 32 KB Flash programová pamäť
- 2.5 KB SRAM
- 1 KB EEPROM
- 3.3 V @ 8 MHz
- 20 Digitálnych vstupno-výstupných pinov // 14 dedikovaných
- 12 Analógových kanálov // 6 dedikovaných
- 7 Digitálnych I/O pinov s podporou PWM kanálu
- SPI, I2C, UART
- Dve vstavané RGB LED diódy – Jedna pre stav nabíjania, TX, RX a druhá voľne užívateľsky programovateľná
- TPS78233 3.3V 150mA Regulátor
- MCP73832 LiPo Battery nabíjaci obvod
- MAX17048 LiPo Battery ukazovateľ nabitia a stavu batérie (17)

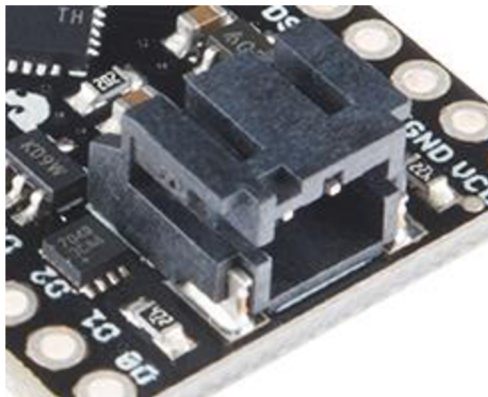


Obrázok 4.7 Doska Qduino Mini - pohľad zdola

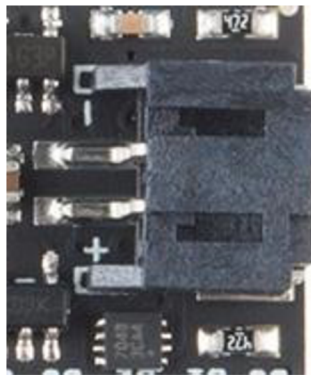
Na doske sú využité skoro všetky analógové vstupné piny, konkrétne 5, pre každý prst jeden plus možnosť rozšírenia o dotykový senzor, vďaka jednému voľnému pinu. Ďalej je využitý jeden PWM výstup na ovládanie vibračného motora a tri piny na ovládanie RGB LED diódy, ktorá spolu s motorom poskytuje možnosť spätnej odozvy, ako na rôzne udalosti a akcie v samotnom kontroléri, tak aj od riadeného prvku vďaka obojsmernej komunikácii.

Taktiež sú využité piny SDA a SCL pre komunikáciu s MPU. Následne RX a TX piny pre komunikáciu pomocou Wi-Fi modulu.

Samotná doska bola mierne poopravená a zminimalizovaná pre naše účely a to nasledovne. Bol odobraný konektor na pripojenie batérie a vodiče od batérie napevno prispájkované k doske a k príslušným kontaktom.

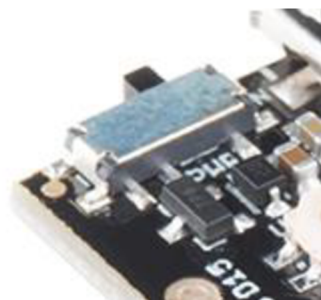


Obrázok 4.8 Qduino Mini napájaci konektor



Obrázok 4.9 Qduino Mini napájaci konektor

Následne bol odstránený nepatrný vypínač z dosky a pridaný vypínač na vonkajší kryt modelu, pretože pôvodný vypínač bol neúmerne malý, a tým nepraktický a nepoužiteľný k bežnému používaniu modelu, takže bol nahradený dostupnejším a kvalitnejším kolískovým prepínačom (viď. obrázok 4.12)



Obrázok 4.10 Qduino Mini pôvodný vypínač

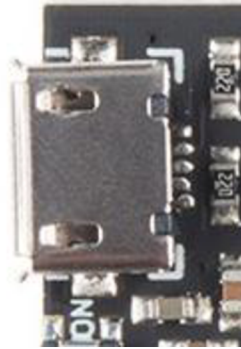


Obrázok 4.11 Qduino Mini pôvodný vypínač



Obrázok 4.12 Qduino Mini nový kolískový vypínač

Ako ďalšie, USB konektor bol prespájkovaný na krátke predlžovacie vodiče a vysunutý asi o 8mm od dosky, aby bolo možné jeho používanie aj pri umiestnení dosky do modelu. USB konektor musel byť vysunutý, nakoľko by bolo nežiadúce aby bola doska vysunutá ku kraju prípadne až takmer mimo stenu modelu.



Obrázok 4.13 Qduino Mini pôvodné umiestnenie USB konektoru



Obrázok 4.14 Qduino Mini pôvodné umiestnenie USB konektoru



Obrázok 4.15 Qduino Mini nové umiestnenie USB konektoru

Je potrebné podotknúť, že žiadna z úprav nie je prekážkou k ďalšiemu používaniu dosky, aj keď sa nepredpokladá jej využitie mimo daný model, ale bolo nutné ich vykonať, nakoľko napríklad konektor na batériu robil z inak 1,8mm výšky dosky, dosku s rozmerom takmer 5mm.

Všetky úpravy boli vykonané s dostatočne vysokou presnosťou, aj keď stále za domácich podmienok s bežne dostupnými nástrojmi (napr. microUSB port má 5 pinov so šírkou 250µm na ploche 2,6mm). Ďalej bol prispôsobený nabíjací obvod batérie pre zvýšenie nabíjacieho prúdu zo 100mA na 500mA, čo pri 2000mAh batérii zabezpečí rýchlejšie nabíjanie.

Nabíjanie je možné buď za pomoci USB portu alebo pomocou v budúcnosti plánovanému rozšíreniu o bezdrôtový nabíjací modul. Samotné USB vie v prípade vybitia batérie napájať samozrejme aj celý model, pričom aj dobíja batériu. Batéria bola volená s prihliadnutím na pomer

veľkosť/kapacita/cena. Pri aktuálnej spotrebe prístroja je predpokladaná výdrž 10 - 12 hodín, čo sa však môže líšiť v závislosti od spôsobu používania a nastavenia modelu. Na spotrebu majú najväčší vplyv flex senzory, najmä pri zvýšenom odpore, čiže pri zohnutých prstoch; vibračný motor; a následne WiFi modul.

4.3.2 IMU

IMU od firmy InvenSense nesúce označenie SparkFun MPU-9250 ponúka posledný model MEMS senzorov v prevedení deviatich stupňov voľnosti – 9DoF. Doska MPU-9250 (18) je v prevedení ako Systém v Puzdre (SiP), ktoré kombinuje dva čipy. Jeden MPU-6500, ktorý obsahuje 3-osí gyroskop a 3-osí akcelerometer, druhý s označením AK8963, ktorý poskytuje 3-osí magnetometer. (19)

Vlastnosti gyroskopu (19)

- Digitálny výstup X-, Y-, a Z-osových uhlových rýchlostí senzora s užívateľsky programovateľnou škálou rozsahov z ± 250 , ± 500 , ± 1000 , a ± 2000 °/sec a integrovaný 16-bit AD prevodník
- Digitálne programovateľný nízko priepustný filter
- Maximálna prúdová spotreba gyroskopu pri používaní: 3,2mA
 - Maximálna prúdová spotreba gyroskopu v úspornom režime: 8 μ A
 - Továrne skalibrovaná mierka citlivosti
 - Automatická autokontrola

Vlastnosti akcelerometra (20)

- Digitálny výstup 3-osého akcelerometru s programovateľnou plnou škálou rozsahov ako $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ a $\pm 16g$ a integrovaným 16-bit Analógovo-Digitálnym prevodníkom
- Spotreba akcelerometra pri normálnej prevádzke: 450 μ A
- Spotreba pri nízkovýkonových módoch: 8,4 μ A pri 0,98Hz a 19,8 μ A pri 31,25Hz
- Spotreba v úspornom režime spánku: 8 μ A
- Užívateľsky programovateľné prerušenia
- Prebudenie sa pri pohybe s prerušením pre nízkovýkonové použitie pri aplikačných procesoroch
- Automatická autokontrola

Vlastnosti magnetometra (20)

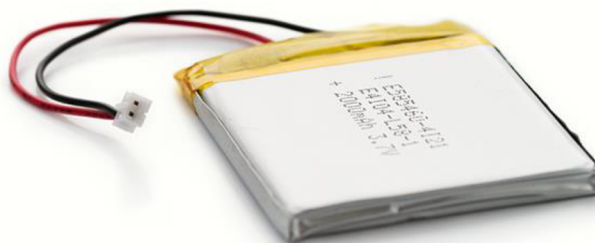
- 3-osí silikónový monolitický magnetický senzor na princípe Hallovho efektu s magnetickým koncentrátorom
- Široký dynamický rozsah merania a vysoké rozlíšenie s nižšou spotrebou prúdu.

- Rozlíšenie výstupných dát na 14bit ($0,6\mu\text{T/LSB}$)
- Rozsah merania v plnom rozsahu je $\pm 4800\mu\text{T}$
- Spotreba magnetometra pri normálnom prevádzkovom režime: $280\mu\text{A}$ pri 8 Hz obnovovacej frekvencii
- Automatický test funkčnosti vnútorného magnetického zdroja na potvrdenie činnosti magnetického snímača vo výsledných produktoch.

4.4 Všeobecné vlastnosti

V tejto časti môžeme vidieť na fotodokumentácii názorné ukážky práce s už hotovým spomínaným modelom, najprv sa však dozvieme o činnosti samotného softvéru, vďaka ktorému môže model fungovať.

4.4.1 Akumulátor



Obrázok 4.16 Li-Po akumulátor

Pre model rukavice bol zvolený Li-Pol akumulátor. Rozmery akumulátora sú $5,8 \times 54 \times 60\text{ mm}$, hmotnosť iba 36 g . Jedná sa o jednočlánkový Li-Pol akumulátor, samotný článok má napätie $3,7\text{ V}$.

Má nominálny výkon $7,4\text{ W}$. Jeho kapacita je viac než dostačujúca, a to 2000 mAh . Súhrn vlastností je uvedený v tabuľke. (21)

Nominálna kapacita akumulátora	2000mAh
Počet článkov	1
Nominálne napätie	3,7V
Nabíjací prúd štandardný	0,2 A
Nabíjací prúd maximálny	1,0A
Ukončenie nabíjania pri napätí	4,20 ± 0.03V
Vybíjací prúd štandardný	0,2 A
Vybíjací prúd maximálny	2,0A
Odpojenie batérie pri poklese napätia pod	2,75V
Reálne napätie batérie	3,7 - 3,9V

Tabuľka 4.2 Technické parametre akumulátora

Li-Pol akumulátor (22)

Li-Pol je skratka pre Lithium-Polymer, jedná sa o evolúciu starších Li-Ion akumulátorov. Tento typ akumulátora používa namiesto tekutého elektrolytu elektrolyt pevný. Katóda pozostáva z oxidu lítia a kobaltu alebo z oxidu lítia, niklu a kobaltu. Anódu tvorí zlúčenina grafitu. V súčasnosti sú veľmi obľúbené v modelárstve do RC modelov akéhokoľvek druhu kvôli ich relatívne malým rozmerom, hmotnosti, kapacite a rýchlosti dobíjania.

Vlastnosti Li-Pol akumulátora:

- netrpí pamäťovým efektom – pred nabíjaním nie je potrebné vybíjanie
- dobrá doba skladovateľnosti – strata 0,1% za mesiac
- dajú sa vyrobiť prakticky v akomkoľvek tvare, rozmere
- sú relatívne ľahké
- nedostatkom je vyššia cena
- postupom času stráca kapacitu rýchlejšie než pôvodný Li-Ion akumulátor

Z uvedených údajov vyplýva, že rozhodnutie použiť daný spôsob napájania je prirodzeným logickým vyústením výberu akumulátora, nakoľko je ľahký, rozmerovo malý, výkonom dostatočný a cenovo dostupný.

5 Softwarová realizácia

5.1 Platforma Arduino

Celý systém riadenia je vytvorený v prostredí Arduino. Arduino je otvorená (open source) elektronická platforma, založená na užívateľsky jednoduchom hardware a software. Arduino je určené pre každého, kto chce tvoriť rýchle a jednoduché, nové, interaktívne a zábavné projekty. Arduino je pre všetkých, čo sa chcú učiť programovať alebo len pochopiť, ako fungujú moderné technológie. Hlavnými výhodami Arduino platformy je jednoduchosť použitia, obrovské množstvo kompatibilného hardwareu a Arduino shieldu, dobrá cena, ale hlavne podpora obrovskej komunity Arduino nadšencov. Vďaka tejto celosvetovej skupine je možné nájsť Arduino návody takmer na čokoľvek, od použitia Arduina ako lampičku, cez stavbu 3D tlačiarne a robota až po jeho vyslanie do vesmíru ako satelit. Platforma je schopná vnímať okolité prostredie pomocou vstupov z rozličných senzorov. Zároveň môže svoje okolie aj ovplyvňovať pripojiteľnými LED diódami, motormi, servami a mnohými ďalšími výstupnými perifériami. Mikroprocesor na doske Arduina sa väčšinou programuje špeciálnym Arduino programovacím jazykom, založeným na knižnici Wiring, čo je obdoba jazyka C++ avšak natoľko rozšírená a rozsiahla, že sa často považuje za samostatný jazyk. Programuje sa najčastejšie v Arduino vývojovom prostredí Arduino IDE (23). Arduino IDE (integrated development environment = integrované vývojové prostredie) je napísané v jazyku Java. Jedná sa o software, ktorý vznikol z výukového prostredia Processing. To bolo mierne upravené, boli pridané určité funkcie a v neposlednej rade podpora „jazyka“ Wiring. (24)

V tomto projekte bola použitá doska Arduino Qduino mini PRO od spoločnosti hackster.io založená na procesore ATmega32u4 od firmy Atmel, ako už bolo spomenuté vyššie. (25)

5.1.1 Zdrojový kód

Práca s flex senzormi

Ako prvý úkon po zapnutí napájania prístroja prebieha okrem automatickej kontroly aj kalibrácia rozsahov flex senzorov. Kalibráciu zabezpečuje funkcia flexcalib(), ktorá je volená pri inicializácii zariadenia. Kalibrácia prebieha vždy počas troch sekúnd na jeden prst, začínajúca palcom. Pred samotným meraním a kalibrovaním vždy najprv zasvieti oranžová LED dióda, ktorá signalizuje začiatok kalibrácie ďalšieho prsta. Počas samotnej kalibrácie zariadenie jemne vibruje a LED dióda

svieti na fialovo. Toto sa zopakuje pre každý prst v poradí od palca k malíčku. Pri kalibrácii sa nastaví maximálne a minimálne hodnoty senzora pre každý prst zvlášť, čo je následne využité pri mapovaní rozsahu. Na rozpoznávanie stavu zohnutia prstov sa využíva funkcia `measure()`, ktorá postupne zmeria a zmapuje aktuálny stav ohnutia prstov vďaka hodnotám získaným z analógových vstupov A1 až A5, pričom senzory sú k prstom priradené nasledovne:

A1	Palec
A2	Ukazovák
A3	Prostredník
A4	Prstenník
A5	Malíček

Tabuľka 5.1 Priradenie analógových vstupov senzorum nad konkrétnymi prstami

Prsty od ukazováka až po malíček sú mapované na hodnoty od 0 až po 10, pričom nula značí úplne vystreté prsty a 10 maximálne zohnutie, t.j. zovretie do päste.

Palec má len 3 funkčné hodnoty, 0, 1, 2, pričom „0“ je palec úplne vystretý a „2“ znamená maximálne zohnutie palca. V polohách 0 a 1 je možné priradenie funkcie už v konkrétnej aplikácii, ku ktorej bude zariadenie pripojené; v polohe „2“ zariadenie prejde do režimu rozpoznávania predprogramovaných gest, ktoré dokáže identifikovať.

Rozpoznávanie gest

K rozpoznávaniu gest slúžia funkcie `onoff()` a `gestdetect()`. Obe funkcie sú podmienené zovretím palca do polohy 2. Ako prvé sa kontroluje gesto na vypnutie či zapnutie, funkciou `onoff()`, ktoré je symbolizované zovretím palca a malíčka k sebe na dobu niekoľkých sekúnd.



Obrázok 5.1 Gesto ON/OFF pohľad zhora



Obrázok 5.2 Gesto ON/OFF pohľad zdola

Detekcia gesta je symbolizovaná jemným vibrovaním a svitom LED diódy v modrozelenej farbe. Následná aktivácia či deaktivácia prístroja (úspešné prepnutie stavu pomocou gesta) je symbolizovaná jasnou zelenou farbou LED diódy po dobu jednej sekundy. Funkcia *gestdetect()* kontroluje stav každého senzora a porovnáva s preddefinovanými vzormi pomocou podmienok, a podľa toho určuje či, a o aké gesto sa jedná. V prípade detekcie niektorého gesta sa rukavica prejavuje jemným svitom LED diódy v zelenej farbe. Pre aktiváciu gesta je nutné udržať dľaň v danej polohe aspoň jeden a pol sekundy, aby sa predišlo neúmyselným aktiváciám. Pri úspešnej aktivácii gesta (zmene hodnoty ukazovateľa daného gesta) blikne LED dióda na modro. V zariadení je 9 preddefinovaných vzorov.



Obrázok 5.3 Vzor gesto 1



Obrázok 5.4 Vzor gesto 2



Obrázok 5.5 Vzor gesto 3



Obrázok 5.6 Vzor gesto 4



Obrázok 5.7 Vzor gesto 5



Obrázok 5.8 Vzor gesto 6



Obrázok 5.9 Vzor gesto 7



Obrázok 5.10 Vzor gesto 8



Obrázok 5.11 Vzor gesto 9

Komunikačný protokol

Pre túto prácu bol vyvinutý vlastný komunikačný protokol nakoľko komunikácia s klientom prebieha na rýchlosti 115200bps. Jeho výhodou je jednoduchá syntax, a preto je vhodný aj na prenosy pri týchto rýchlostiach komunikácie. Táto je obojsmerná avšak nepodmienená. Model nevyžaduje žiadnu odozvu pre funkčnosť, avšak dokáže reagovať na prijaté povely. Program prijíma znaky 0-9, pričom každý znak sa prejaví inou reakciou. Skladba dát v smere od modelu je jednoduchá "YAW\tPITCH\tROLL\t\tS1\tS2\tS3\tS4\tS5\t\tG1\tG2\tG3\tG4\tG5\tG6\tG7\tG8\tG9\t", kde:

YAW, PITCH, ROLL – sú uhly náklonu v 3 osiach

PITCHROLLS1-5S1 – je úroveň zohnutia palca nadobúdajúca hodnoty 0-2

G1-9S2-5 – sú úrovne zohnutia prstov nadobúdajúce hodnoty 0-10

G1-9 – sú bool hodnoty pre jednotlivé gesta nadobúdajúce hodnotu 0 alebo 1.

\t - je jeden znak tabulátoru (delimitér)

Spätná väzba

K možnostiam spätnej väzby sú vytvorené dve funkcie *feed()* a *feedcom()*, pričom funkcia *feed()* slúži k reakciám modelu na vnútorne deje, ako aktivácia či deaktivácia gest, ukazovateľ stavu batérie, prípadne zapnutie/vypnutie prístroja pomocou gesta. Následne funkcia *feedcom()*, ponúka užívateľovi reakcie na podnety prijaté cez sériovú linku.

Práca s IMU

Ako IMU som si zvolil MPU9520. V tejto časti sa zameriame na spôsob komunikácie s MPU. S MPU sa dá komunikovať dvoma spôsobmi. Jednoduchším spôsobom je získavanie surových dát, ten zložitejší pracuje s DMP (Digital Motion Processor), ktorý umožňuje prevádzať výpočty s hodnotami z gyroskopu a akcelerometra, prípadne ešte pripojeným magnetometrom. Za jednu z ďalších výhod môžeme považovať fakt, že DMP využíva vlastný filter s názvom InvenSense's MotionFusion™ (20). Z toho dôsledku nie je potrebné vytvárať vlastný filter. Boli využité výborné vlastnosti DMP a práca sa teda ubera druhou vyššie popisovanou cestou. Uľahčí to prácu hlavne procesoru na DPS. Najdôležitejšia je pre nás knižnica `i2cdevlib` (26), ktorá sa dokáže so všetkými výpočtami spojenými s DMP a surovými hodnotami z gyroskopu, akcelerometra a magnetometra poľahky vyrovnáť spojením niekoľkých hlavných metód. Získavame tak uhly, v ktorých sa senzory nachádzajú a na nás je už len tieto hodnoty správne prečítať a použiť na ďalšie spracovanie. Celá komunikácia medzi Arduinoom a MPU prebieha v I2C zbernici, rýchlosťou 400kHz. Na prenos dát využíva FIFO (first-in first-out) zásobník. (18)

Nastavenie IMU

Ako prvá sa inicializuje I2C zbernica (`Wire.begin()`) a potom nasledujú pripojné IMU príkazom `mpu.initialize()`, kde `mpu` je názov triedy MPU9250. Následne sa overí funkčnosť pripojenia príkazom `mpu.testConnection()`, pokiaľ je pripojenie úspešné, tak sa inicializuje DMP príkazom `mpu.dmpInitialize()`, ktorý vracia hodnotu 0, ak je inicializácia úspešná. Pokiaľ aj inicializácia prebehla úspešne, povolí sa DMP (príkaz `mpu.setDMPEntered(true)`) a nastaví sa prerušenie pre Arduino (príkaz `attachInterrupt(0, dmpDataReady, RISING)`). Funkcia `dmpDataReady()` iba nastavuje premennú `mpuInterrupt` na hodnotu `true`, ktorá nám v hlavnej slučke dáva informáciu, či sú k dispozícii nejaké dáta k príjmu od IMU. Celé vypočítavanie hodnôt potom prebieha v hlavnej slučke (`void loop()`), ktorá prebieha s frekvenciou 500 Hz, to znamená 500 krát za sekundu. Samotné prijímanie dát prebieha v nasledujúcich krokoch:

1. zistenie či došlo k prerušeniu (`mpu.getIntStatus()`)
2. zistenie počtu bytov v zásobníku (`mpu.getFIFOCount()`)
3. prečítanie zásobníka po paketoch
4. získanie kvaternionov z prijatých dát (`mpu.dmpGetQuaternion()`)
5. následné zistenie gravitácie pomocou kvaternionov (`mpu.dmpGetGravity()`)
6. a z týchto informácií získanie uhlov vychýlenia vo všetkých troch osách, už v radiánoch (`mpu.dmpGetYawPitchRoll()`) IMU má niekoľko stupňov citlivosti ako ukazuje. V našej aplikácii bola využitá najväčšia citlivosť, tak ako pri gyroskope, tak aj pri akcelerometri – stupeň citlivosti 0.

Nastavenie offsetu IMU

Každý gyroskop poprípade akcelerometer má nejaký offset. Offset je pojem, ktorý určuje veľkosť odchýlky hodnoty gyroskopu v počiatočnom bode od reálnej (alebo požadovanej) hodnoty. Táto odchýlka je daná už pri výrobnom procese, kde samotná meracia jednotka väčšinou nie je dokonale presne umiestnená, alebo pri montáži na samotné zariadenie, kedy je namontovanie senzora do dokonale vodorovnej polohy prakticky nereálne. Z tohto dôvodu sa zavádza tzv. offsetovanie, pri ktorom sa umiestni meracia jednotka do požadovanej polohy a vypočítajú sa hodnoty z gyroskopu a akcelerometra. Tieto dáta sa spracujú a štatisticky sa zistí priemerná odchýlka od predpokladanej hodnoty. Zistené priemerné odchýlky sa dosadia do programu ako offset v danej osi (napr. funkcia *setXGyroOffset()* – nastavenie offsetu pre gyroskop v ose X) a celý proces sa opakuje znovu. Tento proces opakujeme až do tej doby, kedy dosiahneme požadovanú presnosť.

I2C zbernica

I2C (Internal Integrated Circuit) zbernica je interná dátová zbernica slúžiaca pre komunikáciu a prenos dát medzi jednotlivými integrovanými obvodmi. Hlavnou výhodou je, že obojsmerný prenos prebieha iba na dvoch vodičoch – dáta (SDA – serial data) a hodiny (SCL – serial clock), čo predovšetkým pri mikrokontroléroch optimalizuje nároky na počet vstupno-výstupných pinov a celkovo zjednodušuje zapojenie. Pracuje v režime MASTER-SLAVE, kde väčšinou (nemusí byť v každom prípade), je jeden obvod MASTER a ostatné SLAVE. V našom prípade je Arduino MASTER a MPU je SLAVE. (27)

Popis prenosu po I2C zbernici: (27)

- 1) Stav kľúdu
 - logické jednotky na oboch vodičoch
 - MASTER negeneruje hodinový signál a teda neprebíha žiadny prenos
- 2) Start bit
 - úroveň SDA sa zmení z logickej jednotky na nulu
 - SCL zostáva v logickej jednotke
 - začína prenos
- 3) Prenos dát
 - dáta sa prenášajú po jednom byte, teda po ôsmich bitoch
 - po prenose dát sa môže logická úroveň SDA zmeniť jedine vtedy, ak je SCL v logickej nule
 - pri každom pulze na SCL je prenesený jeden bit

4) Potvrdzujúci bit ACK (acknowledge)

- potvrdzuje správne prijatie dát
- odosiela sa rovnakým spôsobom ako dáta, ale s tým rozdielom, že je odosielaný opačnou stranou, teda stranou, ktorá dáta prijímala
- úspešný prenos signalizuje logická nula na SDA
- neúspešný prenos signalizuje logická jednotka na SDA
- pokiaľ má dôjsť k ukončeniu prenosu neodošlo sa nič

5) Stop bit

- úroveň SDA sa zmení z logickej nuly na jednotku
- SCL zostáva v logickej jednotke
- ukončuje prenos
- môže byť generovaný jedine po prijatí ACK v logickej jednotke, teda nepotvrdení prenosu

6 Záver

Komunikácia súvisí so životom každého človeka, výrazne ho ovplyvňuje, obohacuje o nové poznatky a postoje, reguluje naše konanie a správanie, pomáha nám začleniť sa do spoločnosti a vytvoriť si sociálne kontakty. Pri komunikácii dbáme na jasnosť, zrozumiteľnosť a presnosť informácie, no nie len pri hovorenom slove, ale aj pri ostatných druhoch komunikácie, pretože v širšom zmysle je komunikácia výmena informácií prostredníctvom spoločného systému znakov, ako medzi ľuďmi, tak už aj medzi zariadeniami.

Dnes, kedy svet vedy a techniky napreduje míľovými krokmi je bežné, že medzi sebou komunikujú rôzne zariadenia, pomocou naprogramovaných znakov, signálov, alebo pohybov. Medzi škálu rôznych signálov radíme svetelné, zvukové signály, ako aj signály pohybom, čiže gestami. Na rovnakom princípe funguje aj zhotovený model určený na inteligentné ovládanie zariadenia pohybom ruky.

Cieľom tejto práce bolo oboznámiť sa s dostupnými technickými prostriedkami a existujúcimi prístupmi k detekcii gest na základe pohybu ruky, ako aj samotné zhotovenie vlastného modelu. Postupne sme si predstavili celý postup vyhotovenia modelu, od prvotného návrhu, cez výber materiálov a komponentov, ako aj ich úpravou, až k zhmotneniu predstavy na 3D tlačiarňi, čím sme tento cieľ dosiahli. Spomenuli sme si aj iné princípy 3D tlače.

Samotný model má široké pole využiteľnosti, ako napríklad ovládač virtuálnej reality pri rôznych počítačových hrách, simulácia HID zariadenia, ovládanie robotov, autíčok alebo iných hračiek, či aj väčších strojov. Ďalej je použiteľný ako prekladač znakového jazyka vďaka schopnosti orientácie v 3D priestore a presnej identifikácii polohy všetkých 5 prstov dlane.

Ako ďalšie kroky v projekte by som považoval za vhodné implementovať modul bezdrôtového nabíjania, na ktorý už boli pripravené vodiče pod spodným krytom modelu. Následne by bolo možné model previesť aj do plne vodotesného prevedenia.

Zoznam použitých skratiek

STL je polygonová optimalizovaná sieť a je zdrojovým formátom v oblasti 3D tisku a Rapid Prototyping.

CAD Computer-aided design - počítačom podporovaný / vytvorený návrh

EMG elektromyografia - je zachytávanie elektrickej aktivity Vašich svalov

DPS doska plošných spojov

PC Personal Computer – osobný počítač

RGB Red Green Blue – Systém miešania farieb Červenej Zelenej Modrej

RX Receive - prijímací

TX Transmit - vysielací

IMU Inercial Measurement Unit – inerciálna meracia jednotka

DAC Digital-Analog Converter – Digitálne analógový prevodník

ADC Analog-Digital Converter – analógovo digitálny prevodník

HID Human Interface Device – Zariadenie na spoluprácu s človekom (napr. myš, klávesnica)

MEMS Micro-Electro-Mechanical Systems – elektromechanický systém s rozmermi v radoch mikrometrov

BPS Baud per second – jednotka prenosovej rýchlosti sériovej komunikácie

USB Universal Serial Bus – univerzálna sériová zbernica

I2C Inter-Integrated Circuit bus - vnútorná zbernica medzi integrovanými obvody

DC Direct Current – Jednosmerný prúd

LED Light Emitting Diode – svetelná dióda

DMP Digital Motion Processor – Digitálny pohybový procesor

SDA Serial Data – vodič pre prenos dát po I2C zbernici

SCL Serial Clock – vodič pre hodinový impulz dát na I2C zbernici

ACK ACKnowledge – potvrdzujúci bit na I2C zbernici

PWM Pulse Width Modulation – Impulzne šírková modulácia

SiP System in Package – Systém v Puzdre

AIO All In One – Počítač všetko v jednom.

Zoznam tabuliek

Tabuľka 2.1 Technické parametre zariadenia Power Glove	8
Tabuľka 2.2 Technické parametre zariadenia Acceleglove Motion Capture Glove.....	9
Tabuľka 2.3 Technické parametre zariadenia CyberGLoveIII	10
Tabuľka 2.4 Technické parametre zariadenia DG5 VHand3.0.....	11
Tabuľka 2.5 Technické parametre zariadenia 5DT DataGloves.....	12
Tabuľka 2.6 Technické parametre zariadenia X-IST Data Glove HR2.....	13
Tabuľka 2.7 Technické parametre zariadenia ShapeHandPlus	14
Tabuľka 2.8 Technické parametre zariadenia Synertial IGS Glove	15
Tabuľka 2.9 Technické parametre zariadenia P5 Essential Reality glove	15
Tabuľka 4.1 Parametre flex senzora	26
Tabuľka 4.2 Technické parametre akumulátora	34
Tabuľka 5.1 Priradenie analógových vstupov senzorom nad konkrétnymi prstami.....	36

Zoznam obrázkov

Obrázok 2.1 Zariadenie Kinect – popis (7).....	5
Obrázok 2.2 Zariadenie Kinect - vzhľad (6).....	5
Obrázok 2.3 Zariadenie Leap Motion - diely	6
Obrázok 2.4 Zariadenie Leap Motion, ukážka funkčnosti.....	6
Obrázok 2.5 Myo náramok – princíp fungovania.....	7
Obrázok 2.6 Myo náramok - vzhľad.....	7
Obrázok 2.7 Power Glove.....	8
Obrázok 2.8 Acceloglove Motion Capture Glove	9
Obrázok 2.9 CyberGlove III - MOCAP GLOVE.....	10
Obrázok 2.10 DG5 VHand 3.0	11
Obrázok 2.11 5DT DataGloves	12
Obrázok 2.12 X-ist Data Glove HR2.....	13
Obrázok 2.13 ShapeHandPlus	14
Obrázok 2.14 Synertial IGS Glove	15
Obrázok 2.15 P5 Essential Reality glove	16
Obrázok 3.1 Akcelerometer – schéma (8).....	18
Obrázok 3.2 Akcelerometer.....	18
Obrázok 3.3 Gyroskop.....	19
Obrázok 3.4 Gyroskop v prevedení MEMS (31).....	19
Obrázok 3.5 Ukážka funkčnosti flex senzoru	20
Obrázok 3.6 Princíp optického flex senzoru.....	20
Obrázok 3.7 Odporový flex senzor – ukážka	20
Obrázok 3.8 Odporový flex senzor – princíp činnosti.....	20
Obrázok 4.1 Dizajn modelu vytvorený programom SketchUp	22
Obrázok 4.2 Pôvodný koncept modelu vytvorený programom SketchUp	22
Obrázok 4.3 Flex Senzor- oslabené miesto, pohľad' zospodu.....	25
Obrázok 4.4 Flex Senzor- oslabené miesto, pohľad' zvrchu	25
Obrázok 4.5 Flex Senzor od firmy spectrasymbol	26
Obrázok 4.6 Doska Qduino Mini.....	28
Obrázok 4.7 Doska Qduino Mini - pohľad zdola	28
Obrázok 4.8 Qduino Mini napájací konektor	29
Obrázok 4.9 Qduino Mini napájací konektor	29
Obrázok 4.10 Qduino Mini pôvodný vypínač	30

Obrázok 4.11 Qduino Mini pôvodný vypínač	30
Obrázok 4.12 Qduino Mini nový kolískový vypínač	30
Obrázok 4.13 Qduino Mini pôvodné umiestnenie USB konektoru	31
Obrázok 4.14 Qduino Mini pôvodné umiestnenie USB konektoru	31
Obrázok 4.15 Qduino Mini nové umiestnenie USB konektoru	31
Obrázok 4.16 Li-Po akumulátor	33
Obrázok 5.1 Gesto ON/OFF pohľad zhora	36
Obrázok 5.2 Gesto ON/OFF pohľad zdola	37
Obrázok 5.3 Vzor gesto 1	38
Obrázok 5.4 Vzor gesto 2	38
Obrázok 5.5 Vzor gesto 3	39
Obrázok 5.6 Vzor gesto 4	39
Obrázok 5.7 Vzor gesto 5	40
Obrázok 5.8 Vzor gesto 6	40
Obrázok 5.9 Vzor gesto 7	41
Obrázok 5.10 Vzor gesto 8	41
Obrázok 5.11 Vzor gesto 9	42

Zoznam použitej literatúry

1. **MacCormick, Joan.** How does the Kinect work? *Dickinson*. [Online] [Citace: 28. 01 2017.] <https://users.dickinson.edu/~jmac/selected-talks/kinect.pdf>.
2. **Cong, Robert.** How Does The Xbox Kinect Work. *Jameco Electronics*. [Online] 2002-2017. [Citace: 28. 01 2017.] <http://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/xboxkinect.html>.
3. **Leap Motion.** [Online] 2017. [Citace: 20. 12 2016.] <https://www.leapmotion.com/product/vr#113>.
4. **MYO.** *Gesture Control Has Arrived*. [Online] [Citace: 10. 11 2016.] <https://www.myo.com/techspecs>.
5. **Hacked Nintendo Power Glove lets you control drones like a wizard.** *Circuit breaker*. [Online] 2017. [Citace: 10. Květen 2017.] <https://www.theverge.com/circuitbreaker/2016/6/7/11874170/nintendo-power-glove-control-drones-gesture-hack>.
6. **The power of glove.** [Online] [Citace: 20. 11 2016.] <http://thepowerofglove.com/about/>.
7. **Acceleglove.** *Garth Paine*. [Online] 2015. [Citace: 29. 01 2017.] <http://www.activatedspace.com/ASblog/?p=888>.
8. **Cyber Glove III.** [Online] Cyber Glove Systems, 2015. [Citace: 29. 01 2017.] <http://www.cyberglovesystems.com/cyberglove-iii/>.
9. **VHAND 3.0.** *DG5 VHand 3.0*. [Online] DGTech Engineering Solutions, 2013. [Citace: 29. 01 2017.] <http://www.dg-tech.it/vhand3/index.html>.
10. **Data Gloves.** *Fifth Dimension Technologies*. [Online] [Citace: 29. 01 2017.] <http://www.5dt.com/data-gloves/>.
11. [Online] [Citace: 25. 11 2016.] http://www.lon3d.com/Soft/UploadSoft/201103/X-IST_DataGlove_Specifications.pdf.
12. [Online] [Citace: 05. 12 2016.] <http://www.shapehand.com/shapehand.html>.
13. [Online] Synertial. [Citace: 29. 01 2017.] <https://synertial.com/products/gloves/>.
14. [Online] [Citace: 07. 12 2016.] <http://www.mindflux.com.au/products/essentialreality/p5glove.html>.
15. **Hubálek, Jaromír, a další.** Ústav mikroelektroniky. *Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií*. [Online] 2012. [Citace: 28. 01 2017.] http://www.umel.feec.vutbr.cz/absn/filesp/skripta_mikrosenzory_hubalek.pdf.
16. **Mihal'ko, Juraj.** MEMS Inerciální snímače. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2012.
17. **SketchUp Pro.** *SketchUp*. [Online] Trimble Inc., 2017. [Citace: 15. Květen 2017.] <http://www.sketchup.com/products/sketchup-pro>.
18. **Selective Laser Sintering.** *3D-tisk.cz*. [Online] 2014. [Citace: 05. Květen 2017.]

19. Stereolitografie. *3D-tisk.cz*. [Online] 2017. [Citace: 07. Květen 2017.] <http://www.3d-tisk.cz/stereolitografie/>.
20. DIRECT METAL LASER SINTERING. *innomia*. [Online] 2012. [Citace: 06. Květen 2017.] <http://www.innomia.cz/faq-vysvetleni-dmls-sls-slm-ebm-laser-cusing>.
21. ATmega16U4/ATmega32U4. *Microchip*. [Online] 2017. [Citace: 04. Květen 2017.] http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7766-8-bit-AVR-ATmega16U4-32U4_Datasheet.pdf.
22. MPU-9250 Nine-Axis (Gyro + Accelerometer + Compass) MEMS MotionTracking™ Device. [Online] [Citace: 10. 05 2017.] <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/>.
23. AK8963. *3-axis Electronic Compass*. [Online] [Citace: 10. 05 2017.] <https://www.akm.com/akm/en/file/datasheet/AK8963C.pdf>.
24. mpu 6500. *MPU-6500 Six-Axis (Gyro + Accelerometer) MEMS MotionTracking™ Devices*. [Online] [Citace: 10. 05 2017.] <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6500/>.
25. 585460. *LI-POLYMER BATTERY PACKS Type:585460 2000mAh*. [Online] [Citace: 15. 05 2017.] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Batteries/UnionBattery-2000mAh.pdf>.
26. BU-206: Lithium-polymer: Substance or Hype? [Online] [Citace: 15. 05 2017.] http://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype.
27. co je to Arduino. [Online] [Citace: 03. 05 2017.] <http://czechduino.cz/?co-je-to-arduino,29>.
28. Programujeme Arduino. [Online] [Citace: 16. 04 2017.] <https://arduino.cz/programujeme-arduino/>.
29. Qduino mini. [Online] [Citace: 09. 04 2017.] <https://www.hackster.io/qtechknow1/products>.
30. I2Cdevlib. [Online] [Citace: 09. 04 2017.] <https://github.com/jrowberg/i2cdevlib>.
31. Stručný popis sběrnice I2C a její praktické využití k připojení externí eeprom 24LC256 k mikrokontroléru PIC16F877. [Online] [Citace: 05. 05 2017.] <http://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/strucny-popis-sbernice-i2c-a-jeji-prakticke-vyuziti-k-pripojeni-externi-eeprom-24lc256>.
32. Kinect Sensor. *Microsoft*. [Online] 2017. [Datum: 29. 01 2017.] <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh438998.aspx>.
33. Kurkin, Ondřej, a iní. Možnosti ergonomických analýz pracovních poloh s využitím reálného pohybu člověka v digitálním prostředí. *BOZPinfo.cz*. [Online] 2002-2017. [Datum: 28. 01 2017.] <http://www.bozpinfo.cz/josra/moznosti-ergonomickyh-analyz-pracovnich-poloh-s-vyuzitim-realneho-pohybu-cloveka-v-digitalnim>. 1801-0334.
34. Husák, Miroslav. Akcelerometry. [Online] [Citace: 28. 01 2017.] <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>.
35. Joshi, Anirudh. How does a MEMS gyroscope work? *Quora*. [Online] [Citace: 29. 01 2017.] <https://www.quora.com/How-does-a-MEMS-gyroscope-work>.

36. Flex Sensors Datasheet. *Sparkfun*. [Online] [Citace: 29. 01 2017.]

**[https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/FLEX%20SENSOR%20DATA%20SH
EET%202014.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/FLEX%20SENSOR%20DATA%20SH
EET%202014.pdf).**

37. Fused Deposition Modeling. *3D-tisk.cz*. [Online] 2014. [Citace: 5. Květen 2017.]

Zoznam príloh

Príloha 1. Zdrojové texty

Príloha 2. Fotky zariadenia vo vysokom rozlíšení

Príloha 3. Fotky gest vo vysokom rozlíšení

Príloha 4. Manuál

Príloha 5. Schémy

Príloha 6. CD/DVD