

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Integrace externích senzorů do systému Bioloid

Integration of an External Sensors to the System Bioloid

Student:

Stefan Grushko

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdenko Bobovský, PhD.

Ostrava 2015

## Zadání bakalářské práce

Student: **Stefan Grushko**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2301R013 Robotika

Téma: **Integrace externích senzorů do systému Bioloid**  
**Integration of an External Sensors to the System Bioloid**

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte možnost integrace externích senzorů do systému Bioloid.
2. Specifikujte detailní požadavkový list pro integraci externích senzorů.
3. Navrhněte varianty řešení v souladu se sestaveným požadavkovým listem. Proveďte vzájemné zhodnocení navržených variant na základě zvolených kritérií a vyberte z nich tu nejlepší.
4. Zvolenou variantu rozpracujte. Navržené technické řešení doložte zdrojovým kódem řídicího programu.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD.

Seznam doporučené odborné literatury:

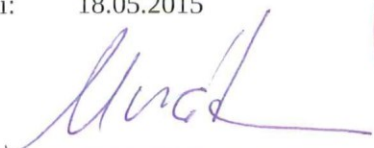
- ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.
- ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- DRASTÍK, F. *Technické kreslení I. – pravidla tvorby výkresů ve strojírenství*. 2. vydání. Ostrava: Montanex Ostrava, 2005. 260 s. ISBN 87-7225-195-3.
- SKAŘUPA, J.; MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.
- KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6.
- NOVÁK, P. *Mobilní roboty 1. - Pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Vydavatelství: BEN - technická literatura, 2005. 247s. ISBN 80-730-0141-1.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdenko Bobovský, PhD.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015

  
prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.05.2015



.....


podpis studenta

## Prohlášení o využití výsledků práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít toto dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18.05.2015



.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Stefan Grushko

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Shturmovaya 5/43, Ukrajina,  
Zápороží, 69096

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

GRUSHKO, S. Integrace externích senzorů do systému Bioloid: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2015, 49 s. Vedoucí práce: Ing. Bobovský, Z, PhD.

Bakalářská práce se zabývá tématem integrace senzorů zrychlení a svalové aktivity do robotického systému Bioloid. V práci byla provedena analýza technologií použitých v senzorech a sadě Bioloid, a také standardních možností integrace dodatečných senzorů do sady. Na základě požadavků na systém byly navrženy varianty řešení, které by je splňovali. Pomocí metody hodnotové analýzy byla vybrána optimální varianta, která dále byla detailně rozpracována. Byl vytvořen prototyp systému a také jeho softwarové zabezpečení. Provedené testy ukázaly, že systém splňuje požadavky.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

GRUSHKO, S. *Integration of an External Sensors to the System Bioloid: Bachelor Thesis.* Ostrava. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2015, 49 p. Supervisor: Ing. Bobovský, Z, PhD.

The bachelor thesis deals with a topic of integration of sensors of acceleration and the activity of human muscles to the robotic system Bioloid. In this work were analyzed technologies, used in the sensors and the set Bioloid, as well as the standard possibilities of integration of additional sensors to the set. Based on the requirements to the system, were suggested solutions, which would pass them. Based on value analysis was chosen the optimal solution, which was then developed in detail. The prototype of the system as well as software to it were also made out. The conducted tests had shown that the system fulfills the requirements.

## Obsah

Seznam použitých zkratk a termínů .....	8
1 Úvod.....	9
2 Přehled robotického systému a senzorů.....	10
2.1 Robotis Bioloid Premium .....	10
2.1.1 Řídicí jednotka CM – 530 .....	11
2.1.2 Dynamixel AX-12A .....	12
2.1.3 RoboPlus .....	13
2.2 Senzor svalové aktivity – Muscle Sensor V3 .....	13
2.3 Akcelometry .....	15
2.3.1 Digitální akcelerometr Grove - 3-Axis Digital Accelerometer .....	15
2.3.2 Digitální akcelerometr ADXL3456.....	15
2.3.3 Analogový akcelerometr GY-61 .....	16
2.3.4 Analogový akcelerometr MMA7341LC .....	16
3 Požadavkový list .....	17
4 Varianty řešení .....	18
4.1 Varianta A.....	18
4.2 Varianta B.....	20
4.3 Varianta C.....	22
5 Hodnotová analýza .....	23
5.1 Výběr vhodných kritérií.....	23
5.2 Hodnocení jednotlivých variant dle vybraných kritérií .....	24
5.3 Stanovení významností kritérií .....	27
5.4 Určení součinitelů významností kritérií .....	27
5.5 Vypočet vážených indexů variant .....	28
5.6 Výběr optimální varianty.....	29
6 Schéma elektrického zapojení .....	30
6.1 Schéma elektrického zapojení přijímací strany .....	30

6.2	Schéma elektrického zapojení vysílací strany .....	31
7	Software .....	32
7.1	PC aplikace .....	32
7.1.1	Oblast stavu aplikace – “Application status” .....	33
7.1.2	Oblast nastavení parametrů sériových komunikací – “Settings” .....	33
7.1.3	Oblast kalibrace mezí citlivosti EMG senzoru – “EMG calibration” .....	34
7.1.4	Oblast přeposílání příkazů do přijímací strany – „EMG data transferring“ .....	35
7.1.5	Oblast manuálního zadání příkazů – “Manual command sending” .....	36
7.1.6	Oblast zobrazení údajů od akcelerometru – „Accelerometer“ .....	36
7.1.7	Postup startování komunikace mezi přijímací a vysílací částí .....	37
7.2	Aplikace pro Arduino na straně přijímací .....	38
7.3	Aplikace pro Arduino na straně vysílací .....	40
7.4	Aplikace pro chůzi robotu .....	41
7.5	Postup nastavení počítače pro komunikaci s BT modulem .....	41
8	Technická realizace .....	42
8.1	Realizace strany přijímací .....	42
8.2	Realizace strany vysílací .....	43
8.3	Elektrody .....	44
9	Testování systému .....	45
9.1	EMG senzor .....	45
9.2	Akcelerometr .....	45
10	Závěr .....	46
11	Použitá literatura .....	47
12	Seznam příloh .....	49

## Seznam použitých zkratk a termínů

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
AX-12A	Označení motorů série Dynamixel
BT	Bluetooth
CM-530	Označení řídicí jednotky
COM	Sériový port RS-232
EMG	Elektromyografie
GY-61, ADXL3456, MMA7341LC	Označení akcelerometrů
HC-05	Označení bluetooth modulu
ID	Identifikátor
USB	Universální sériová sběrnice

<b>Termín</b>	<b>Význam</b>
Bionický	Využívající spojení biologických a technických principů.
Elektromyografie	Metoda měření aktivity lidských svalů pomocí měření rozdílů elektrických potenciálů, které jsou generované samotnými svaly.



# 1 Úvod

Cílem bakalářské práce je integrace senzorů svalové aktivity a zrychlení do systému Bioloid a následující řízení systému pomocí údajů ze senzoru svalové aktivity. Práce se tedy dotýká tří aktuálních témat z oblasti robotiky, a to jsou: humanoidní roboty, robotické stavebnice a interface mezi člověkem a robotickým zařízením.

Robotická zařízení často spolupracují s člověkem na základě snímání velmi malých elektrických impulsů vydávaných lidskými svaly. Tento způsob se nazývá elektromyografie a je často využíván v robotických náhradách amputovaných končetin a exoskeletech, umožňujících mnohonásobně zvýšit sílu jeho uživatele pomocí řízených servopohonů, jinak řečeno, jedná se o "posilovač" končetin.

V poslední době se na trhu objevuje stále více různých robotických stavebnic. Stavebnice jako Bioloid umožňují rychlé a efektivní konstruování a testování velkého množství robotických zařízení, jinými slovy, nabízejí velký prostor pro prototypování. Největší výhodou těchto systémů je však rozšiřitelnost senzorické výbavy o další senzory a přístroje. Součástí zadání je mimo jiné právě výzkum možných rozšíření systému Bioloid o nové funkce, jako je ovládání robotu pomocí svalové aktivity člověka.

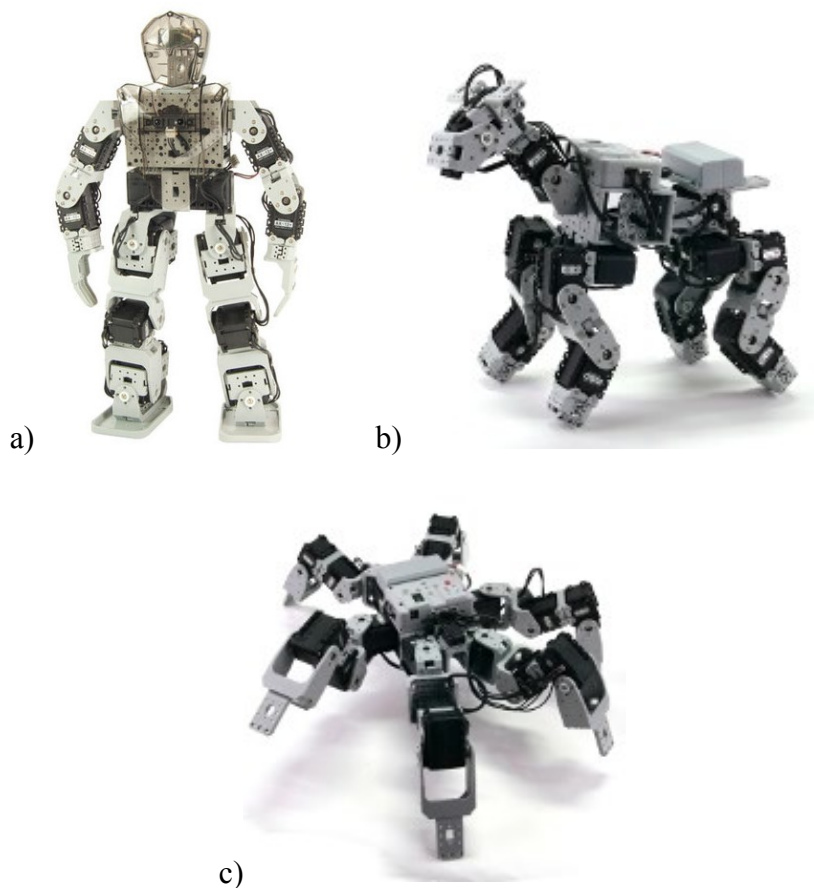
V práci bude provedena analýza technologií použitých v senzorech a sadě Bioloid, a také standardních možností integrace dodatečných senzorů do stavebnice. Na základě požadavků na systém budou navrženy varianty řešení, které by je splňovali. Z nich bude vybrána a rozpracována optimální varianta. Dále bude vytvořen prototyp systému a také jeho softwarové zabezpečení. Navržený systém bude otestován pro potvrzení splnění všech požadavků.

## 2 Přehled robotického systému a senzorů

Tato kapitola se zabývá přehledem technologií použitých v robotickém systému Bioloid, standardními možnostmi integrace senzorů do tohoto systému, a také samotnými senzory, které jsou určeny pro integraci do toho systému.

### 2.1 Robotis Bioloid Premium

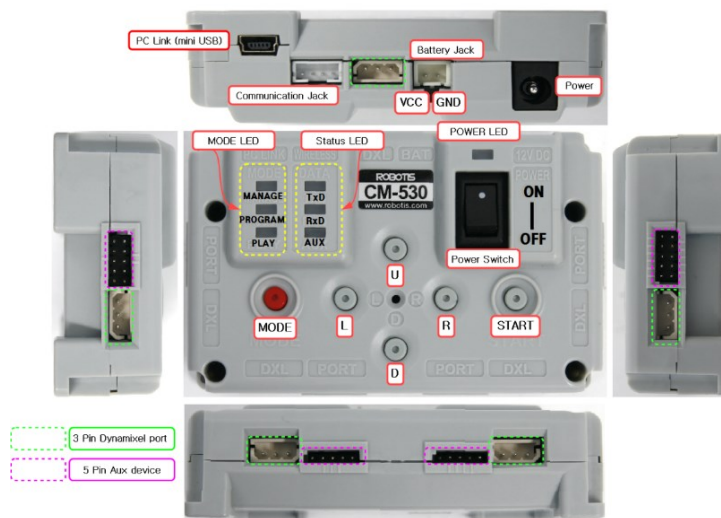
Robotis Bioloid – sada pro vytvoření automatického robotického systému. Tato sada je vyráběna korejskou společností Robotis. Sada Bioloid Premium obsahuje 18 motorů Dynamixel AX-12A, řídicí jednotku CM-530, gyroskop, infračervené senzory vzdáleností, infračervený ovladač, akumulátor a spojovací komponenty, ze kterých je možné sestavovat roboty různých konstrukcí (např. humanoidní, čtyřnohé, šestinohé viz. obr. 2.1).



Obr. 2.1 - Sada Bioloid - možné konstrukce robotů: a) humanoidní<sup>[1]</sup>, b) robot-pes<sup>[1]</sup>, c) šestinohý robot-pavouk<sup>[1]</sup>

## 2.1.1 Řídicí jednotka CM – 530

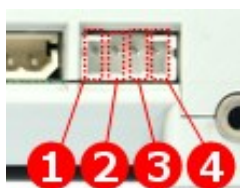
CM – 530 (obr. 2.3) je postavena na procesoru Atm Mega 256, doporučené napájení - 11,1 V, obsahuje 6 Aux - portů, 5 Dynamixel - portů, Rx\Tx piny RS-232.



Obr.2.3 – Řídicí jednotka CM – 530<sup>[3]</sup>

### Popis jednotlivých prvků:

- *PC link* – slouží k propojení CM-530 s počítačem.
- *Communication Device Connection Jack* – (sériový port, obr. 2.4) používá se pro bezdrátovou komunikaci s řídicí jednotkou.

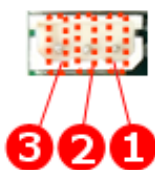


1. *GND* – zem.
2. *VDD* – napájení (2,7 – 3,6 V).
3. *RXD* – přijímání signálů.
4. *TXD* – posílání signálů.

Obr. 2.4 – Komunikační port CM-530<sup>[3]</sup>

- *Power LED* – status napájení ON / OFF.
- *Power Switch* – Zapnutí/vypnutí robotu ON / OFF.
- *MODE* – používá se pro změnu pracovního režimu CM-530.
- *START* – používá se pro nastartování vybraného režimu.
- *U / L / D / R* – posílání příkazů robotu.
- *Battery Jack* - používá se pro propojení řídicí jednotky s baterií.
- *Power Jack* – slouží k připojení zdroje.

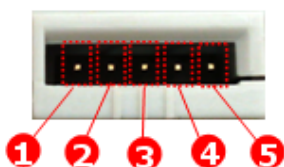
- 3 Pin Dynamixel port(5) – slouží k připojení Dynamixel servomotorů AX – 12A (viz. obr. 2.5).



1. GND – zem.
2. VDD – napájení (za baterie).
3. DATA – údaje do motorů.

Obr. 2.5 – Dynamixel port CM - 530<sup>[3]</sup>

- 5 Pin Aux device port (6) - slouží k připojení analogových senzorů (obr. 2.6).



1. OUT – výstup 5V (maximální proud 0.9A).
2. VDD – napájení (5V).
3. ADC – analogový vstup.
4. GND – země.
5. NC – nepoužívá se.

Obr. 2.6 - Aux port CM - 530<sup>[3]</sup>

### 2.1.2 Dynamixel AX-12A



Obr. 2.7 - Dynamixel AX-12A<sup>[4]</sup>

Motor Dynamixel AX-12A (obr. 2.7) – vysokovýkonné motory od výrobce Robotis. Může fungovat v režimu servomotoru (0 až 300°) a v režimu stále rotace. Každý motor má přiřazené ID (0..255, kromě ID 200 – je přiřazeno řídicí jednotce CM-530).

#### Charakteristiky<sup>[4]</sup>:

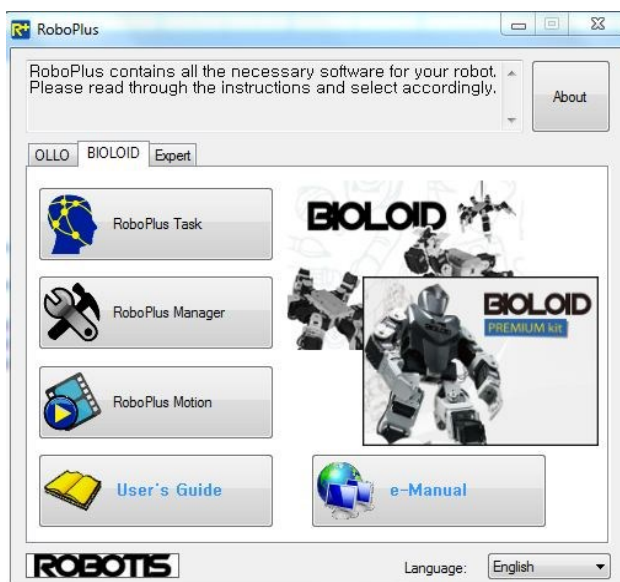
- *Váha:* 55g;
- *Rozlišení:* 0,29°;
- *Napájení:* 7-10V (doporučené 9,6V);
- *Komunikační protokol:* Half-duplex asynchronní komunikace po sériové lince (1 Mb/s, 8 bit, 1 stop bit, no parity);
- *Krouticí moment:* 1,5 Nm.

### 2.1.3 RoboPlus

Aplikace pro nastavení a programování robotu Bioloid. Dodává se od výrobce robotu (viz. obr. 2.8).

#### Obsahuje:

- *RoboPlus Task* – programování logiky robotu, původní software obsahuje příklad aplikace pro chůze dvounohého robota.
- *RoboPlus Manager* – pro změnu číslování motorů a získání informace o nastavení robotu.
- *RoboPlus Terminál* – komunikace s robotem po sériové lince.
- *RoboPlus Motion* – programování pohybu.



Obr. 2.8 - Hlavní okno RoboPlus<sup>[3]</sup>

## 2.2 Senzor svalové aktivity – Muscle Sensor V3

Muscle Sensor V3 byl vyvinut firmou Advanced Technologies (obr. 2.8). Sensor používá metody povrchové elektromyografie (EMG) pro měření napnutí lidského svalu. Rozdíl potenciálů, který se objevuje na povrchu kůže nad svalem, se převádí do normalizovaného (0..5V) napětového signálu.

**Elektromyografie** – metoda měření aktivity lidských svalů pomocí měření rozdílů elektrických potenciálů: na povrchu kůže nad svalem – povrchová elektromyografie; přímo uvnitř svalu – invazivní elektromyografie. Metoda povrchové elektromyografie poskytuje mnohem méně přesnější měření. Příčinou je především to, že měřicí elektrody se můžou během měření po kůži

pohybovat. Na rozdíl od povrchových elektrod, implantované elektrody zůstávají při měření téměř na stejném místě. Dalšími důležitými faktory ovlivňujícími přesnost měření jsou kyselost a vlhkost kůže, které mění místní odpor.

Technologie elektromyografie se používá v radě technických přístrojů v oblasti zdravotnictví, především při řízení bionických protéz (nejčastěji invazivní elektromyografie – elektrody jsou implantované do svalů pacienta, obr. 2.9a) a exoskeletů (obr. 2.9b), určených pro zesílení možností lidských svalů a rehabilitací.

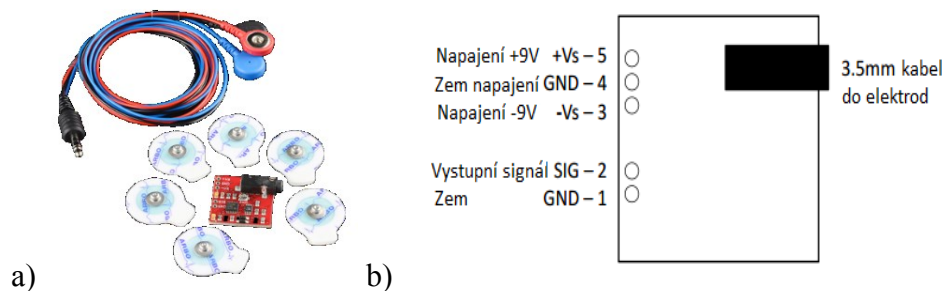


Obr. 2.9 – Využití technologií elektromyografie: a) invazivní – protéza lidské ruky<sup>[5]</sup>, b) povrchová – exoskeleton HAL<sup>[6]</sup>

Rozdíl potenciálů generovaných na povrchu kůže je v řádech desítek mV. Proto pro obdržení normalizovaného signálu, sensorová deska Muscle Sensor V3 využívá zesilovače s celkovým koeficientem zesílení v mezích 1000 až 10000. Při tak vysokých součinitelích zesílení se sensor stává hodně citlivým i na vzdálené elektrické pole, například elektrické pole zásuvky. Pro odstranění složky 50Hz v desce Muscle Sensor V3 (obr. 2.10a) se používají filtry.

Charakteristiky:

- *Napájení:* +9, -9 V.
- *Výstup:* analogový (0-5V).



Obr. 2.10 – Sada Muscle Sensor V3: a) náhled<sup>[7]</sup>, b) schéma I/O

## 2.3 Akcelometry

Na trhu existuje mnoho typů akcelometrů, ze kterých většina se liší jen způsobem komunikace a rozsahem citlivosti. Nejrozšířenější jsou akcelometry s analogovými výstupy pro jednotlivé osy. Zpracování dat a komunikace s analogovými akcelometry je jednoduchá a nevyžaduje využití komunikačních protokolů.

### 2.3.1 Digitální akcelometr Grove - 3-Axis Digital Accelerometer

#### Charakteristiky:

- *Napájení:* 3 – 5 V.
- *Akcelometr:* 3 - osový.
- *Výstup:* Grove 4-pin.
- *Citlivost:*  $\pm 16g$ .

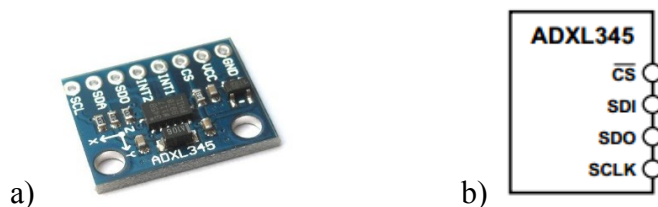


Obr. 2.11 - Grove - 3-Axis Digital Accelerometer: a) náhled<sup>[8]</sup>, b) Schéma I/O

### 2.3.2 Digitální akcelometr ADXL3456

#### Charakteristiky:

- *Napájení:* 3,3 – 5 V.
- *Akcelometr:* 3 - osový.
- *Výstup:* I2C, SPI.
- *Citlivost:* na rozmezí  $\pm 16g$ .



Obr. 2.12 - Digitální akcelometr ADXL345: a) náhled<sup>[10]</sup>, b) Schéma I/O<sup>[12]</sup>

### 2.3.3 Analogový akcelerometr GY-61

#### Charakteristiky<sup>[12]</sup>:

- *Napájení:* 3 – 5 V.
- *Akcelerometr:* 3 - osový.
- *Výstup:* analogový, pro každou osu zvlášť.
- *Citlivost:* na rozmezí  $\pm 3g$ .

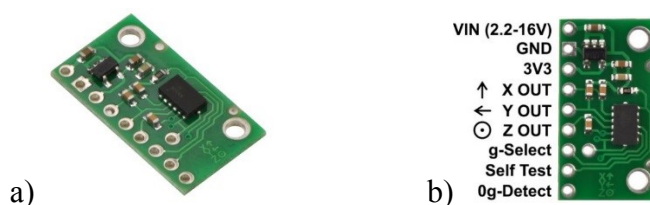


Obr. 2.13 - Analogový akcelerometr GY-61: a) náhled<sup>[13]</sup>, b) Schéma I/O<sup>[13]</sup>

### 2.3.4 Analogový akcelerometr MMA7341LC

#### Charakteristiky<sup>[11]</sup>:

- *Napájení:* 2,2 - 16V.
- *Akcelerometr:* 3 - osový.
- *Výstup:* analogový, pro každou osu zvlášť.
- *Citlivost:* v rozmezí  $\pm 3g$ , nebo  $\pm 9g$ .



Obr. 2.14 - Analogový akcelerometr MMA7341LC: a) náhled<sup>[14]</sup>, b) Schéma I/O<sup>[14]</sup>

Pro testování systému byl vybrán akcelerometr MMA7341LC kvůli jeho dostupnosti na Katedře Robotiky. Později byl změněn na GY-61, a to z toho důvodu, že MMA7341LC byl využit při realizaci projektu modulárního robotu na Katedře Robotiky. Na citlivost akcelerometru nejsou kladené speciální požadavky, protože při pohybu robotu nejsou předpokládána velká zrychlení.



### 3 Požadavkový list

Dle předběžných požadavků na navrhovaný systém byl sepsán požadavkový list (viz. tab. 3.1). Část podmínek byla označena jako „Přání“, což znamená, že jsou nepovinné.

Tab. 3.1 – Požadavky

Požadavek	Podmínka	Přání
<b>KONSTRUKCE</b>		
Konstruování dvounohého robota ze stavebnice Bioloid	X	
Konstruování čtyřnohého robota ze stavebnice Bioloid		X
<b>CHŮZE</b>		
Řízení chůze robota z ovladače při současném ovládaní jeho rukou pomocí EMG senzorů		X
<b>SENZORY</b>		
Integrace akcelerometru do robota Bioloid	X	
Využití senzoru svalové aktivity pro řízení robota Bioloid	X	
<b>KOMUNIKACE SE SENZORY</b>		
Bezdrátové přijímání údajů ze senzorů svalové aktivity robotem		X
<b>CENA</b>		
Maximální cena pro celý systém – 3000 Kč	X	

## 4 Varianty řešení

Byly navrženy tři varianty realizace integrace senzoru svalové aktivity do systému Bioloid, které by splňovaly požadavky určené v požadavkovém listu.

### 4.1 Varianta A

#### Popis varianty

EMG (Muscle Sensor) posílá údaje o napnutí svalu v analogové podobě na analogový vstup desky Arduino Uno<sup>[15]</sup>, která převádí signál do digitální podoby a posílá ho pomocí Bluetooth modulů (běžně používaný HC-05<sup>[16]</sup>) do Arduino Nano<sup>[17]</sup> (umístěném na robotu). Arduino Nano přijímá příkazy pomocí druhého BT modulu a přeposílá příkazy do řídicí jednotky robotu CM-530 do jejího komunikačního portu. Pro vytvoření druhé sériové komunikace na Arduino Nano je možné použít knihovnu SoftwareSerial<sup>[18]</sup> z knihoven Arduino. BT modul může být zapojen přímo do CM-530, ale v tomto případě je počet externích senzorů na straně robotu omezen počtem analogových vstupů CM-530.

#### Řídicí řetězec:

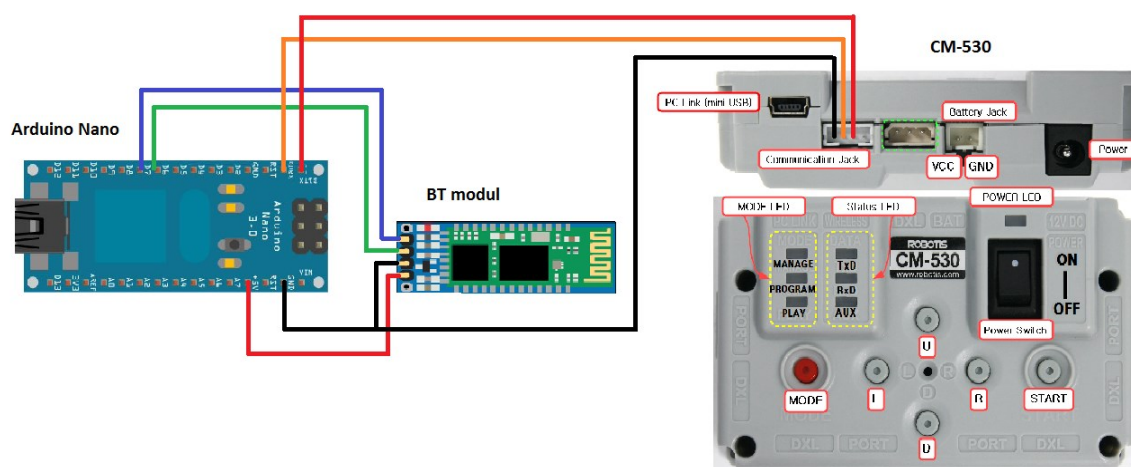
*Přijímací část:* EMG senzor → Arduino Uno → Bluetooth modul



*Vysílací část:* Bluetooth modul → Arduino Nano → CM-530

#### Část řetězce – přijímací (na robotu):

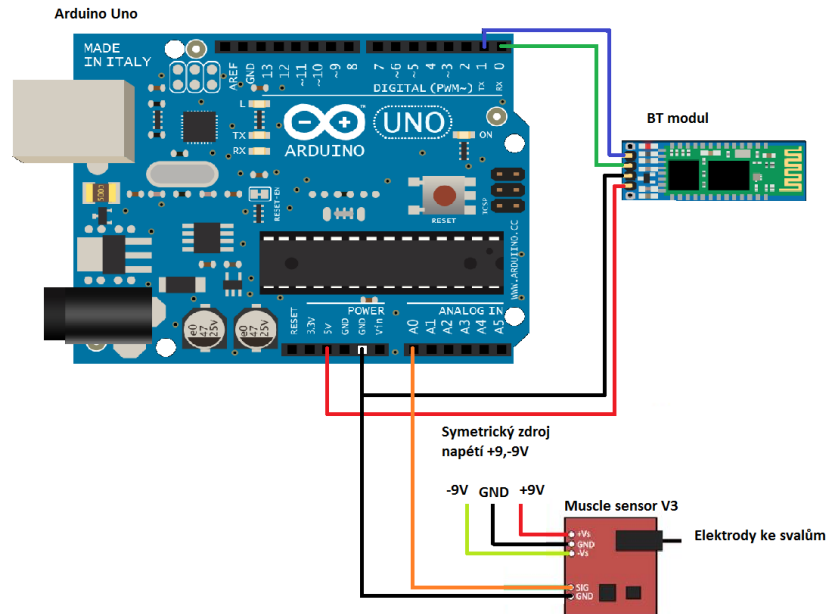
Bluetooth modul – Arduino Nano – CM-530:



Obr. 4.1 – Principiální schéma varianty A – přijímací část

## Část řetězce – vysílací:

EMG senzor – Arduino Uno – Bluetooth modul:



Obr. 4.2 - Principiální schéma varianty A – vysílací část

## Cena:

1 x Arduino Uno Rev3 – \$25.08 – 554 Kč

Arduino Nano – \$7.82 – 211,14 Kč

2 x Bluetooth modul – 2 x \$7 – 309 Kč

1 x EMG sensor – \$49.95 – 1103 Kč

**Celkem:** \$96.85 – 2177 Kč

## Výhody:

- Možnost zapojení většího počtu senzorů na straně robota (do Arduino Nano).
- Jednoduchost přenastavení ovládaní robota na ovládaní pomocí PC via Bluetooth.
- Bezdrátové posílání údajů z EMG senzoru.

## Nevýhody:

- Nelze ovládat robotem pomocí PC a současně signálem z EMG senzoru.
- Nelze ovládat robotem pomocí ovladače a současně signálem z EMG senzoru.
- Větší počet prvků v řetězci (5).
- Menší rychlost reagování systému (kvůli většímu počtu prvků).
- Větší cena celého systému.

## 4.2 Varianta B

### Popis varianty

EMG (Muscle Sensor) posílá údaje o napnutí svalu v analogové podobě na analogový vstup Arduino Uno, jež převádí signál do digitální podoby a posílá ho přes USB do počítače. Na počítači dochází k úpravě, případně k doplnění příkazu, který se dále posílá prostřednictvím Bluetooth do Arduino Nano (umístěném na robotu). Arduino Nano řídí servomotory robotu a má funkci řídicí jednotky. Řídicí signál pro motory, vysílaný mikrokontrolerovou deskou Arduino Nano, musí být upraven do správného typu (Half-duplex UART komunikace, Tx a Rx jsou spojeny, režimy čtení/zápisu se střídají) pomocí 3-state buferu. Pro současnou komunikaci Arduino Nano s BT modulem a Dynamixel - servomotory, musí být použita knihovna SoftSerial z knihoven Arduino.

### Řídicí řetězec:

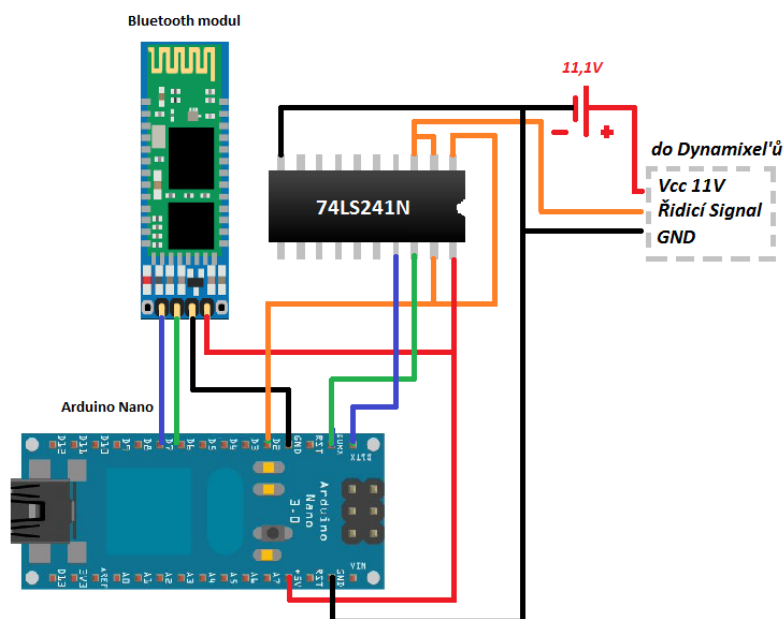
*Přijímací část:* EMG senzor → Arduino Uno → PC



*Vysílací část:* Bluetooth modul → Arduino Nano → 3-State bufer 74LS241N

### Část řetězce – přijímací (na robotu):

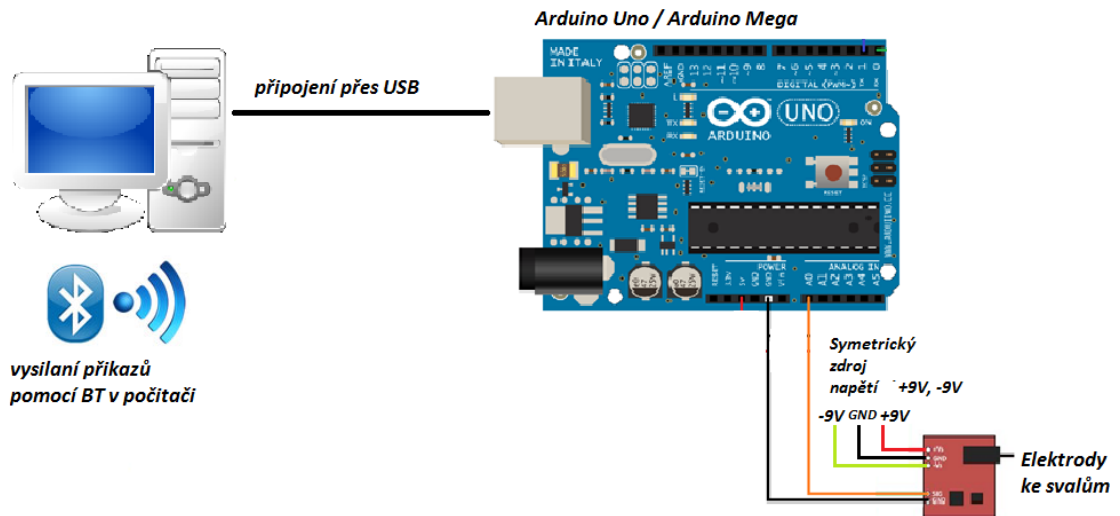
Bluetooth modul – Arduino Nano – 3-State bufer 74LS241N – přímé řízení Dynamixel servomotorů.



Obr. 4.3 - Principiální schéma varianty B – přijímací část

## Část řetězce – vysílací:

EMG senzor – Arduino Uno – PC (vysílání prostřednictvím bluetooth):



Obr. 4.3 - Principiální schéma varianty B – vysílací část

## Cena:

Arduino Uno Rev3 – \$25.08 – 554 Kč

Arduino Nano – \$7.82 – 211,14 Kč

Bluetooth modul – \$7 – 154 Kč

EMG senzor – \$49.95 – 1103 Kč

74LS241N – \$0.2 – 5,4 Kč

**Celkem:** \$90.05 – 2431,35 Kč

## Výhody:

- Možnost zapojení většího počtu senzorů na straně robotu (snadná rozšiřitelnost systému).
- Lze ovládat robotem pomocí PC a současně signálem z EMG senzoru.
- Bezdrátové posílání signálů z EMG senzoru.

## Nevýhody:

- Větší počet prvků v řetězci (5).
- Menší rychlost reagování systému (kvůli většímu počtu prvků).

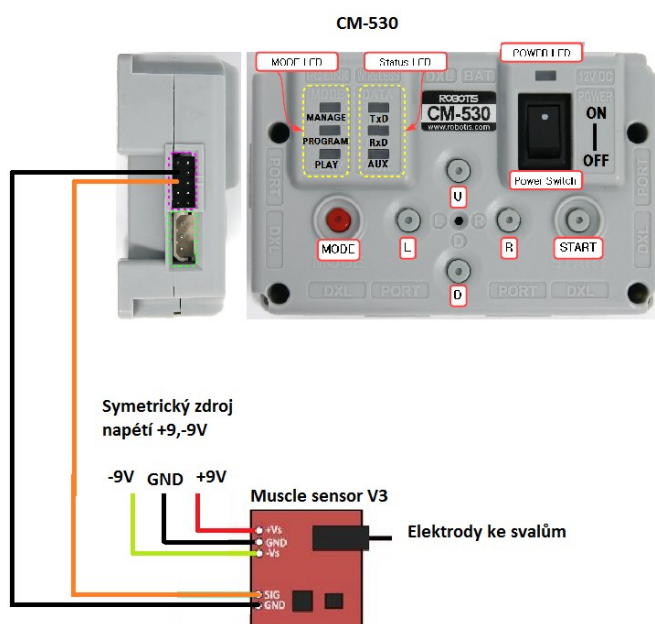
### 4.3 Varianta C

#### Popis varianty:

Přímé napojení EMG (Muscle Sensor) do řídicí jednotky CM-530. Může být naprogramovaný v základním software Bioloidu – RoboTask. Počet externích senzorů, které je možné zapojit do řídicí jednotky CM-530, je omezen počtem jejich analogových vstupů – 6.

#### Řídicí řetězec:

EMG senzor → CM-530



Obr. 4.4 – Principiální schéma varianty C

#### Cena:

EMG sensor – \$49.95 – 1103 Kč

#### Výhody:

- Nižší cena celého systému.
- Kratší řídicí řetězec.
- Větší rychlost reagování řetězce kvůli menšímu počtu prvků v řetězci.

#### Nevýhody:

- Nelze ovládat robotem pomocí PC.
- Drátové zapojení EMG senzoru do CM-530.
- Omezený počet senzorů, které je možné zapojit do řídicí jednotky (je omezen počtem analogových vstupů CM-530 – 6 kusů).

## 5 Hodnotová analýza

Pro výběr optimálního způsobu řešení úlohy, musí být navržené varianty porovnány pomocí hodnotové analýzy. Jednotlivé varianty budou porovnány na základě zvolených kritérií a jejich významnosti.

### 5.1 Výběr vhodných kritérií

Navržené varianty budou porovnány dle kritérií (tab. 5.2). Hodnocení probíhá podle stupnice: nepříznivý stav – 1 až vysoká úroveň - 6 (viz. tab. 5.1).

Tab. 5.1 – Hodnoty kritérií

Hodnoty kritérií	
6	Vysoká úroveň
5	Dobrá úroveň
4	Průměrná úroveň
3	Nízká úroveň
2	Nevyhovující úroveň
1	Nepříznivý stav

Tab. 5.2 – Kritérií hodnocení

Označení kritéria	Název kritéria	Charakteristika kritéria
K1	Cena	Cena všech komponentů
K2	Složitost řetězce	Počet prvků v řetězci (ovlivňuje rychlost reagování celého systému)
K3	Složitost řízení	Závisí na způsobu komunikace mezi jednotlivými prvky řetězce (A/Č převody, konvertování hodnot do příslušného typu)
K4	Rozšiřitelnost systému	Možnost zapojení dalších senzorů do systému, jejich počet
K5	Řízení na vzdálenosti	Možnost řízení na vzdálenosti, maximální efektivní vzdálenost

## 5.2 Hodnocení jednotlivých variant dle vybraných kritérií

V tab. 5.3 jsou uvedeny charakteristiky každé z variant dle vybraných kritérií.

Tab. 5.3 – Charakteristika variant dle kritérií

Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
<b>K1</b>	2177 Kč	2431 Kč	1103 Kč
<b>K2</b>	6 prvků	6 prvků	2 prvky
<b>K3</b>	Složitá komunikace mezi prvky. Kvůli většímu počtu prvků a převodů typu signálu mezi nimi dochází k delší době zpracování údajů: EMG signál se nejdříve posílá do Arduino Uno, dále pomocí BT modulů do Arduino Nano, a následně do CM-530	Složitá komunikace mezi prvky. Kvůli většímu počtu prvků a převodů typu signálu mezi nimi dochází k delší době zpracování údajů: k posílání EMG signálu nejdříve do Arduino Uno, dále do počítače, pak do Arduino Nano, které řídí motory	Jednoduchá komunikace mezi prvky: analogová hodnota se převádí na digitální přímo v řídicí jednotce CM-530.
<b>K4</b>	Možnost přidání digitálních (10) a analogových (7) senzorů do desky Arduino Nano na straně robotu.	Umožňuje přidání digitálních (10) a analogových (7) senzorů do Arduino Nano na straně robotu, a také současného ovládní robotu z PC a signálem z EMG.	Možnost přidání dodatečných senzorů je omezena počtem analogových vstupů CM-530 (6 vstupů)
<b>K5</b>	Řízení pomocí Bluetooth, efektivní vzdálenost – 10 m <sup>[16]</sup> .	Řízení pomocí Bluetooth, efektivní vzdálenost – 10 m <sup>[16]</sup> .	Řízení pomocí kabelů na vzdálenost do 5 m (pro větší délky je nutná modulace signálu, pro zvyšování odolnosti proti rušení a kompenzování ztrát na vedení).



V tab. 5.4 je uvedeno celkové hodnocení variant dle stupnice (5.1). Hodnocení variant dle jednotlivých kritérií je uvedeno v tabulkách 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8.

Tab. 5.4 – Hodnocení variant dle kritérií

Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
<b>K1 – Cena</b>	2	2	4
<b>K2 – Složitost řetězce</b>	1	1	5
<b>K3 – Složitost řízení</b>	4	4	6
<b>K4 – Rozšiřitelnost systému</b>	4	6	2
<b>K5 – Řízení na vzdálenosti</b>	6	6	2

V tab. 5.5 je uvedeno hodnocení variant dle ceny. Varianty jsou porovnány na stupnici s krokem 500 Kč.

Tab. 5.5 – Hodnocení variant dle kritéria K1 “Cena”

Cena	Hodnota kritéria	Varianta
0 až 500	6	
500 až 1000	5	
1000 až 1500	4	Varianta C
1500 až 2000	3	
2000 až 2500	2	Varianta A, Varianta B
2500 až 3000	1	

Tab. 5.6 – Hodnocení variant dle kritéria K2 “Složitost řetězce”

Počet prvků v řetězci	Hodnota kritéria	Varianta
1	6	
2	5	Varianta C
3	4	
4	3	
5	2	
6	1	Varianta A, Varianta B

V tab. 5.7 je uvedeno hodnocení variant dle složitosti jejich řízení, případně složitosti komunikace mezi jednotlivými prvky systému.

Tab. 5.7 – Hodnocení variant dle kritéria K3 “Složitost řízení”

Počet převodů typu signálu mezi prvky	Hodnota kritéria	Varianta
1	6	Varianta C
2	5	
3	4	Varianta A, Varianta B
4	3	
5	2	
6	1	

Z hlediska kritéria K4 “rozšiřitelnost systému”, varianta umožňuje největší počet modifikací systému, jak přidáním senzorů, tak i vykonáním speciálních algoritmů robotem, řízeným počítačem.

Hodnocení variant (viz. tab. 5.8) dle kritéria K5 bylo provedeno na základě efektivní vzdálenosti řízení vybraným způsobem.

Tab. 5.8 – Hodnocení variant dle kritéria K5 “Řízení na vzdálenosti”

Efektivní vzdálenost systému řízení [m]	Hodnota kritéria	Varianta
10	6	Varianta A, Varianta B
8	5	
7	4	
6	3	
5	2	Varianta C
Bez možnosti řízení na vzdálenosti	1	

### 5.3 Stanovení významnosti kritérií

Jednotlivá kritéria byla mezi sebou porovnána pro určení jejich významnosti (tab. 5.10). Hodnocení významnosti kritérií je znázorněno ve stupnici: nízká úroveň – 1, vysoká úroveň – 2 (tab. 5.9).

Tab. 5.9 – Významnost kritérií

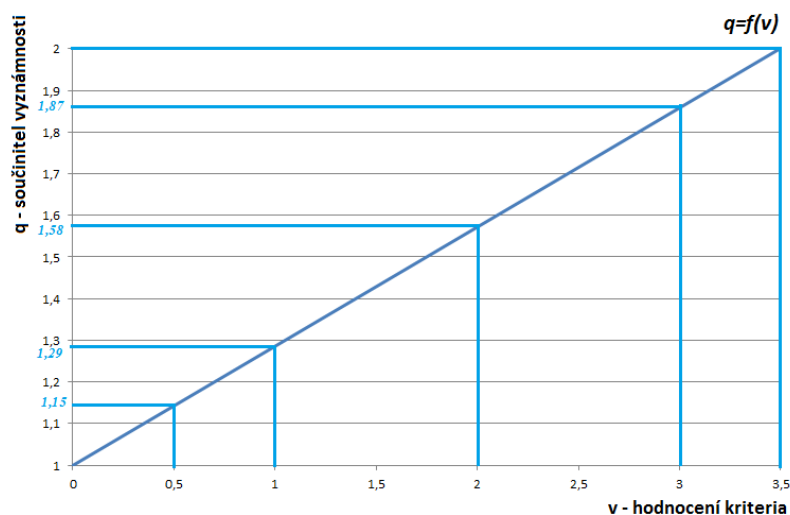
Významnost kritérií	
2	Vysoká úroveň
1	Nízká úroveň

Tab. 5.10 – Porovnání kritérií

Porovnané páry kritérií				Počet voleb v	Pořadí
K1	K1	K1	K1	0,5	5
K2	K3	K4	K5		
	K2	K2	K2	1	4
	K3	K4	K5		
		K3	K3	2	3
		K4	K5		
			K4	3	2
			K5	3,5	

### 5.4 Určení součinitelů významnosti kritérií

Koeficienty významnosti (viz. tab. 5.11) kritérií byly určeny pomocí grafu (obr. 5.1).



Obr. 5.1 – Určení součinitelů významnosti kritérií

Tab. 5.11 – Součinitelé významnosti kritérií

Označení kritéria	Součinitel významnosti
K1	1,15
K2	1,29
K3	1,58
K4	1,87
K5	2

## 5.5 Vypočet vážených indexů variant

Pro každou variantu byly vypočítány sumy (tab. 5.12, 5.13, 5.14) vážených indexů všech kritérií dle vzorce 5.1. Optimální je varianta s nejvyšší hodnotou sumy vázaných indexů kritérií.

$$\sum S_{ij} = \sum (I_{ij} * q_{ij}) \quad (5.1)$$

Kde  $S_{ij}$  je vážený index j-tého kritéria (A-1, B-2, C-3) i-té varianty,  $I_{ij}$  je index změny j-tého kritéria i-té varianty,  $q_{ij}$  je váha významnosti kritéria j-tého kritéria i-té varianty.

Tab. 5.12 – Součet vážených indexů kritéria varianty A

Varianta A				
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti kritéria $q_{ij}$	Index změny $I_{ij}$	Vážený index kritéria $S_{ij}$
<b>K1 – Cena</b>	2	1,15	2	2,3
<b>K2 – Složitost řetězce</b>	1	1,29	1	1,29
<b>K3 – Složitost řízení</b>	4	1,58	4	6,32
<b>K4 – Rozšiřitelnost systému</b>	4	1,87	4	7,48
<b>K5 – Řízení na vzdálenosti</b>	6	2	6	12
Součet vážených indexů kritéria				<b>29,39</b>

Tab. 5.13 – Součet vážených indexů kritéria varianty B

Varianta B				
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti kritéria $q_{ij}$	Index změny $I_{ij}$	Vážený index kritéria $S_{ij}$
<b>K1 – Cena</b>	2	1,15	2	2,3
<b>K2 – Složitost řetězce</b>	1	1,29	1	1,29
<b>K3 – Složitost řízení</b>	4	1,58	4	6,32
<b>K4 – Rozšiřitelnost systému</b>	6	1,87	6	11,22
<b>K5 – Řízení na vzdálenosti</b>	6	2	6	12
Součet vážených indexů kritéria				<b>33,13</b>

Tab. 5.14 – Součet vážených indexů kritéria varianty C

Varianta C				
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti kritéria $q_{ij}$	Index změny $I_{ij}$	Vážený index kritéria $S_{ij}$
<b>K1 – Cena</b>	4	1,15	4	4,6
<b>K2 – Složitost řetězce</b>	5	1,29	5	6,45
<b>K3 – Složitost řízení</b>	6	1,58	6	9,48
<b>K4 – Rozšiřitelnost systému</b>	2	1,87	2	3,74
<b>K5 – Řízení na vzdálenosti</b>	2	2	3	4
Součet vážených indexů kritéria				<b>28,27</b>

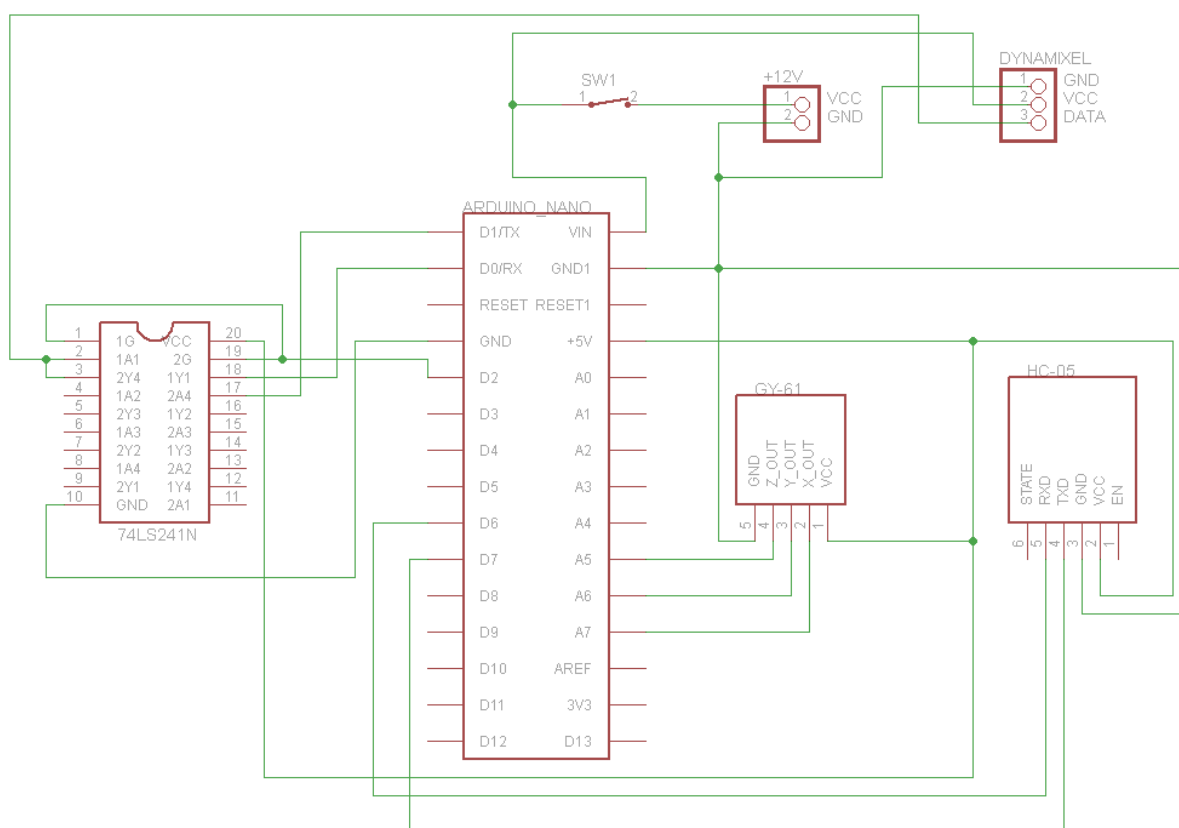
## 5.6 Výběr optimální varianty

Po porovnávání variant pomocí hodnotové analýzy, bylo zjištěno, že optimální varianta je varianta B: EMG senzor → Arduino Uno → PC ↔ BT modul → Arduino Nano → 3-State bufer 74LS241N – přímé řízení servomotorů Dynamixel. Výhodami této varianty jsou dobrá rozšiřitelnost systému dalšími senzory a možnost řízení na vzdálenosti. Tato varianta také dovoluje splnění volitelného kritéria současného ovládání robota pomocí údajů od EMG senzoru a PC, a ovládání jeho chůze pomocí standardního ovladače.

## 6 Schéma elektrického zapojení

Schématy byla vytvořena v CadSoft Eagle 6.6. V tomto prostředí byly vytvořeny schematické značky pro znázornění prvků Arduino Nano, HC-06, 74LS241N, a GY-61.

### 6.1 Schéma elektrického zapojení přijímací strany

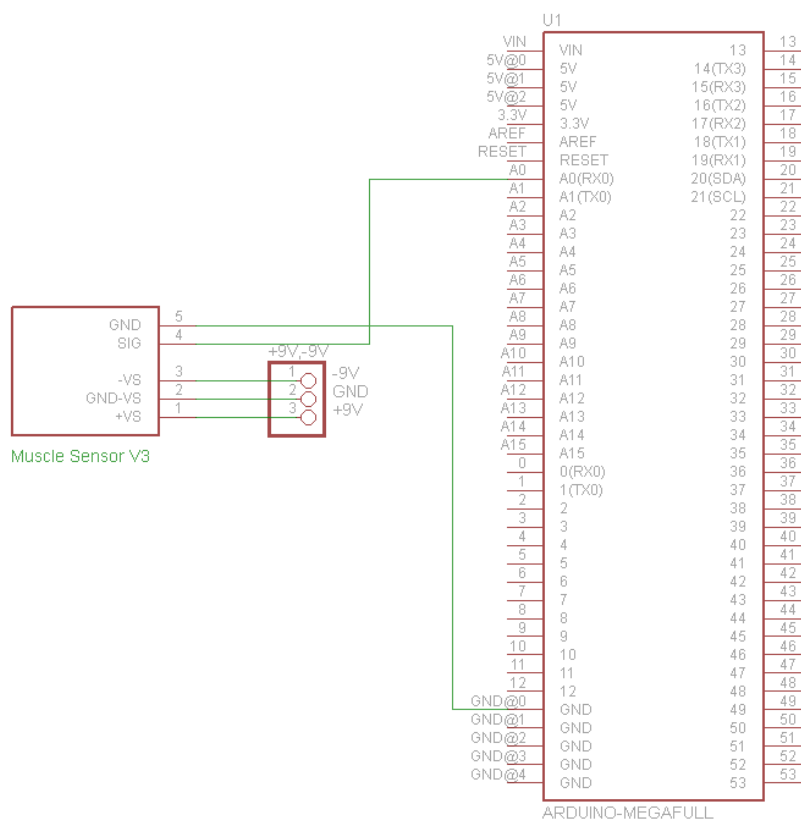


Obr. 6.1 – Přijímací strana systému

Bluetooth modul a 74LS241N potřebují napájení 5V, pro jejich napájení se používá výstup Arduino Nano 5V. Napájení 12V(11,1V) od akumulátoru se připojuje na VCC vstup Arduino Nano. Pro řízení Dynamixelů se používají výstupy D1/Tx, D0/Rx a D2. Analogové výstupy akcelerometru GY-61 jsou napojené na analogové vstupy A5, A6, A7 Arduino Nano. Komunikační piny Bluetooth modulu HC-05 jsou připojené na digitální vstupy D6 a D7, které plní funkce dalších Rx a Tx pinů pomocí vestavené knihovny SoftwareSerial vývojového prostředí Arduino IDE.

## 6.2 Schéma elektrického zapojení vysílací strany

Místo Arduino Uno, které je uvedeno v principiálním schématu, byla použita deska Arduino Mega<sup>[19]</sup>, především vzhledem k její dostupnosti. Muscle Sensor V3 potřebuje napájení ze symetrického zdroje a jeho analogový výstup je napojen na analogový výstup A0 desky Arduino Mega. Napájení desky a její sériová komunikace s počítačem je zajištěna USB kabelem (není zobrazený na schématu).



Obr. 6.2 – Vysílací strana systému

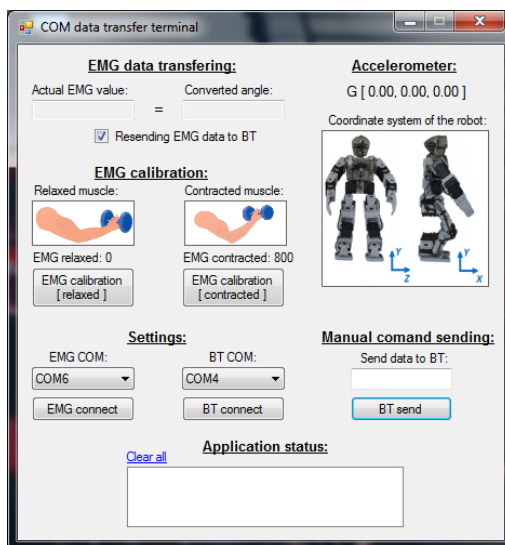
## 7 Software

V této kapitole je uveden popis funkcionality softwarové části realizovaného systému, která se skládá z:

- *PC aplikace* – konvertování a přeposílání dat od vysílací části k přijímací.
- *Aplikace pro Arduino Mega vysílací části* – sbírá data od EMG senzoru a přeposílá po sériové lince do PC aplikace.
- *Aplikace pro Arduino Nano přijímací části* – sbírá data od PC aplikace po BT sériové lince a zpět posílá údaje od akcelerometru.
- *Upravená původní aplikace pro chůzi robotu* – původní aplikace pro řízení chůze robotu pomocí ovladače, upravena tak, aby fungovala bez připojených motorů s ID 1-6 do řídicí jednotky CM-530.

### 7.1 PC aplikace

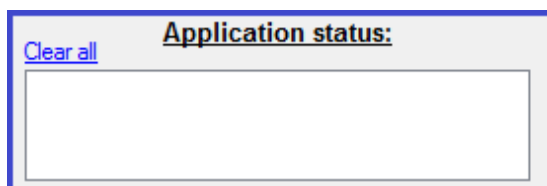
Aplikace (obr. 7.1) byla zpracována v programovacím jazyce C# ve vývojovém prostředí Visual Studio 2012. Aplikace sbírá data ze sensorové části (Arduino Mega a Muscle Sensor) pomocí komunikace po sériové lince a konvertuje tyto údaje do formy příkazů pro jednotlivé motory Dynamixel. Dále se tyto příkazy posílají po BT sériové lince do přijímací části umístěné na robotu. V aplikaci je možnost manuálního zadání příkazů robotu. Obě sériové komunikace (s přijímací stranou a s vysílací stranou) jsou nastavené na konfiguraci: 9600 bit/s, 8 bit, No parity, 1 stop bit. Aktuální hodnoty zrychlení jsou zobrazené ve formě  $G [X,Y,Z]$ , kde složky X,Y,Z jsou indikátorem zrychlení ve směru os x,y,z souřadnicového systému robotu.



Obr. 7.1 – Náhled na PC aplikaci



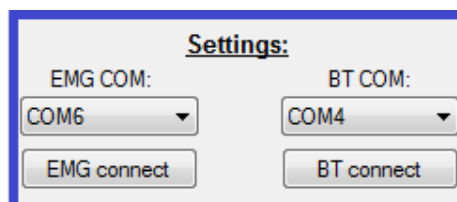
### 7.1.1 Oblast stavu aplikace – “Application status”



Obr. 7.2 – Oblast stavu aplikace – “Application status”

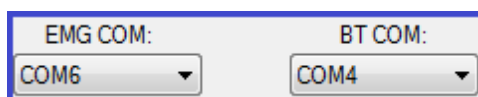
V textovém poli v oblasti znázorňující stav aplikace (obr. 7.2) se zobrazují všechna upozornění, které se týkají funkcí aplikace. Tlačítko „Clear all“ se používá pro vymazání seznamu upozornění.

### 7.1.2 Oblast nastavení parametrů sériových komunikací – “Settings”



Obr. 7.3 – Oblast nastavení parametrů sériových komunikací – „Settings“

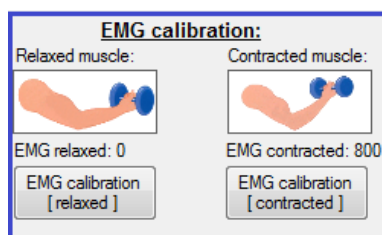
V oblasti „Setting“ (obr. 7.3) je možnost nastavení parametrů sériových portů, které se budou používat pro komunikaci PC s vysílací a přijímací částí. Při startu aplikace se sbírají údaje o přístupných COM portech, ze kterých se vytvoří dva rozevírací seznamy (viz. obr. 7.4): první -pro komunikaci s přijímací částí (“BT COM”), druhý - pro komunikaci s vysílací částí (“EMG COM”).



Obr. 7.4 – Rozevírací seznamy přístupných sériových portů

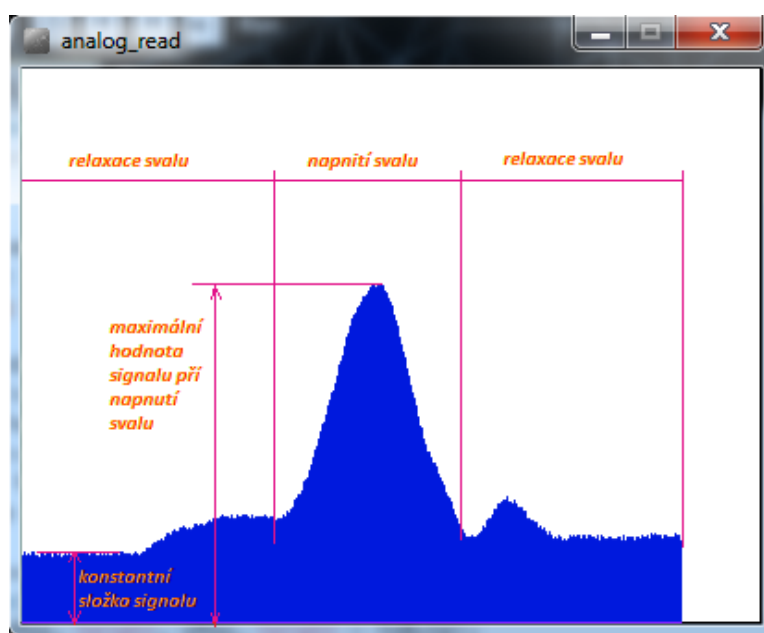
Sériové komunikace se spouštějí tlačítkem “EMG connect” a “BT connect”. Po spuštění se mění názvy tlačítek na “EMG disconnect”, případně “BT disconnect”. V případě nemožnosti startování komunikace na příslušném COM portu, nebo v případě, že komunikace už je zahájena, aplikace vyvede upozornění v oblasti stavu aplikace – “Application status”.

### 7.1.3 Oblast kalibrace mezi citlivosti EMG senzoru – “EMG calibration”



Obr. 7.5 – Oblast kalibrace mezi citlivosti EMG senzoru – „EMG calibration“

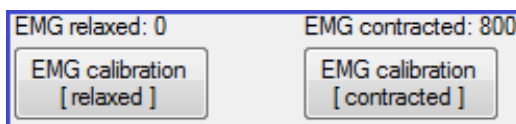
Oblast aplikace „EMG calibration“ (obr. 7.5) umožňuje kalibraci citlivosti EMG senzoru. Arduino Mega konvertuje analogový signál 0..+5V z výstupu Muscle Senzor V3 do digitální podoby v rozsahu čísel 0..1023. EMG signál má konstantní složku, jejíž velikost závisí na mnoha faktorech: pozicích snímacích elektrod, velikosti lidských svalů, vlhkosti a kyselosti povrchu kůže. Tato složka musí být při zpracování signálu odstraněna. Na obr. 7.6 je zobrazen průběh EMG signálu při napnutí svalu a při jeho relaxaci. Pro dosažení maximální citlivosti aplikace na vstupní EMG signál, horní (při napnutí svalu) a dolní (při jeho relaxaci) mez citlivosti EMG senzoru musí být kalibrovány. Dále se tyto mezní hodnoty používají pro konvertování vstupního EMG signálu do příslušného úhlu natočení kloubu robotu (0°..90°).



Obr. 7.6 – Zobrazení průběhu EMG signálu v prostředí PROCESSING

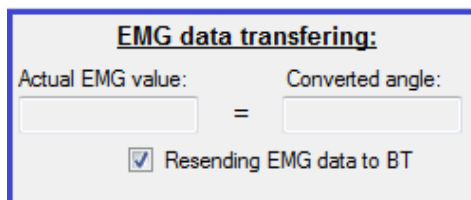
Aktuální maximální a minimální hodnoty („EMG contracted“ a „EMG relaxed“) jsou zobrazené v oblasti „EMG calibration“ nad tlačítky kalibrace. Výchozí hodnoty při startu aplikace: 0 - pro dolní mez citlivosti senzoru a 800 - pro horní (viz. obr. 7.7).

Kalibrace se spouští tlačítkem „EMG calibration [relaxed]“ a „EMG calibration [contracted]“ (obr. 7.7). Pro zahájení kalibrace musí být spuštěna sériová komunikace s vysílací částí („EMG“), nebo se v oblasti stavu aplikace zobrazí upozornění. Po spuštění kalibrace se v průběhu 1 vteřiny sbírají data posílané po sériové lince od EMG senzoru a vypočítává se jejich aritmetický průměr. Tato hodnota se přiřazuje k hodnotě horní meze, případně dolní meze citlivosti EMG senzoru. V případě, že po provedení kalibrace nebyly přijaty žádné hodnoty EMG signálu, zobrazí se upozornění „EMG calibration error! Check EMG COM port settings.“ – v tom případě je nutno zkontrolovat nastavení sériového portu v oblasti „Settings“. V případě, že naměřená hodnota dolní meze citlivosti EMG senzoru je vyšší, než horní mez citlivosti, mez nebude kalibrována a zobrazí se upozornění. Stejně tak to platí pro opačný případ (kalibrace horní meze). Tato kontrola zajišťuje správné konvertování hodnoty úhlu.



Obr. 7.7 – Tlačítka zahájení kalibrace citlivosti EMG senzoru

#### 7.1.4 Oblast přeposílání příkazů do přijímací strany – „EMG data transferring“



Obr. 7.8 – Oblast přeposílání příkazů do přijímací strany – „EMG data transferring“

V oblasti „EMG data trasfering“ je zobrazena aktuální hodnota signálu přijatého od EMG senzoru („Actual EMG value“) a hodnota konvertovaného úhlu („Converted angle“).

Pro konvertování hodnoty signálu do úhlu byla napsána funkce IntMapping. Funkce přiřazuje každé hodnotě EMG signálu, z aktuálního rozsahu (určeného kalibrovacími mezemi), úměrnou hodnotu úhlu ze vzorce (6.1).

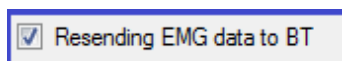
$$angle = (EMG - x_{min}) * \left( \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max} - x_{min}} \right) + y_{min} \quad (6.1)$$

Kde  $angle$  – výstupní hodnota úhlu úměrná EMG signálu,  $EMG$  – aktuální hodnota EMG signálu,  $x_{min}$  – minimální hodnota signálu při napnutí svalu (dolní mez citlivosti senzoru),  $x_{max}$  – maximální hodnota signálu při napnutí svalu (horní mez citlivosti senzoru),  $y_{min} = 0$  – minimální

hodnota úhlu pootočení kloubu robotu,  $x_{max}=90$  – maximální hodnota úhlu pootočení kloubu robotu.

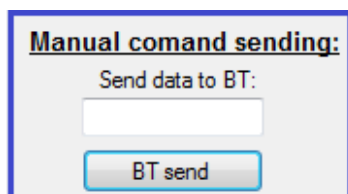
V případě, že aktuální hodnota EMG signálu je mimo aktuální rozsah, bude ji přiřazena minimální, případně maximální hodnota rozsahu (hodnota meze).

Zaškrtnuté políčko “Resending EMG data to BT” (viz. obr.7.9) umožňuje přeposílání příkazů obsahujících hodnoty úhlů pootočení do přijímací strany. Tato funkce funguje jenom v případě, že je spuštěná sériová komunikace s přijímací stranou BT na robotu.



Obr. 7.9 – Funkce přeposílání konvertovaných příkazů do přijímací strany

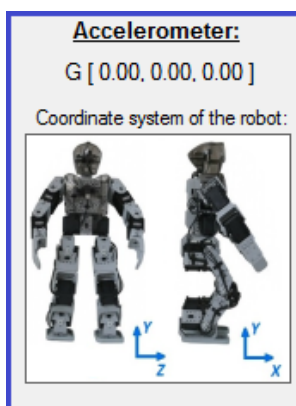
### 7.1.5 Oblast manuálního zadání příkazů – “Manual command sending”



Obr. 7.10 – Oblast kalibrace manuálního zadání příkazů – „Manual command sending“

V textovém poli v oblasti “Manual command sending” (viz. obr. 7.10) je možnost přímého zadání příkazů pro robota. Příkazy se zapisují ve tvaru “anglex” pro zadání příkazů pro pravou ruku robotu, nebo “angley” pro levou, kde *angle* – je hodnota úhlu pootočení kloubu. Příkazy se posílají tlačítkem „BT send“. V případě, že sériová komunikace s přijímací částí není zahájena, v oblasti stavu aplikace bude zobrazeno upozornění.

### 7.1.6 Oblast zobrazení údajů od akcelerometru – „Accelerometer“



Obr. 7.11 – Oblast zobrazení údajů od akcelerometru – „Accelerometer“

Aktuální hodnoty zrychlení jsou zobrazené ve formě  $G [X,Y,Z]$  (viz. obr. 7.12), kde složky  $X,Y,Z$  jsou indikátory zrychlení ve směru os  $x,y,z$  souřadnicového systému robotu.

**G [ 0.00, 0.00, 0.00 ]**

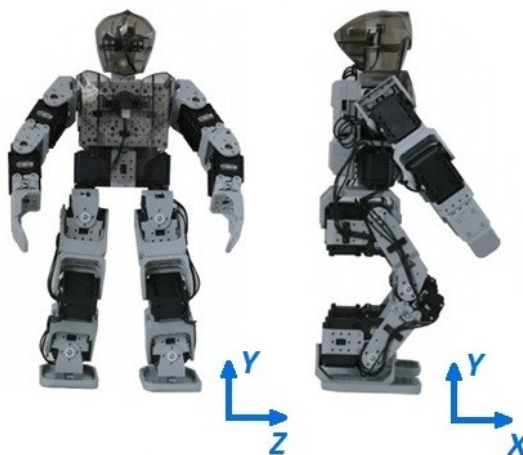
Obr. 7.12 – Indikátor složek zrychlení ve směru souřadnicových os

Hodnoty zrychlení ve směru os  $x,y,z$  se posílají po sériové lince do PC aplikace ve tvaru „G \n Xvalue \n Yvalue \n Zvalue \n“, kde  $X,Y,Z$ value jsou hodnoty zrychlení ve tvaru 0..1023. Ve stavu, kdy ve směru osy nepůsobí zrychlení, se hodnota snímána a převedena do digitální podoby z akcelerometru rovná 340. Při působení zrychlení, které se rovná tíhovému zrychlení, se hodnota snímaného signálu sníží, nebo zvýší na 70. Z toho plyne vzorec (6.2) pro přepočítávání hodnoty signálu na koeficient úměrný tíhovému zrychlení.

$$X, Y, Z = (BT - 340)/70 \quad (6.2)$$

Kde  $BT$  – je aktuální hodnota signálu,  $X,Y,Z$  – hodnoty koeficientu zrychlení ve směru souřadnicových os robotu.

Souřadnicový systém robotu je zobrazen na obr. 7.13.



Obr. 7.13 – Souřadnicový systém robotu

### 7.1.7 Postup startování komunikace mezi přijímací a vysílací částí

Nejdříve musí být spuštěna komunikace s přijímací částí prostřednictvím Bluetooth stisknutím tlačítka „BT connect“. Poté se tlačítkem „EMG connect“ spustí sériová komunikace se snímací částí řetězce. Pro dosažení lepší citlivosti EMG senzoru v reakci na napnutí svalu se doporučuje spustit kalibraci horní a dolní meze citlivosti senzoru tlačítky „EMG calibration [relaxed]“ a „EMG calibration [contracted]“. V případě nemožnosti připojení aplikace na jakýkoliv z portů, se zobrazí hlášení v okně „Data“.

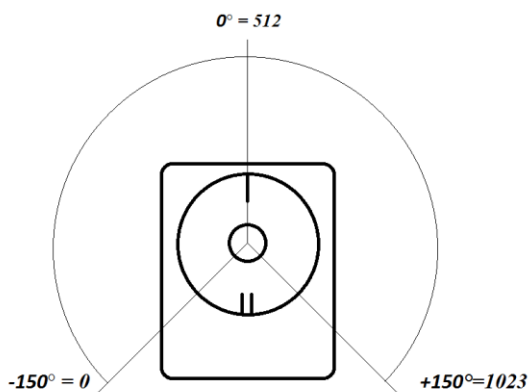
## 7.2 Aplikace pro Arduino na straně přijímací

Aplikace, běžící na Arduino Nano přijímací strany, je zpracována ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Zajišťuje přijímání příkazů od řídicí aplikace na počítače po Bluetooth a předání tohoto příkazu do jednotlivých motorů Dynamixel a posílání zpět do aplikace na PC hodnoty zrychlení snímané akcelerometrem. Pro ovládání motorů pomocí vývojové desky Arduino se používá knihovna DynamixelSerial<sup>[20]</sup>. Pro vytvoření druhého virtuálního sériového portu na desce (pro zapojení Bluetooth modulu) se používá vestavená knihovna vývojového prostředí Arduino IDE - SoftwareSerial. Zdrojový kód vytvořené aplikace pro vývojové prostředí Arduino IDE je součástí přílohy bakalářské práce.

Motory Dynamixel přijímají příkazy ve formě 0..1023 (viz obr. 7.14). Pro přepočítání požadované hodnoty úhlu na hodnotu digitálního signálu byla napsána funkce AngleToDigit, která používá vzorec (6.3).

$$digitAngle = (angle - 150) * 1024/300 \quad (6.3)$$

Kde  $digitAngle$  – je úhel převedený do podoby 0..1023,  $angle$  – požadovaný úhel.



Obr. 7.14 – Řízení úhlu natočení motoru Dynamixel AX-12

### **Slovní popis algoritmu:**

#### 1) Inicializace proměnných:

- Proměnná pro uschování číselového příkazu od PC aplikace –  $digit=0$ ;
- Definování druhé (softwarové) sériové komunikace na pinech 7,6;
- Čítač posloupnosti posílání dat od akcelerometru –  $Gm=0$ ;

#### 2) Nastavení při prvním spouštění:

- Nastartování softwarové sériové komunikace.
- Nastartování komunikace se servomotory Dynamixel, s řídicím pinem 2, určujícím periody čtení/zapisování (pořadí zapnutí Rx/Tx pinů).
- Pause 1s – pro spouštění komunikace s Dynamixel.

d. Počáteční polohování motorů:

- ID 1 =  $AngleToDigit(-90^\circ)$ , ID 2 =  $AngleToDigit(90^\circ)$ ,
- ID 3 =  $AngleToDigit(-70^\circ)$ , ID 4 =  $AngleToDigit(70^\circ)$ ,
- ID 5 =  $AngleToDigit(-30^\circ)$ , ID 6 =  $AngleToDigit(30^\circ)$ .

3) Hlavní nekonečný cyklus:

a. Jestli zůstatek po dělení hodnoty vracené funkcí  $mills()$  se rovná 0, vybíráme dle  $Gm$ :

- $Gm = 0$  : posíláme po sériové lince „G“ – označení začátku posílání údajů XYZ od akcelerometru;
- $Gm = 1$  : posíláme po sériové lince aktuální hodnotu na analogovém vstupu A5 – zrychlení ve směru osy X;
- $Gm = 2$  : posíláme po sériové lince aktuální hodnotu na analogovém vstupu A6 – zrychlení ve směru osy Y;
- $Gm = 3$  : posíláme po sériové lince aktuální hodnotu na analogovém vstupu A7 – zrychlení ve směru osy Z;

b. Přičítáme k  $Gm$  1;

c. Jestli  $Gm$  je větší než 3, pokládáme  $Gm$  rovno nule;

d. Jestli jsou nové data přijaté po sériové lince:

- Čteme nový symbol přijatý po sériové lince do proměnné  $ch$ ;
- Vybíráme dle  $ch$ :
  - $ch = '0'.. '9'$  :  $digti = digit * 10 + ch - '0'$ ,  $ch$  – se převádí do integer čísla z tabulky ANSI, a odečítá se 80 (,'0' v tabulce ANSI).
  - $ch = 'x'$  : Polohování motorů s  
 $ID 5 = AngleToDigit(-digit)$ ,  
 $ID 1 = AngleToDigit(-map(digit, 0, 90, 90, 40))$ .  
(Pohyb motoru s ID 1 je proporcionálně závislý na pohybu motoru ID 5)
  - $ch = 'y'$  : Polohování motorů s  
 $ID 6 = AngleToDigit(digit)$ ,  
 $ID 2 = AngleToDigit(map(digit, 0, 90, 90, 40))$ .

(Pohyb motoru s ID 1 je proporcionálně závislý na pohybu motoru ID 5)

4) Opakování hlavního cyklu.

Ve vývojovém prostředí Arduino IDE není možnost programování multivláknových aplikací, proto se pro realizaci nezávislého posílání dat z akcelerometru a čtení příkazů používá funkce  $milis()$ , která vrací čas v milisekundách od posledního startu desky Arduino. Důvodem potřeby použití dvou vláken je to, že PC aplikace nestíhá předčítávat hodnoty zrychlení posílané po

Bluetooth s periodou menší než 50ms. Výše uvedený algoritmus posílá údaje od akcelerometru ve tvaru “G Xvalue Yvalue Zvalue” s 50 ms pauzy mezi jednotlivými hodnotami.

### 7.3 Aplikace pro Arduino na straně vysílací

Aplikace byla vytvořena ve vývojovém prostředí Arduino IDE pro Arduino Mega. V průběhu snímání svalové aktivity se aktuální hodnota napnutí svalu vypočítává z aritmetického průměru posledních 20 naměřených hodnot. Perioda snímání údajů z EMG senzoru je 30ms. Vypočtená aktuální hodnota napnutí svalu se po sériové lince předává do aplikace na počítači. Nastavení sériové linky: 9600 bit/s, 8 bit, No parity, 1 stop bit. Aplikace umožňuje řízení robotu jakýmkoliv analogovým senzorem s výstupem napojeným na nulový analogový vstup Arduino Mega. Zdrojový kód vytvořené aplikace pro vývojové prostředí Arduino IDE je v příloze k bakalářské práci.

#### **Slovní popis algoritmu:**

- 1) Inicializace proměnných:
  - a. Počet hodnot, ze kterých se bude počítat aritmetický průměr –  $NumVals=20$ ;
  - b. Pole  $Vals$  rozměru  $NumVals$ , do kterého se ukládají hodnoty z analogového vstupu;
  - c. Suma všech prvků v poli  $Vals$  –  $sum=0$ ;
  - d. Čítač posledního změněného prvku v poli  $Vals$  –  $num=0$ ;
- 2) Funkce nastavení při prvním spuštění:
  - a. Startování sériové komunikace.
- 3) Hlavní nekonečný cyklus:
  - a. Odečítáme od  $sum$   $num$ -tý prvek uložený v poli hodnot  $Vals$ ;
  - b. Čteme aktuální hodnotu analogového vstupu A0 do  $num$ -tého prvku pole  $Vals$ ;
  - c. Přičítáme k  $sum$  hodnotu  $num$ -tou;
  - d. Navyšujeme  $num$  o 1;
  - e. Jestli  $num$  je větší nebo roven  $NumVals$ , pokládáme  $num$  rovno nule;
  - f. Posíláme po sériové lince zaokrouhlenou hodnotu  $sum/NumVals$ ;
  - g. Čekáme 30ms;
- 4) Opakování hlavního cyklu.

Uvedený algoritmus umožňuje rychlý přepočítání aritmetického průměru  $NumVals$ -tého počtu prvků v poli  $Vals$ .



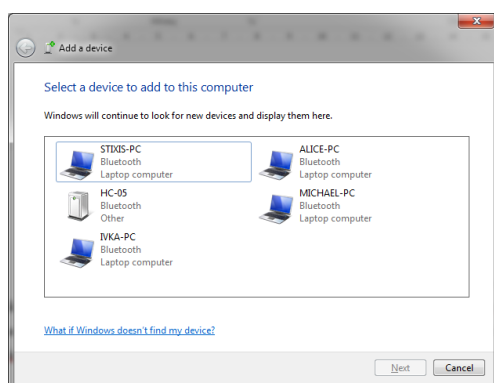
## 7.4 Aplikace pro chůzi robotu

Původní aplikace pro chůzi robotu od výrobce Robotis potřebovala připojení všech 18 motorů Dynamixel k řídicí jednotce CM-530. Pro možnost spouštění aplikace s odpojenými motory s ID 1..6 (jsou řízené pomocí Arduino), byly v původní aplikaci, vytvořené ve vývojovém prostředí RoboPlus Task, změněny řádky odpovídající detekci motorů. Zdrojový kód upravené aplikace je v příloze k bakalářské práci.

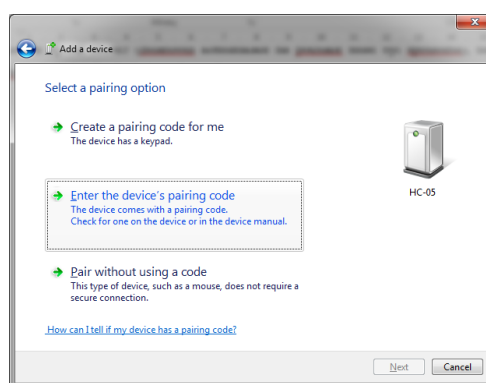
## 7.5 Postup nastavení počítače pro komunikaci s BT modulem

Níže je uveden postup připojení a nastavení komunikace PC s BT modulem.

Bluetooth modul musí být napájen a nesmí být připojen na jiný přístroj (LED-indikátor musí blikat s konstantní frekvencí). Pak se přes „Control Panel – Add a device“ (viz. obr. 7.15) musí z přístupných přístrojů vybrat HC-05 (na počítači musí být aktivní Bluetooth komunikace). Metoda připojení je „Using the device’s pairing code“ (viz. obr. 7.16).

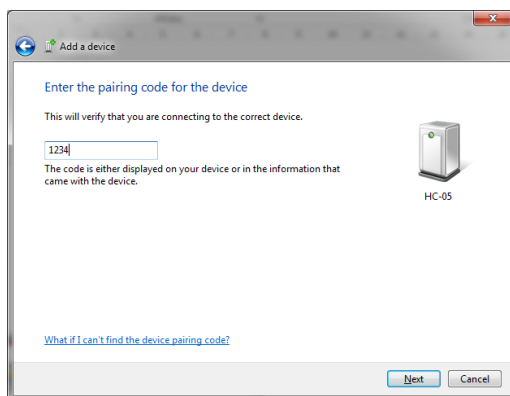


Obr. 7.15 – Seznam BT zařízení

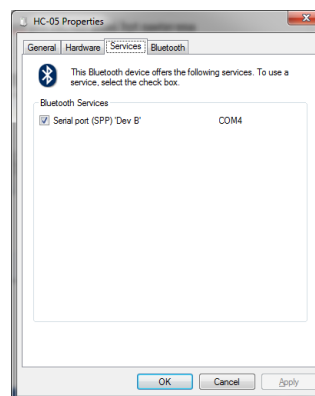


Obr. 7.16 – Připojení BT modulu

Do pole kódu se musí zadat „1234“ (obr. 7.17). Dále přes „Control Panel – View devices and printers“ pro HC-05 musí být nastavena vlastnost „Serial port (SPP) Dev ‘B’“ (v záložce Services), jak je zobrazeno na obr. 7.18.



Obr. 7.15 – Seznam BT zařízení

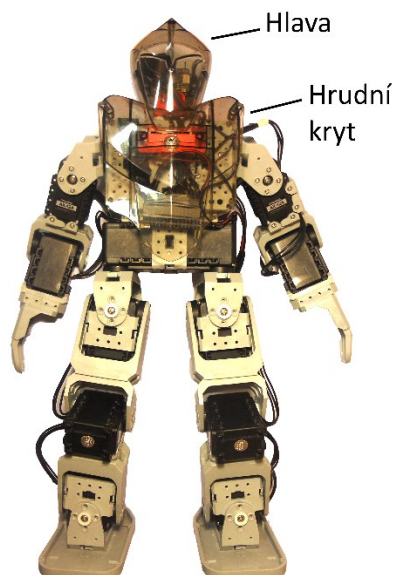


Obr. 7.16 – Připojení BT modulu

## 8 Technická realizace

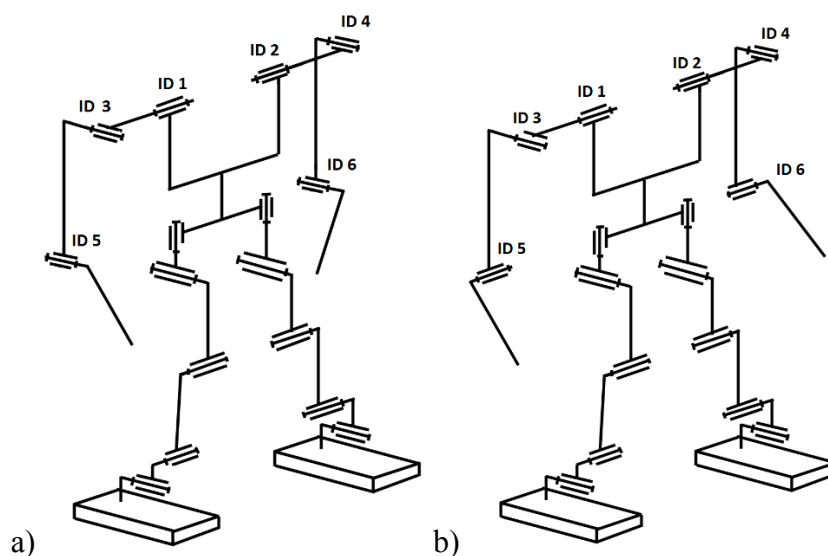
V rámci bakalářské práce byla provedena realizace rozpracované optimální varianty, a také byly vyřešeny provozní problémy spojené se snímacími elektrodami.

### 8.1 Realizace strany přijímací



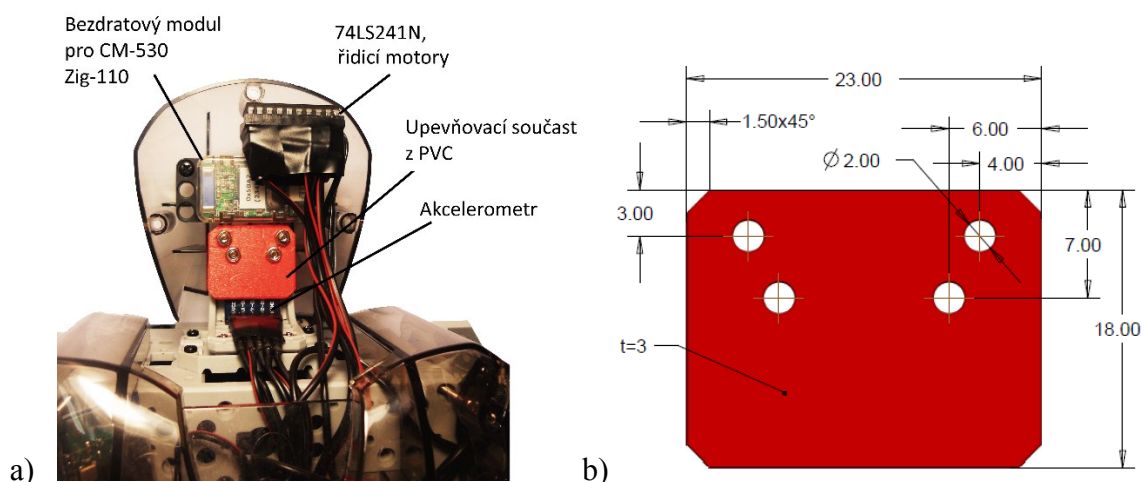
Obr. 8.1 – Realizace strany přijímací

Standardní uspořádání kloubů rukou robotu bylo změněno (viz. obr. 8.1) pro větší podobnost s lidským svalovým systémem (viz. obr. 8.2). Také bylo změněno propojení mezi Dynamixel s ID 1 – 6: řídicí kabel → ID 6 → ID 4 → ID 2 → ID 1 → ID 3 → ID 5. Realizace dovoluje současné řízení chůze robotu pomocí ovladače (s využitím upravené standardní aplikace pro chůzi od Robotis) a řízení rukou robotu pomocí konvertovaných údajů z EMG senzoru.



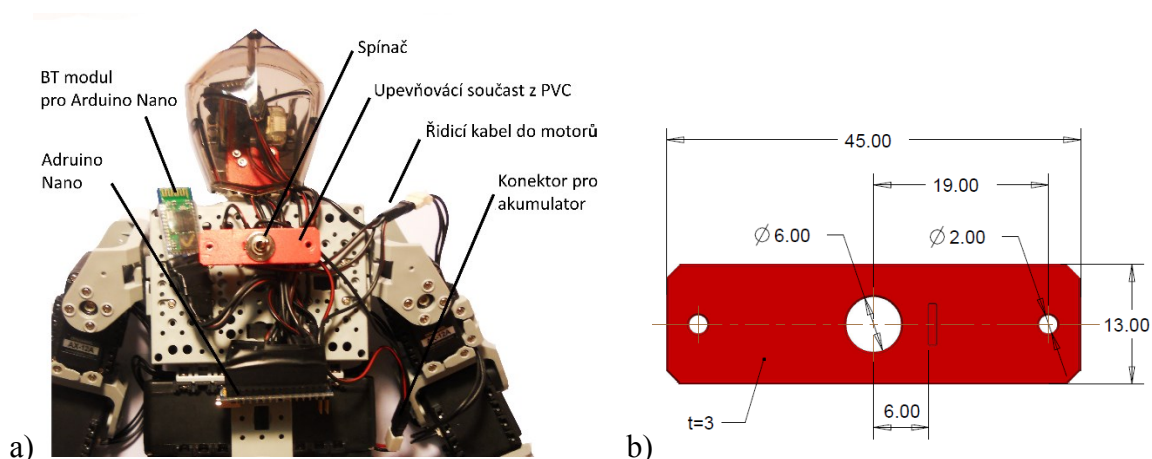
Obr. 8.2 – Kinematická struktura robotu: a) původní, b) změněná

Akcelerometr byl upevněn ve hlavě (obr. 8.3a) robotu pomocí součásti (obr. 8.3b) vyřezané z PVC desky.



Obr. 8.3 – Akcelerometr ve hlavě robotu: a) zapojení, b) upevňovací součást

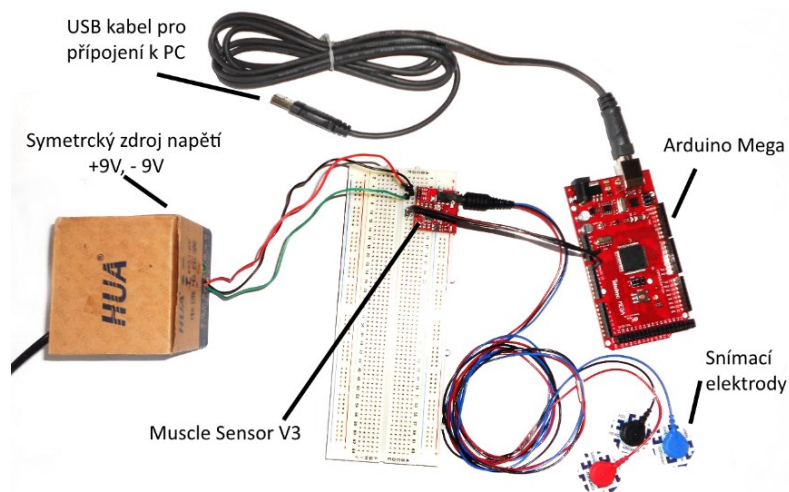
Spínač přijímací části byl upevněn pomocí součásti z PVC desky (obr. 8.4b) v hrudním krytu robotu (viz. obr. 8.4a).



Obr. 8.4 – Umístění spínače: a) zapojení, b) upevňovací součást

## 8.2 Realizace strany vysílací

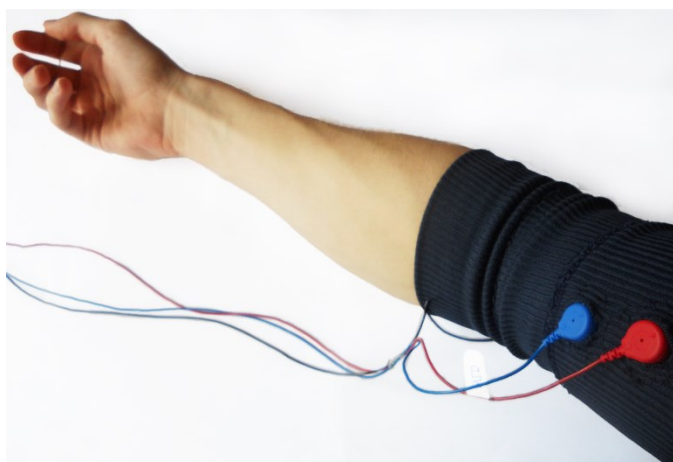
V prototypu systému byl připojen jen jeden senzor svalové aktivity EMG. Maximální počet integrovaných EMG senzorů do systému je omezen pouze počtem analogových vstupů (v případě Arduino Mega - 16) a rychlostí sériové komunikace mezi deskou a počítačem. Kabely elektrod musí ležet na dostatečné vzdálenosti od zdrojů napájení a elektromagnetických ruchů, jinak může dojít k signifikantnímu zhoršení kvality snímaného signálu.



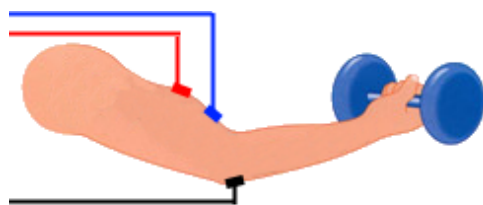
Obr. 8.5 – Realizace vysílací strany

### 8.3 Elektrody

Sada Muscle Sensor V3 obsahuje 6 elektrod pro jednorázové použití. Pro zjednodušení procesu umístění elektrod na kůži a odstranění problému jejich jednorázového použití, byl vytvořen rukáv z roztahovací látky (obr. 8.6), který má všité elektrody na příslušných místech, odpovídajících poloze svalů na lidské ruce (obr. 8.7).



Obr. 8.6 – Elastický rukáv



Obr. 8.7 – Umístění elektrod při snímání  
EMG signálu

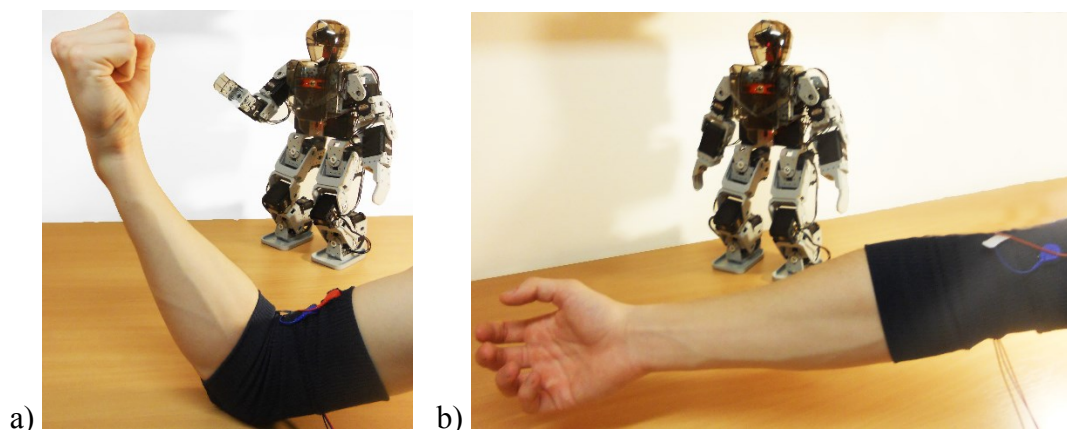
**Červený kabel** – střed svalu.  
**Modrý kabel** – konec svalu.  
**Černý kabel** – referenční kabel  
 (v místě kde nejsou svaly).

## 9 Testování systému

Realizovaný systém byl otestován pro ověření splnění požadavků kladených na systém. Provedené testy ukázaly, že systém funguje správně.

### 9.1 EMG senzor

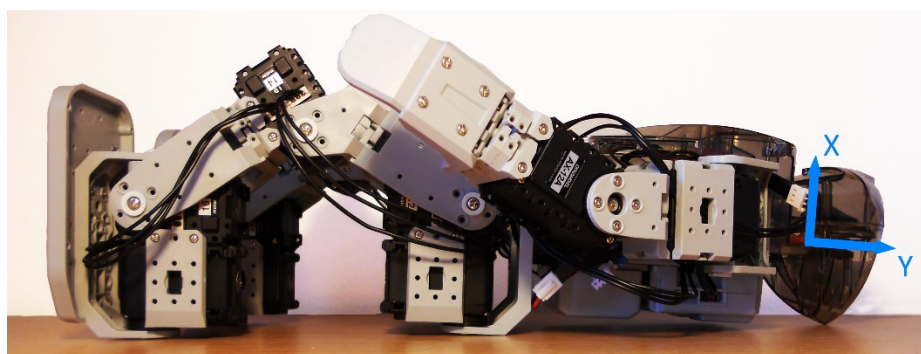
Při testování systému bylo zjištěno, že reakce systému na napnutí lidského svalu není okamžitá, ale má zpoždění přibližně 1/3 sekundy. To je způsobeno velkým počtem prvků ve snímacím a řídicím řetězci.



Obr. 9.1 – Testování řízení ruky robotu pomocí EMG senzoru: a) napnutí svalu, b) relaxace svalu

### 9.2 Akcelerometr

Hodnoty zrychlení, které ukazuje akcelerometr při chůzi robotu, nepřekračují hodnotu 1,2g. V horizontální poloze robotu akcelerometr ukazuje hodnoty zrychlení: XYZ [0, -1, 0]. V době, kdy robot leží na zádech, akcelerometr ukazuje hodnoty: XYZ [-0.9, 0.1, 0]. Odchylka hodnoty zrychlení ve směru osy X od ideální hodnoty „1“ je způsobena tím, že v této poloze není osa X úplně kolmá na povrch (viz. obr. 9.2).



Obr. 9.2 – Poloha souřadnicových os robotu při poloze na zádech

## 10 Závěr

Dle zadání byla zpracována rešerše obsahující přehled systému Bioloid, jeho komponent, senzoru svalové aktivity Muscle Sensor V3 a akcelerometru. Dle předběžných požadavků byl zpracován požadavkový list. Na základě těchto požadavků byly navrženy tři varianty řešení zadání řízení robotu pomocí údajů ze sensorů svalové aktivity. Varianty byly porovnány pomocí metody hodnotové analýzy a byla zvolena optimální varianta – varianta B. Vybraná varianta, kromě splnění závazných požadavků, umožňuje i splnění nepovinných požadavků na možnost současného řízení chůze robotu pomocí ovladače i údajů z EMG senzoru. Také varianta B umožňuje řízení robotu pomocí příkazů posílaných z PC.

Kvůli nedostatku času nebyl realizován nepovinný požadavek na konstruování čtyřnohého robotu ze stavebnice Bioloid a následující testování navrženého systému na jeho podvozku.

Po detailním rozpracování optimální varianty a softwarového zabezpečení byl realizován její prototyp, který umožňuje bezdrátové ovládání klouby jedné ruky robotu pomocí údajů z EMG sensorů.

V rámci vývoje softwarového zabezpečení bylo realizováno posílání údajů z integrovaného do systému akcelerometru do aplikace na PC a jejich následující zobrazení ve formě vektoru zrychlení.

Během realizace byl vyřešen problém s využitím jednorázových elektrod – byl vytvořen elastický rukáv s elektrodami umístěnými uvnitř, což umožňuje jejich mnohonásobné využití, bez ohledu na lepivost elektrod. Byly provedeny testy, které potvrdili správnost fungování systému řízení ruky robotu pomocí údajů z EMG senzoru a správnost snímaných hodnot zrychlení.

V průběhu práce nad bakalářským projektem byly zjištěny důležité zvláštnosti fungování senzoru určeného pro měření elektromyografie. Bylo stanoveno, že pro dosažení správného pohybu robotického zařízení, v souvislosti s napnutím lidského svalu, je nutno použít údaje z více sensorů, například doplnit snímací systém senzorem ohybu.

Vytvořený systém lze použít při návrhu jiných robotických zařízení, využívajících motory Dynamixel a senzor svalové Muscle Sensor V3.

## 11 Použitá literatura

- [1] IntoRobotics.com. 2015. Robotic Kits for Developing New and Exciting DIY Projects. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.intorobotics.com/robotic-kits-for-developing-new-and-exciting-diy-projects>
- [2] ROBOTIS. 2010. Additional Example Robot (Premium Kit). [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://support.robotis.com/en/product/bioloid/premiumkit/download/bio\\_prm\\_additional\\_apps.htm](http://support.robotis.com/en/product/bioloid/premiumkit/download/bio_prm_additional_apps.htm)
- [3] ROBOTIS. 2010. ROBOTIS e-Manual v1.21.00. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://support.robotis.com/en/product/auxdevice/controller/cm530.htm>
- [4] HetPro. 2015. Dynamixel AX-12A. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [https://hetprostore.com/images/detailed/4/DYAX0012\\_2.jpg](https://hetprostore.com/images/detailed/4/DYAX0012_2.jpg)
- [5] Gizmag. 2003-2015. Prosthetic hand capable of delivering texture sensations. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/prosthetic-hand-texture-sensations/34203/>
- [6] ComputerWeekly.com. 2015. Photos: Cyberdyne Hal robotic exoskeleton to help paralyzed. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.computerweekly.com/photostory/2240108387/Photos-Cyberdyne-Hal-robotic-exoskeleton-to-help-paralyzed/6/The-worlds-first-cyborgtype-robot-Cyberdyne->
- [7] Advanced Technologies. 2013. Muscle Sensor V3. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://dlmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Biometric/Muscle%20Sensor%20v3%20Users%20Manual.pdf>
- [8] NKC Electronics. 2015 Grove - 3-Axis Digital Accelerometer(±16g). [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.nkcelectronics.com/Grove--3-Axis-Digital-Accelerometer16g\\_p\\_539.html](http://www.nkcelectronics.com/Grove--3-Axis-Digital-Accelerometer16g_p_539.html)
- [9] SeeedStudio. 2015. Wiki. GROVE - Toy Kit. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.seeedstudio.com/wiki/GROVE\\_-\\_Toy\\_Kit](http://www.seeedstudio.com/wiki/GROVE_-_Toy_Kit)
- [10] Emartee. 2015. ADXL345 3-Axis Accelerometer. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.emartee.com/product/42256/ADXL345%203%20Axis%20Acceleration%20of%20Gravity%20Module>

- [11] DataSheetDir. 2015. Three-Axis,  $\pm 2/4/8/16g$  Digital Accelerometer. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.datasheetdir.com/ADXL345+Accelerometer>
- [12] HOBBY COMPONENTS. 2015. GY-61 ADXL335 Triple Axis Accelerometer Module. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [hobbycomponents.com/sensors/556-gy-61-adxl335-triple-axis-accelerometer-module](http://hobbycomponents.com/sensors/556-gy-61-adxl335-triple-axis-accelerometer-module)
- [13] Smart Prototyping. 2015. ADXL335 3-Axis Accelerometer Module GY-61 for Arduino. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://smart-prototyping.com/ADXL335-3-Axis-Accelerometer-Module-GY-61-for-Arduino.html>
- [14] Pololu Corporation. 2001-2015. MMA7361LC 3-Axis Accelerometer  $\pm 1.5/6g$  with Voltage Regulator. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/1251>
- [15] ARDUINO. 2015. *Arduino Uno* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [16] SeeedStudio. 2015. GROVE - Toy Kit. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.seeedstudio.com/wiki/images/4/48/HC-05\\_datasheet.pdf](http://www.seeedstudio.com/wiki/images/4/48/HC-05_datasheet.pdf)
- [17] ARDUINO. 2015. *Arduino Nano* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega>
- [18] ARDUINO. 2015. Arduino – SoftwareSerial [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial>
- [19] ARDUINO. 2015. *Arduino Mega* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- [20] *Josué, Alejandro*. 2015. Savage Electronics: Biblioteca Dynamixel. [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://savageelectronics.blogspot.cz/2011/08/actualizacion-biblioteca-dynamixel.html>



## 12 Seznam příloh

### *Přílohy v elektronické podobě*

- [1] Spustitelný soubor PC aplikace – „Com.exe“.
- [2] Zdrojový kód PC aplikace – vývojové prostředí Visual Studio – C#.
- [3] Zdrojový kód aplikace pro vysílací část – vývojové prostředí Arduino IDE.
- [4] Zdrojový kód aplikace pro přijímací část – vývojové prostředí Arduino IDE.
- [5] Zdrojový kód aplikace pro chůzi robotu – vývojové prostředí RoboPlus Task.
- [6] Bakalářská práce v elektronické podobě – MS Word.