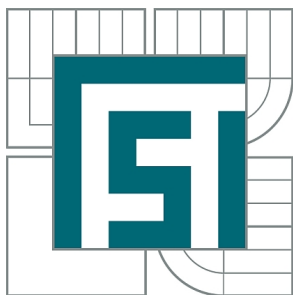


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

DATOVÁ RUKAVICE: REALIZACE S VYUŽITÍM FSR SENSORŮ A MIKROKONTROLERU

DATA GLOVE: IMPLEMENTATION USING FSR SENSORS AND MICROCONTROLLER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ TRNKÓCY

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ROBERT GREPL, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Trnkócy

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Mechatronika (3906R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Datová rukavice: realizace s využitím FSR sensorů a mikrokontroleru

v anglickém jazyce:

Data glove: implementation using FSR sensors and microcontroller

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat návrhem a realizací rukavice s integrovanými snímači pohybu prstů.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Seznamte se teoreticky i prakticky s IO kartou MF624 a SW Real Time Toolbox.
- 2) Proveďte důkladná měření vlastností odporových ohybových FSR sensorů.
- 3) Dle potřeby upravte rukavici pro umístění FSR sensorů a v prostředí Simulink implementujte snímání hodnot a jejich filtraci.
- 4) Seznamte se s vlastnostmi vybraného MEMS akcelerometru a proveďte měření jeho chování.
- 5) Seznamte se s programováním mikrokontroleru Atmel AVR a realizujte čtení analogových hodnot ohybu sensorů, jejich filtraci a komunikaci s PC po fyzické sériové lince.

Seznam odborné literatury:

1. Dušek, F.: Matlab a Simulink, skriptum ČVUT
2. Gergelitsová Š.: VRML v příkladech, BEN, 2004
3. Váňa, V.: Mikrokontroléry ATMEL AVR - assembler, Nakladatelství BEN, 2003
4. Herout, P.: Učebnice jazyka C
5. Noskivič: Modelování a identifikace systémů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Robert Grepl, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 5.11.2008



prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá realizací projektu *Datová rukavice*. V první části jsou uvedeny vlastnosti jednotlivých částí rukavice, jako jsou ohybové senzory, akcelerometr či mikrokontroler. Následně je provedena úvaha nad rozmístěním prvků na rukavici. Další část se zabývá samotnou výrobou rukavice a její elektroniky, dále také jejím programovým vybavením. V závěru následuje testování funkce rukavice a případné možnosti jejího vylepšení.

Abstract

This thesis deals with realization of project *Data glove*. In first part, characteristics of each part of glove are mentioned. Afterwards, position of each part is considered. Next part deals with making glove and its electronics, as well as its programming. At the conclusion comes testing of glove and further improvements are suggested.

Klíčová slova

FSR, datová rukavice, ohybový senzor, akcelerometr, MMA7260, mikrokontroler, ATmega

Key words

FSR, data glove, bend sensor, accelerometer, MMA7260, microcontroller, ATmega

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Robertu Greplovi Ph.D za cenné rady a připomínky. Dále děkuji své rodině a přátelům za psychickou a materiální podporu.

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a pod vedením vedoucího BP.

Tomáš Trnkócy, Brno, 2010

Obsah

1	Úvod	13
2	Stanovení cílů práce	15
3	Ohybové senzory	17
3.1	Princip fungování ohybových senzorů	17
3.2	Vlastnosti použitého ohybového senzoru	17
3.3	Elektrické zapojení	19
4	Akcelerometr MMA7260	21
4.1	Vlastnosti akcelerometru MMA7260	21
4.2	Elektrické zapojení	24
5	Mikrokontrolér ATmega8	25
5.1	Základní vlastnosti	25
5.2	Elektrické zapojení	26
5.3	Programové vybavení	26
6	Multiplexer CD4052B	29
7	Vlastní rukavice	31
7.1	Elektronika	31
7.1.1	Napájení	31
7.1.2	DPS	31
7.1.3	Celkové zapojení	32
7.2	Výroba rukavice	33
7.3	Umístění senzorů	34
8	Testování a vlastnosti	35
8.1	Testování rukavice	35
8.2	Postřehy z výroby	35
8.3	Návrhy na vylepšení	36
9	Závěr	37

10 Literatura a odkazy

39

1 Úvod

Spolu s vývojem počítačové techniky se virtuální realita pomalu stala nedílnou součástí mnoha špičkových technických oborů. Využití v armádě pomáhá ke snižování nákladů a ochraně zdraví a životů vojáků. Piloti, ať už vojenští či civilní, mohou díky virtuální realitě trénovat ovládání letadla, aniž by riskovali zničení velmi drahého stroje. V medicíně pak mohou chirurgové provádět simulaci nových postupů při operacích bez ohrožení pacientova života. V neposlední řadě pak virtuální realita zasahuje do herního odvětví.

Datová rukavice je důležitá část virtuální reality. Pomocí ní máme možnost ovlivňovat dění ve virtuálním světě. Historie datové rukavice sahá ke konci sedmdesátých let, kdy byla představena první datová rukavice výzkumného ústavu Illinoiské univerzity v Chicagu. Od té doby se objevilo mnoho variant datových rukavic. I když se velmi často liší designem, všechny pracují na stejném principu využití ohybových senzorů ke kopírování pohybu lidské ruky. Tato práce se bude zabývat návrhem a realizací nového modelu datové rukavice.

2 Stanovení cílů práce

Projekt *Datová rukavice* je teamovou prací mou a kolegy Jana Štěpánka. Cílem je vytvořit zařízení, které si uživatel nasadí na ruku. Ohybovými senzory a akcelerometrem pak bude snímat její pohyb, pomocí mikrokontroléru budou odečítány jednotlivé hodnoty ohybu prstů a náklonu dlaně. Ty se přes bluetooth sériovou linku přenesou do počítače, kde po filtraci budou ovládat model ruky v prostředí Matlab/Simulink. Výsledkem práce by tedy měl být virtuální model ruky reagující co nejdříve na pohyby uživatele.

Tato práce se bude zabývat mými úkoly v týmu, tedy:

- Měření vlastností ohybových senzorů a akcelerometru
- Osazení rukavice ohybovými senzory a akcelerometrem
- Návrh a výroba desky plošných spojů elektroniky rukavice
- Napsání programu pro mikrokontrolér ATmega8 pro snímání hodnot z ohybových senzorů a akcelerometru
- Realizace komunikace elektroniky rukavice s PC přes sériovou linku

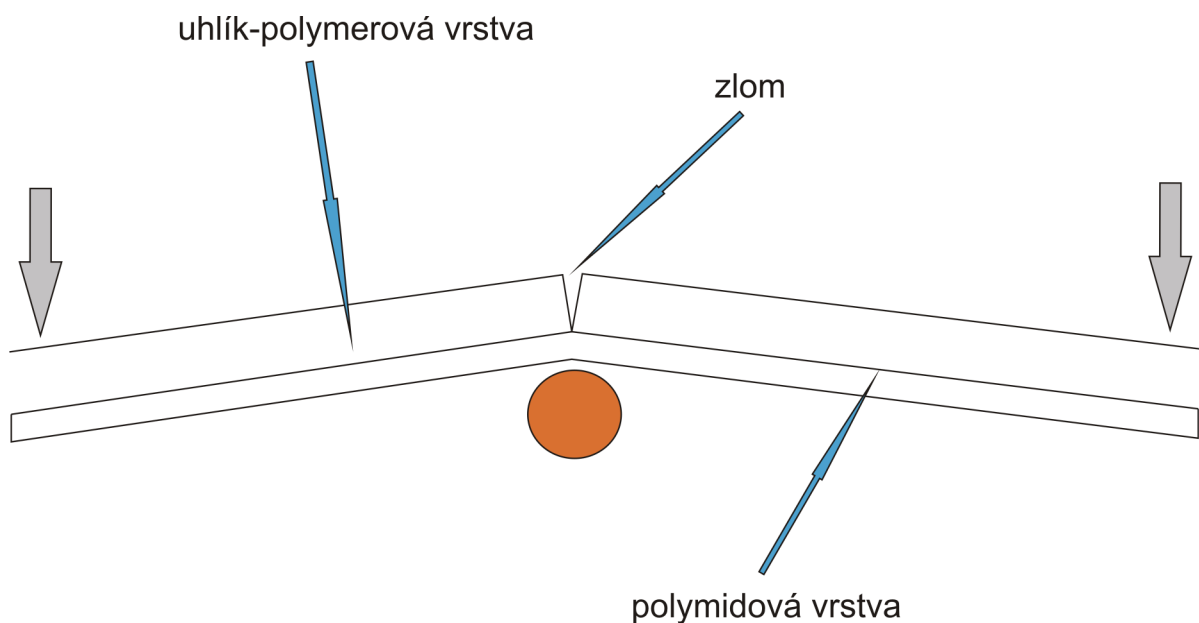
Kolega Štěpánek má na starosti tyto úkoly:

- Tvorba virtuálního modelu lidské ruky v jazyce VRML
- Rozšíření již hotové elektroniky rukavice o bezdrátovou komunikaci s PC přes rozhraní BlueTooth
- Tvorba modelu v programu Simulink
- Tvorba grafického rozhraní pro snadné užívání rukavice

3 Ohybové senzory

3.1 Princip fungování ohybových senzorů

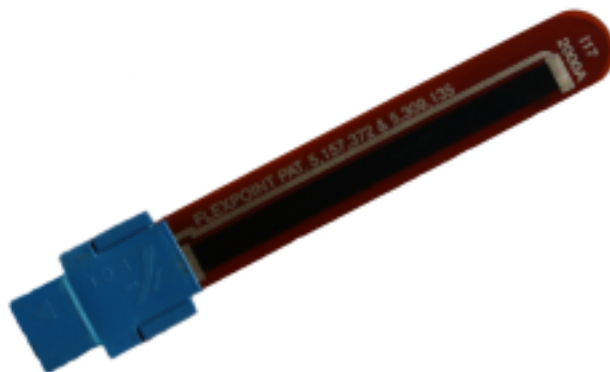
Mezi hlavní výrobce ohybových a FSR senzorů patří Images Scientific Instruments [2], Spectra Symbol [3] a Flexpoint [5]. Všichni výrobci využívají stejný princip. Jedná se o nanesení tenké uhlík-polymerové vrstvy na jakýkoliv ohebný materiál, zpravidla to bývá polyamidová fólie. Uhlík-polymerová vrstva je velmi křehká a na ohnutí reaguje vznikem mikrotrhlin, které způsobují zvýšení odporu této vodivé vrstvy. Princip je znázorněn na obrázku 3.1. Při ohýbání senzoru na jeho svorkách tedy měříme změnu elektrického odporu. Jak je tato změna odporu závislá na hodnotě ohybu, bude uvedeno v kap. 3.2.



Obr. 3.1: Princip fungování ohybového senzoru

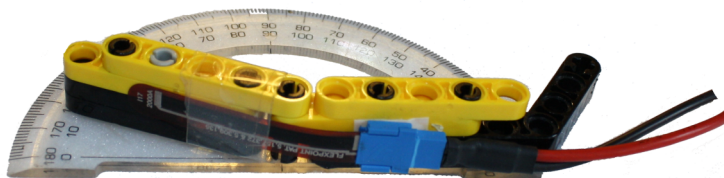
3.2 Vlastnosti použitého ohybového senzoru

Senzor použitý v této práci pochází od firmy Flexpoint[5], jedná se o tzv. unidirectional, tedy „jednosměrně“ ohybový senzor. Znamená to, že reaguje pouze na ohyb jedním směrem, při opačném ohybu se hodnota odporu nemění. Podrobnější údaje lze nalézt v datasheetu [6].



Obr. 3.2: Použitý ohybový senzor od firmy Flexpoint

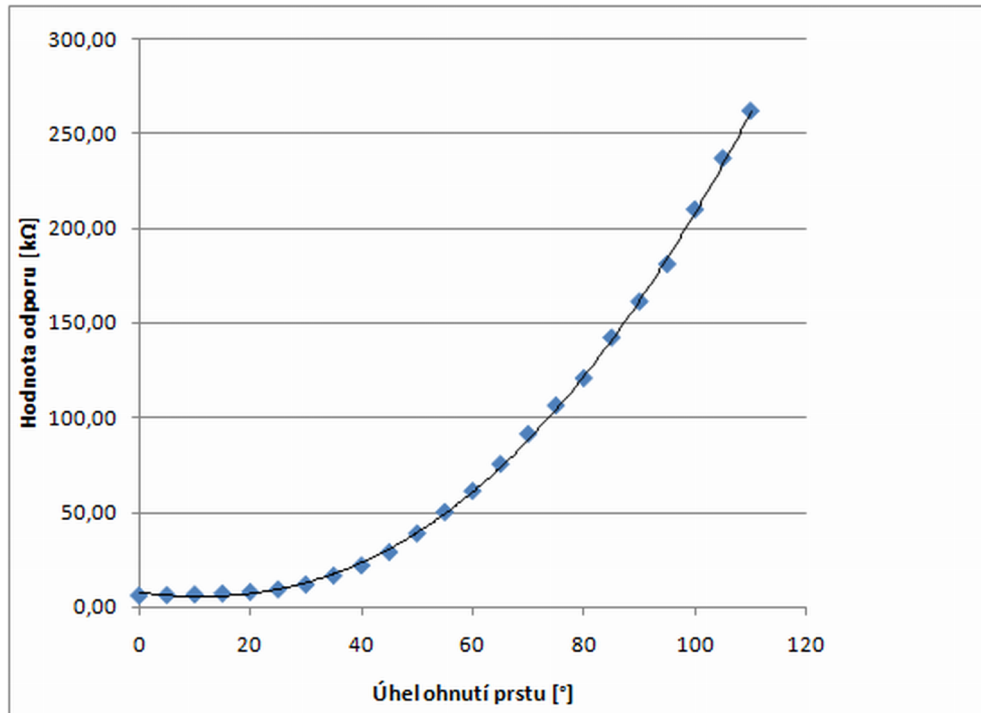
Jako nejdůležitější vlastnost senzoru nás zajímá změna odporu v závislosti na ohybu. Již při pohledu do datasheetu bylo jasné, že se nebude chovat zcela lineárně. Za účelem odečtení charakteristiky bylo sestaveno jednoduché zařízení ze stavebnice LEGO 3.3 a úhломěru, simulující ohyb lidského prstu. Hodnota odporu potom byla odečtena na běžném multimetru.



Obr. 3.3: Jednoduché zařízení z lega, simulující ohyb prstu

Měření bylo provedeno v rozsahu 0 - 110° po pěti stupních. Hodnota 110° byla zvolena jako maximální možný úhel ohnutí, kterého lze dosáhnout na prstech běžného dospělého člověka. Naměřené hodnoty jsou vyneseny do grafu 3.4.

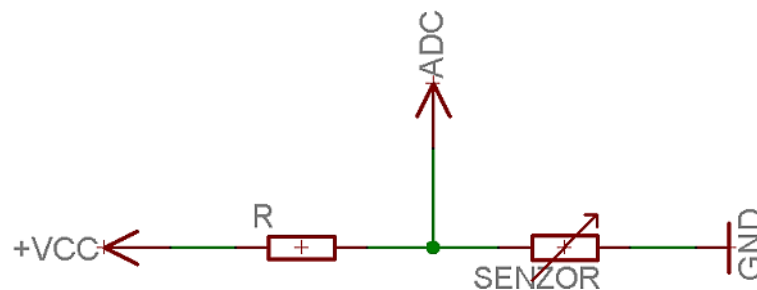
Jak vidno, závislost není lineární, je tedy nutno počítat s tím, že skutečné ohnutí prstu nebude odpovídat ohnutí prstu na virtuálním modelu. Odesílaná data se tedy musí zpracovat a převést na lineární ohyb. Jak bylo zmíněno v úvodu, tímto se zabývá kolega Štěpánek ve své práci [1].



Obr. 3.4: Závislost změny odporu na ohnutí prstu

3.3 Elektrické zapojení

Jako nejjednodušší zapojení ohybového senzoru je napěťový dělič:



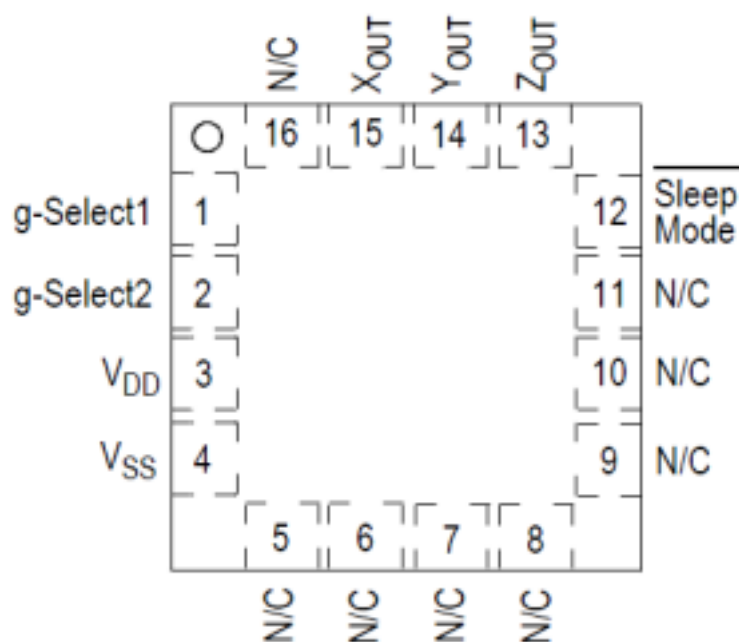
Obr. 3.5: Napěťový dělič

Napětí U_{SENZOR} mezi svorkami **ADC** a **GND** vypočítáme dle jednoduchého vzorce:

$$U_{SENZOR} = \frac{R_{SENZOR}}{R_{SENZOR} + R} \cdot U_{VCC}$$

Díky proměnnému odporu ohybového senzoru R_{SENZOR} jsme tak jednoduše vytvořili potenciometr. Zapojením každého snímače dle schématu na obr.č.3.5 tak snadno můžeme měřit změnu napětí (odpovídají změně ohybu) na jednotlivých senzorech, pouze s jedinou pasivní součástí. Tou je odpor \mathbf{R} . Jeho hodnota byla experimentálně zvolena na $75\text{k}\Omega$. V datasheetu [7] jsou uvedené další zapojení, využívající operačního zesilovače. Nicméně v rámci zjednodušení celé konstrukce bylo od tohoto zapojení upuštěno.

4 Akcelerometr MMA7260



Obr. 4.1: Schéma akcelerometru MMA7260

Jako akcelerometrická jednotka pro *Datovou rukavici* byl použit tříosý akcelerometr MMA7260Q od firmy Freescale. Je založen na technologii MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) na kapacitním principu. V každé ose akcelerometru je tříelektrodový kondenzátor. Krajní elektrody jsou pevné, prostřední elektroda je pohyblivá. Vystavíme-li akcelerometr zrychlení, prostřední elektroda se pohne, čímž se změní poměr kapacit. Tato změna kapacit mezi jednotlivými elektrodami je interpretována jako akcelerace.

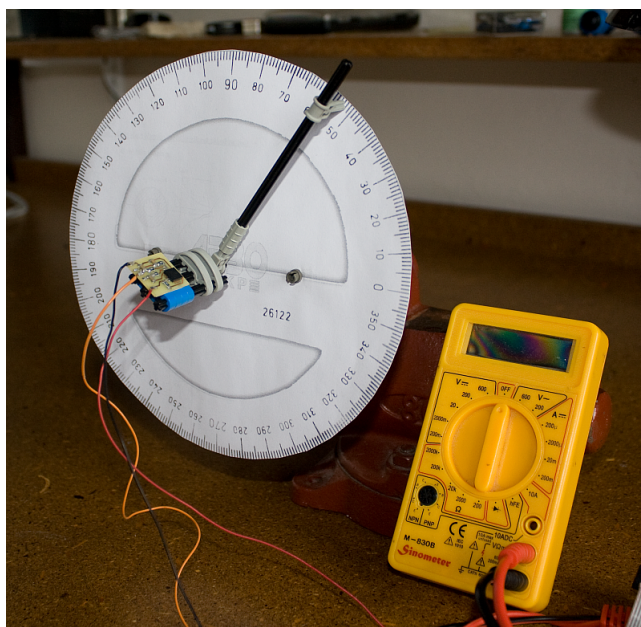
4.1 Vlastnosti akcelerometru MMA7260

Jako základní vlastnosti lze uvést:

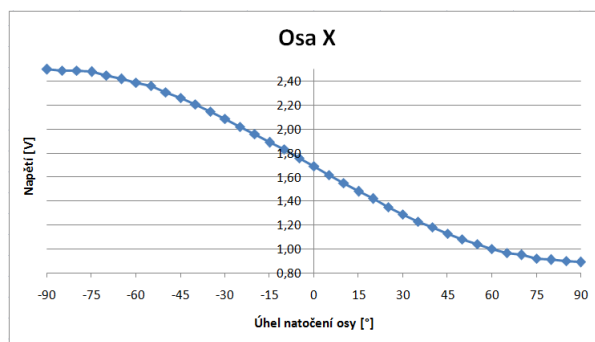
- Volitelná citlovost: 1.5g/2g/4g/6g
- Nízký odběr: 500 μ A
- Sleep mód: 3 μ A
- Napájení: 2.2V - 3.6V

- Pouzdro: TQFN

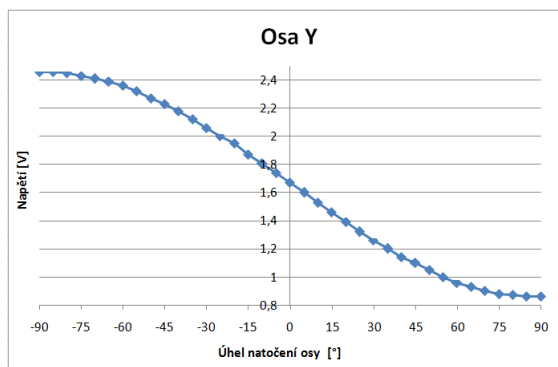
Nejdůležitější vlastnost co nás zajímá, je změna napětí na jednotlivých osách akcelerometru v závislosti na jeho natočení. Pro tento úkol bylo ze stavebnice Lego sestrojeno jednoduché měřící zařízení, je vidět na obrázku číslo 4.2. Pomocí něho byla jednoduše změřena charakteristika pro všechny tři osy. Měření bylo prováděno po pěti stupních, hodnoty náklonu a napětí vyneseny do tabulky, ze které se pro každou osu vynesly grafy 4.3, 4.4 a 4.5. Jak jde vidět, závislost úhlu natočení osy akcelerometru a změny napětí není lineární, ale kopíruje průběh funkce sinus. Celý problém je snadno představitelný na jednotkové kružnici. Pro zjednodušení si lze představit natočení osy o 90° jako zrychlení $1g$, natočení 0° jako $0g$. Avšak nakloníme-li akcelerometr o 45° , nezískáme zrychlení $0,5g$. To dle jednotkové kružnice platí pro úhel 30° . Při ovládání virtuálního modelu je tedy nutno počítat s nelinearitou výstupních hodnot akcelerometru a patřičně příchozí hodnoty zpracovat.



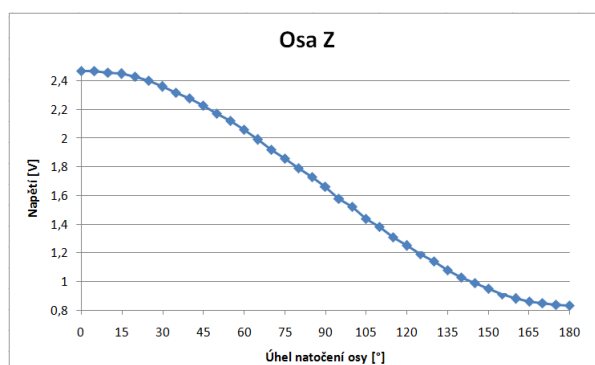
Obr. 4.2: Měřící zařízení pro akcelerometr



Obr. 4.3: Graf závislosti natočení a změny napětí osy X



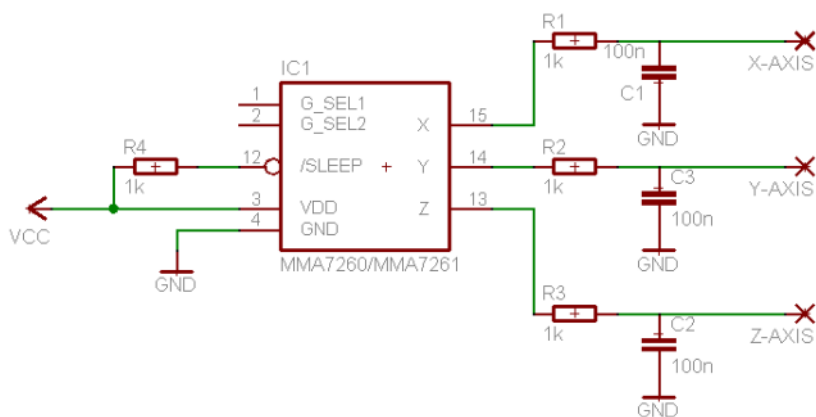
Obr. 4.4: Graf závislosti natočení a změny napětí osy Y



Obr. 4.5: Graf závislosti natočení a změny napětí osy Z

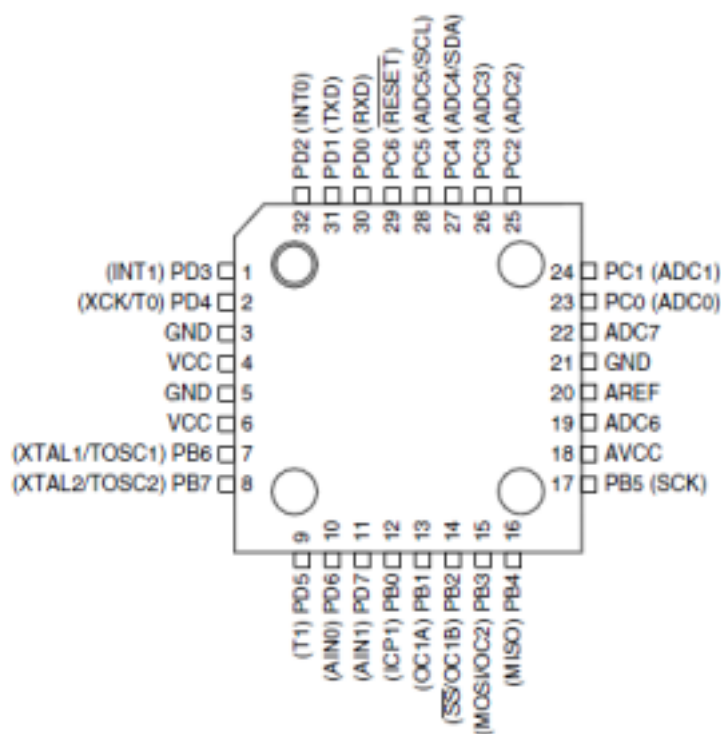
4.2 Elektrické zapojení

Zapojení akcelerometru je poměrně jednoduché, vyšlo z datasheetu [9]. V zapojení nebyl uvažován režim snížené spotřeby, port **SLEEP** je proto přes odpor **R4** trvale připojen na napjení. Tím je do něj zapsána logická „jednička“ a režim Sleep je tak deaktivován. Porty **G-SEL1** a **G-SEL2** slouží pro přepínání citlivosti akcelerometru. Jak jde vidět (obr.č.4.6), ani jeden není zapojen, na obou je logická „nula“, akcelerometr je tedy nastaven na základní citlivost 1.5g. Pro snímání náklonu lidské ruky je to dostatečná citlivost. Porty **X**, **Y** a **Z** jsou napěťové výstupy pro každou osu. Nulové zrychlení v ose je reprezentováno napětím 1.65V, záporné zrychlení o hodnotě -1g pak napětím 0.85V a kladné zrychlení +1g napětím 2.45V. Každý z těchto portů je připojen na AD převodník mikrokontroléru přes RC filtr doporučený v datasheetu [9]. Nutno podotknout, že tento RC filtr je prakticky nezbytný. V prvních návrzích na něj bylo zapomenuto a odečítání hodnot náklonu bylo téměř nemožné, z důvodu vysokého šumu v signálu.



Obr. 4.6: Schéma elektrického zapojení akcelerometru MMA7260

5 Mikrokontrolér ATmega8



Obr. 5.1: Schéma mikrokontroléru ATmega8

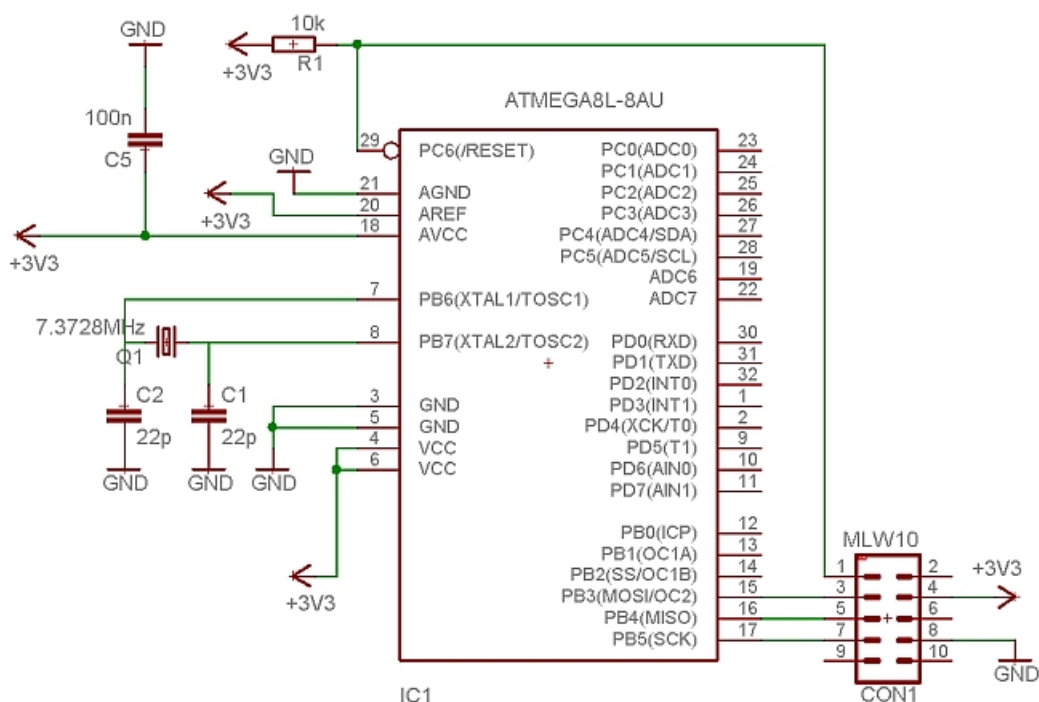
5.1 Základní vlastnosti

Mozkem celého zapojení je mikrokontrolér ATmega8L. Byl zvolen z důvodu příznivé ceny, snadné dostupnosti a dobré funkční vybavenosti. Jedná se o variantu v SMD pouzdře TQFP. Koncovka L značí sníženou potřebu napájení, byla využita z důvodu napájení celého systému jednou baterií Li-Pol o nominální hodnotě napětí 3.7V. Varianta bez koncovky L pracuje při napětí v rozmezí 4.5-5.5V. Bylo by tedy nutné celý systém napájet ze dvoučlánku baterií Li-Pol a pětivoltového stabilizátoru. Takto nám však stačí jeden, 3.3-voltový stabilizátor jak pro napájení mikrokontroléru, tak pro napájení akcelerometru a všech dalších součástek. Jediným omezením varianty L je taktovací frekvence, která je omezena na 8MHz. Výhodou SMD pouzdra TQFN oproti DIL je minimalizace rozměrů, ale také větší počet ADC převodníků. Těch je

v pouzdře TQFN 8, v DIL pouzdře „pouze“ 6. Další technické parametry lze najít v datasheetu [8].

5.2 Elektrické zapojení

Mikrokontrolér ATmega8 pro svůj běh potřebuje minimum externích součástek. V našem případě se jedná pouze o obvod napájení (popasán v kapitole 7.1) a krystal určující takt mikrokontroléru. Frekvence externího krystalu byla zvolena 7,3728 MHz. Základní zapojení je poté ještě doplněno o programovací konektor.



Obr. 5.2: Základní zapojení mikrokontroléru

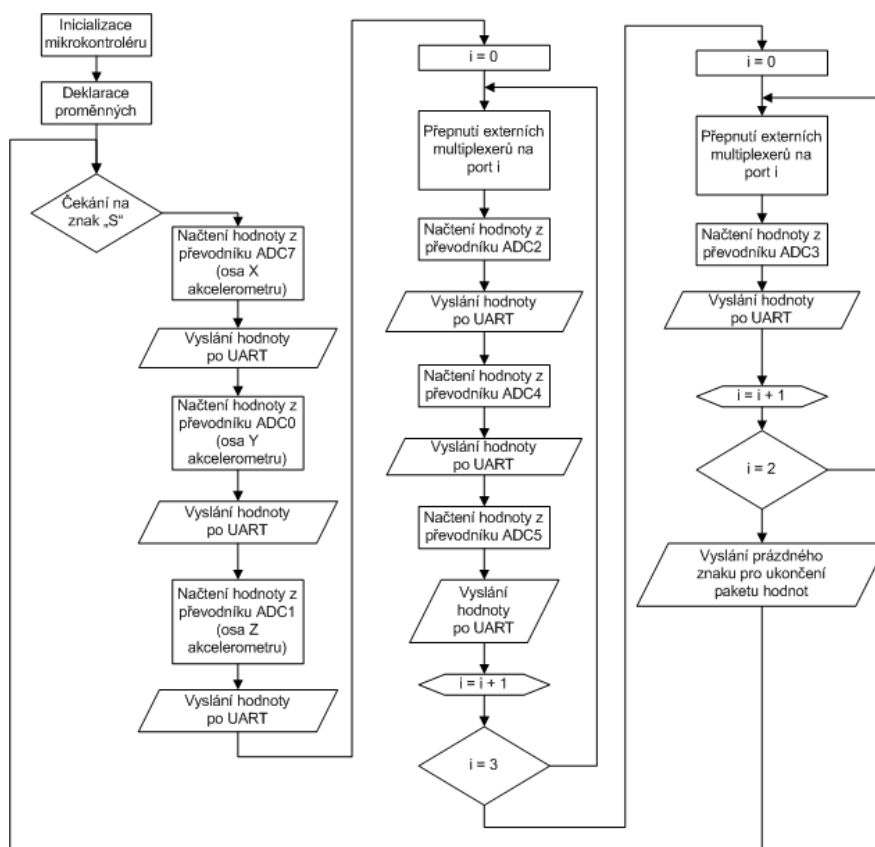
5.3 Programové vybavení

Program pro mikrokontrolér je napsán v jazyce Bascom-AVR, založeném na programovacím jazyce Basic. Jeho výhodou je jednoduchost pro začátečníka, který má pouze minimální či žádné zkušenosti s programováním mikrokontroléru. Syntaxe programu je velmi intuitivní. Na začátku zadáme kompilátoru údaje, s jakým typem mikrokontroléru budeme pracovat. V našem případě to je Atmega8, zadáme tedy kompilátoru příkaz, aby načetl soubor m8def.dat, ve kterém jsou definovány všechny vstupní a výstupní porty a jejich fyzické adresy. V dalším kroku ještě uvedeme, s jakou frekvencí pracuje náš mikrokontrolér a na jakou rychlost bude nastavena přenos

po sériové lince. Následně si nadefinujeme pomocné proměnné. Pro osy akcelerometru to jsou **X**, **Y** a **Z**, do proměnné **U** zapisujeme hodnotu napětí baterie, proměnné **V**, **W**, **Q** a **S** slouží k ukládání hodnot ohybu sensorů.

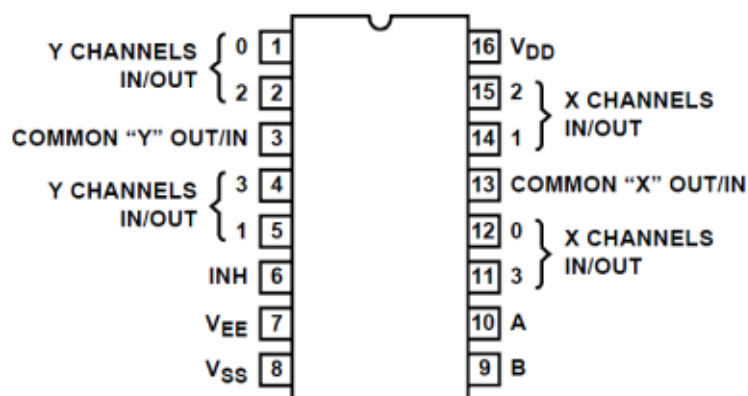
Tělo programu obsahuje smyčku, na jejímž začátku se čeká, až po sériové lince přijde znak **S**. Tím se rozběhne cyklus s odečtem hodnot. Postupně jsou načteny (příkaz GETADC) a odeslány (příkaz Print) hodnoty napětí baterie a náklonu os akcelerometru. Následuje cyklus *DO-LOOP*, na jehož začátku se do portu **B** zapíše binární hodnota proměnné *i*. Tím se na multiplexerech sepnou kanály dle tabulky 6.1. Postupně se tedy načtou a odešlou hodnoty ohybu čtyř sensorů. Na konci cyklu se pomocná proměnná *i* příkazem *INCR i* zvýší o jedna a celý cyklus se opakuje, dokud není splněna podmínka *LOOP UNTIL i=3*. Na konci celé smyčky vytiskneme prázdný znak. Tím dáme Simulinku najevo, že se jedná o konec paketu s hodnotami a čekáme od něj opět znak **S**, aby mikrokontrolér mohl začít s novým odečtem hodnot.

Program je do mikrokontroléru nahrán přes ISP programátor pomocí softwaru PonyProg 2000. Vývojový diagram je vidět na obrázku 5.3.



Obr. 5.3: Vývojový diagram programu pro mikrokontrolér ATmega8

6 Multiplexer CD4052B



Obr. 6.1: Schéma multiplexeru CD4052B

Jak bylo řečeno v kapitole atmega, ATmega8 má 8 vstupů do analog-digitálního převodníku. Na rukavici však máme jedenáct ohybových senzorů a trojosý akcelerometr. Tím pádem potřebujeme čtrnáct vstupů AD převodníku. Rozšíření dosáhneme použitím multiplexeru. Ten podle zápisu logické jedničky nebo nuly do adresovacích portů **A** a **B** (obr.č.6.1) přepíná mezi jednotlivými vstupy. Na výstupu se pak objeví signál z toho vstupu, který je zrovna porty **A** a **B** nastaven. Přepínání se děje dle tabulky 6.1.

INHIBIT	B	A	PORT
0	0	0	0x, 0y
0	0	1	1x, 1y
0	1	0	2x, 2y
0	1	1	3x, 3y
1	X	X	NONE

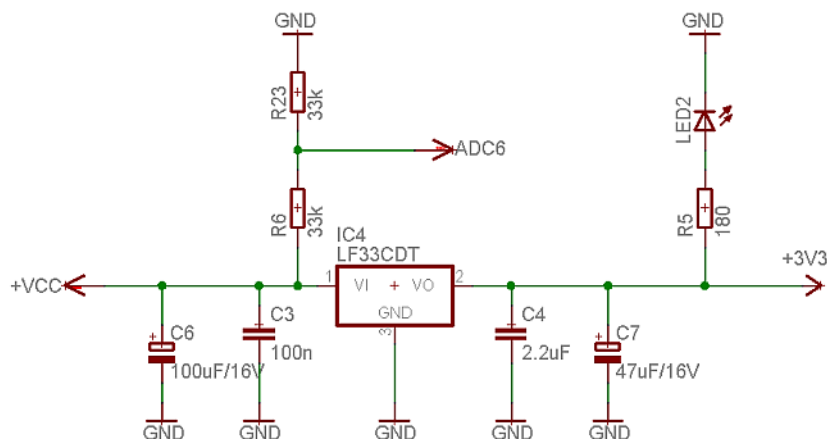
Tab. 6.1: Logická tabulka přepínání vstupů multiplexeru

7 Vlastní rukavice

7.1 Elektronika

7.1.1 Napájení

Jako zdroj byl použit jeden článek Lithium-Polymer akumulátoru o kapacitě 1200mAh. Hlavní předností tohoto článku je nízká váha a malé rozměry. Snadno se tak ukryje do menší krabičky s elektronikou. Také nominální napětí 3.7V ideálně vyhovuje pro napájení stabilizátoru LF33CDT, který zajišťuje stabilizované napětí 3.3V pro všechny elektronické součástky v konstrukci. Zapojení stabilizátoru je dle



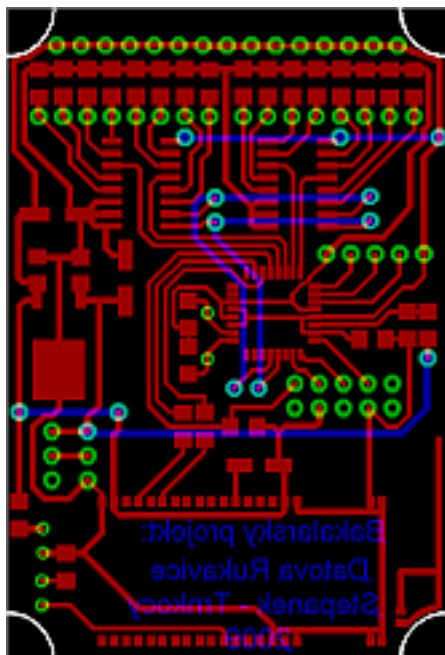
Obr. 7.1: Schéma napájecí části

doporučení z datasheetu [4]. Led dioda **LED2** svou zelenou barvou indikuje zapnuté napájení. Odpor **R6** a **R23** slouží jako odporový dělič, z jehož středu vedeme signál do portu **ADC6** na mikrokontroléru (Obr.č.5.1) a můžeme tak snímat napětí baterie.

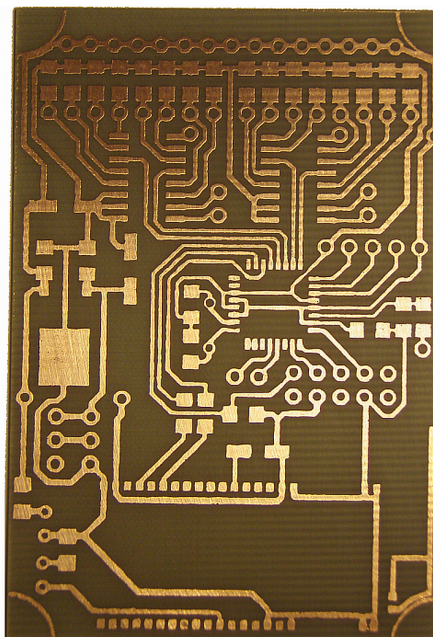
7.1.2 DPS

Deska plošných spojů je vyrobena amatérskou domácí metodou. Z programu Eagle je návrh spojů vytištěn laserovou tiskárnou na dětské barevné lepicí papíry, resp. na jejich lepicí stranu. Tato předloha je poté přezhlena na dobře očištěný kupřexit. Po přižehlení se kupřexit ponoří do nádoby s vodou, kde se po chvíli papír oddělí, ale toner zůstává na povrchu mědi. Následuje už samotné leptání v lázni kyseliny chlorovodíkové a peroxidu vodíku.

Tato metoda je bohužel poměrně nevyzpytatelná. Občas se z neznámých důvodů nedrží toner na papíru, jindy je problém přežehlit toner na kuprexit. Nicméně s trochou praxe se dá dosáhnout uspokojivých výsledků. Návrh desky plošných spojů pro datovou rukavici prošel několika testovacími verzemi, výroba DPS na zakázku by tedy byla finančně i časově náročná. Se základními prostředky tak máme ideální metodu výroby DPS na prototypy.



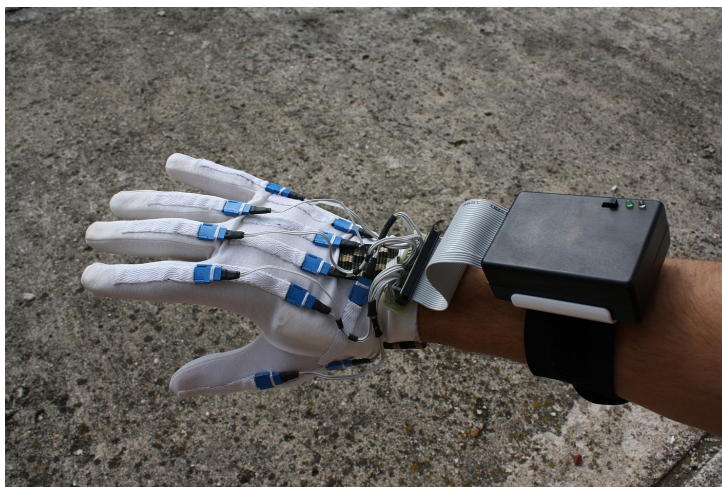
Obr. 7.2: Návrh DPS v programu Eagle



Obr. 7.3: Hotová neosazená DPS

7.1.3 Celkové zapojení

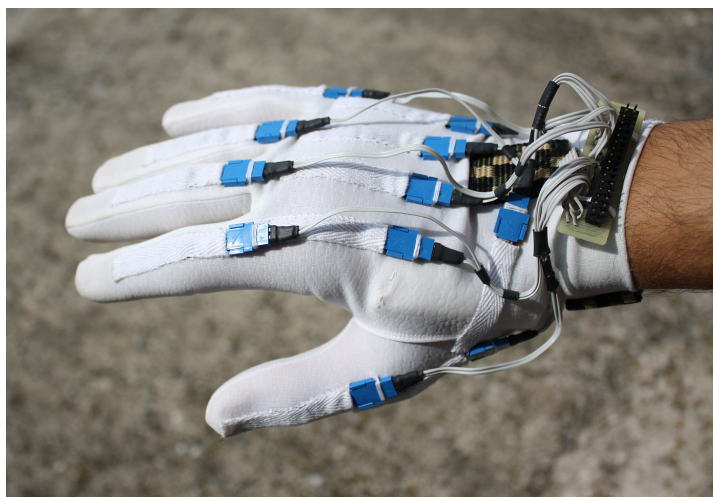
Celkové zapojení je spojením dříve uvedených schémat pro jednotlivé části rukavice. Všechny součástky jsou napájeny 3.3 volty ze stabilizátoru napětí LF33CDT. Střední napěťových děličů vytvořených pomocí ohybových senzorů a pomocných odporů jsou svedeny na jednotlivé vstupy multiplexerů. Mezi nimi přepíná mikrokontrolér pomocí výstupů **PB0** a **PB1**. Všechny výstupy multiplexerů jsou jednotlivě připojeny na porty ADC převodníku mikrokontroléru **ADC2** až **ADC5**. Osa **X** akcelerometru je připojena na port **ADC7**, osa **Y** na port **ADC0** a osa **Z** na port **ADC1**. Bluetooth modul je s mikrokontrolérem propojen přes porty **PD0(RXD)** a **PD1(TXD)**. Zde je potřeba dbát opatrnosti, aby vysílací port **TX** mikrokontroléru odesílal data do přijímacího portu **RX** bluetooth modulu a opačně. Nepozornost svádí k propojení pinů se stejným názvem, což vede k nefunkčnosti sériové komunikace. Jako poslední



Obr. 7.5: Rukavice s elektronikou

7.3 Umístění senzorů

Před samotným umístěním senzorů na rukavici bylo třeba rozmyslet, které klouby na ruce budeme snímat. Z prostého sledování lidské ruky bylo dospěno k názoru, že na všech prstech stačí snímat ohyb základního kloubu a kloubu mezi prvním a druhým článkem prstu. Ohyb třetího článku prstu snímat není třeba, neboť je v závislosti na ohybu druhého článku prstu. Na každý prst nám tak stačí použít dva ohybové senzory. Jediný další senzor je použit na snímání polohy záprstní kosti palce vůči dlani. Akcelerometr je umístěn na horní straně rukavice. Rozmístění jednotlivých snímačů je vidět na obr.č.7.6.



Obr. 7.6: Rozmístění senzorů na rukavici

8 Testování a vlastnosti

8.1 Testování rukavice

Jako první během testování byl změřen odběr celého zařízení. Ten činil 17 mA v nepřipojeném stavu. Po spárování s počítačem odběr stoupl na 62 mA. Zařízení tak může při použitém akumulátoru běžet několik hodin.

Jak bylo uvedeno v kapitole 3.2, závislost změny odporu na úhly ohnutí senzoru je nelineární. Průběh ohnutí prstu v rukavici by tedy neodpovídal ohnutí prstu virtuálního. Zpočátku byla ve virtuálním modelu obsažena interpolační funkce, která měla za úkol data přicházející z rukavice převést na lineární ohyb. Tyto výpočty ale rapidně snižovaly rychlost simulace. Proběhl tedy test s čistými daty bez interpolace. Ukázalo se, že nelinearita senzorů ve výsledné simulaci je prakticky nepostřehnutelná. V zájmu plynulosti tedy bylo od interpolací upuštěno.

Největším problémem se ukázalo být snímání ohybu palce, resp. pohyb jeho záprstní kosti vůči dlani. Ten totiž nevytváří na ruce výraznější zlom, hodnota odporu ohybového senzoru se tak mění jen minimálně. Řešením bylo do místa napříč pod snímač vsít kousek srolované látky. Tím se vytvořil potřebný zlom, navíc se rozsah pohybu senzoru posunul do daleko citlivější oblasti charakteristiky.

Jelikož jsou snímače vyrobeny z tenkého a ohebného materiálu, snadno reagují na každý ohyb. I když je rukavice elastická a dobře kopíruje povrch ruky, přesto se na ní občas vytvoří nechtěné záhyby, na které senzory velmi ochotně reagují. To je samozřejmě nežádoucí, proto byl pod každý snímač umístěn proužek fólie Durofol o tloušťce několika desetin milimetru. Rozsah pohybu zůstal nezměněn, byly však eliminovány různé drobné výkyvy hodnot.

8.2 Postřehy z výroby

Je třeba říct, že projekt Datová rukavice byl pro nás vůbec první praktické seznámení s elektronikou, mikrokontroléry a jejich programováním. Při návrhu a ožívování jsme se nevyhnuli mnoha problémům a spoustě "nevysvětlitelných" chování celého zapojení. Často se jednalo o chyby z nepozornosti či nezkušenosti, přesto je na místě ty největší z nich zmínit:

- Před odesláním hodnot z mikrokontroléru do bluetooth modulu je nejdříve třeba navázat spojení s počítačem. Až poté je možno spustit AD převod a přenos dat. Odesílání hodnot do bluetooth zařízení před úspěšnou komunikací s počítačem způsobí "zamrznutí" BT modulu a nemožnost jeho spárování.

- U multiplexeru je třeba neopomenout uzemnit pin **INH**. V prvních prototypch zapojení byl pin ponechán zcela nezapojen, což vedlo k "záhadným" výkyvům hodnot, případně úplné nefunkčnosti odečítání. Proběhla i výměna multiplexeru v domění, že se jedná o vadný kus. Až po několika hodinách bádání byl problém odhalen.
- Jak již bylo zmíněno v kapitole 7.1.3, při práci se sériovým rozhraním je třeba dbát ostražitosti při propojování komunikačních pinů mezi jednotlivými zařízeními. Nepozornost svádí spojit piny se stejným názvem, např. **TX** s **TX**. Logicky je ale třeba spojit vysílací a přijímací část, tedy pin **TX** s **RX** !
- Je třeba důsledně filtrovat napájení mikrokontroléru, zejména pak vstup pro referenční napětí **AREF**. Předjedeme tím fluktuacím hodnot při AD převodu.
- RC filtr u jednotlivých os akcelerometru je nezbytný, bez něj byl odečet hodnot prakticky nemožný.

8.3 Návrhy na vylepšení

Datová rukavice zcela přesně nekopíruje pohyb lidské ruky. Hlavním nedostatkem je chybějící snímání roztažení prstů. Při dané konstrukci snímačů by bylo velmi problematické jejich umístění na rukavici tak, aby snímaly požadovaný pohyb. Nicméně vyřešením tohoto problému by se reálnost simulace ještě zvýšila.

9 Závěr

Cílem bakalářské práce byl návrh a realizace Datové rukavice. Na běžnou rukavici byly rozmístěny ohybové senzory a akcelerometr. Dále byla navrhuta a osazena DPS pro elektronickou část rukavice. Ta obsahuje mikrokontrolér ATmega8, pomocí něhož se realizuje odečet analogových hodnot ze sensorů. Tyto hodnoty se poté posílají do počítače po bluetooth sériové lince, kde se v programu Matlab/Simulink realizuje jejich odečet a filtrace.

Celý projekt byl bez předchozích praktických zkušeností s elektronikou či programováním brán jako velká výzva. Výsledek celé práce hodnotím jako úspěch, požadavky zadání byly splněny, rukavice funguje dle očekávání. Vlastní využitelnost je však hlavně ovlivněna ovládacím softwarem v počítači.

10 Literatura a odkazy

- [1] ŠTĚPÁNEK, J.: *Datová rukavice: vizualizace ve VRML a návrh elektroniky.*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009
- [2] IMAGES SCIENTIFIC INSTRUMENTS:, <http://www.imagesco.com/sensors/flex-sensor.html>, 2009-08
- [3] SPECTRA SYMBOL:, <http://www.spectrasymbol.com/typo3/site/en/home.html>, 2009-08
- [4] STMICROELECTRONICS, LF33CDT DATASHEET:, <http://www.chipcatalog.com/Datasheet/07E34FD533023C8736DC58600A4C3D4B.pdf>, 2009-08
- [5] FLEXPOINT:, <http://www.flexpoint.com/>, 2009-08
- [6] FLEXPOINT, BEND SENSOR - MECHANICAL DATASHEET:, <http://www.flexpoint.com/technicalDataSheets/mechanicalDesignGuide.pdf>, 2009-08
- [7] FLEXPOINT, BEND SENSOR - ELECTRONICAL DATASHEET:, <http://www.flexpoint.com/technicalDataSheets/electronicDesignGuide.pdf>, 2009-08
- [8] ATMEL, ATMEGA8 DATASHEET:, http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf, 2009-08
- [9] FREESCALE, MMA7260 DATASHEET:, http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7260QT.pdf, 2009-08