



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

NÁVRH HUMANOIDNÍHO ROBOTA PRO SOUTĚŽ ROBOCUP

DESIGN OF HUMANOID RACING ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ ZAJÍC

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV VĚCHET, 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): Jiří Zajíc

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:

Návrh humanoidního robota pro soutěž RoboCup

v anglickém jazyce:

Design of humanoid racing robot

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh humanoidního robota pro soutěž v robotickém fotbale RoboCup. Jako základ pro sestavení soutěžního robota poslouží stavebnice Bioloid, která umožňuje rychlý vývoj hardwaru a proto je možné se více zaměřit na řešení problému řízení celého robota pro potřeby soutěže.

Cíle bakalářské práce:

Podrobně prostudujte pravidla soutěže RoboCup

Prostudujte v současnosti používané soutěžní roboty

Na základě provedené analýzy proveďte návrh konstrukce

Vybranou konstrukci postavte a oživte.

Seznam odborné literatury:

www.megarobot.net

www.robotika.cz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 22.10.2009

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce pojednává o výběru a přípravě robota na soutěž RoboCup Humaid League. Jako základ pro stavbu je použita stavebnice Bioloid od výrobce Robotis. Stavebnice je rozšířena o novou řídicí jednotku Roboard-100, snímače rotace a zrychlení, webovou kameru a Li-pol akumulátory. Dále je zkoumána komunikace mezi jednotlivými servopohony a navržen převodník signálu ze sběrnice USB na sběrnici Dynamixel. Jeho funkčnost je poté otestována na základních řídicích programech.

ABSTRACT

Thesis deals with the selection and preparation of robot for competition RoboCup HumaidLeague. As a basis for robot is used Robotis Bioloid Kit. The kit is extended with a new control unit Roboard-100, rotation and acceleration sensor, a webcam, and Li-Pol batteries. Furthermore, it examined communications between servo drives and designed signal converter from the USB to Dynamixel bus. Its functionality is then tested on the basic control programs.

KLÍČOVÁ SLOVA

RoboCup, HumanoidLeague, humanoidní robot, Bioloid, AX-12+, Dynamixel, Robotis, RB-100, RS-485, FT232RL, USB2Dynamixel

KEYWORDS

RoboCup, HumanoidLeague, humanoid robot, Bioloid, AX-12+, Dynamixel, Robotis, RB-100, RS-485, FT232RL, USB2Dynamixel

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Stanislavu Věchetovi PhD. za jeho cenné rady, trpělivost, shovívavost, přátelský přístup a ochotu vždy pomoci, kterou v průběhu vzniku této práce projevoval. Chtěl bych také poděkovat svým rodičům za jejich morální a finanční podporu a trpělivost s mou výchovou.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem celou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Zajíc Jiří, Brno, 2010

Obsah:

1	Úvod.....	11
2	Formulace problému a cíle řešení.....	13
2.1	Konstrukce robota.....	13
2.2	Řídící elektronika.....	13
2.3	Komunikace.....	13
2.4	Snímání obrazu.....	13
2.5	Pomocné snímače.....	13
2.6	Napájení.....	13
3	Analýza problému.....	15
3.1	Soutěž RoboCup.....	15
3.1.1	RoboCup Soccer.....	15
3.1.2	RoboCup Rescue.....	16
3.1.3	RoboCup @Home.....	16
3.1.4	RoboCupJunior.....	16
3.2	Pravidla hry HumanoidLeague.....	16
3.2.1	Požadavky na robota.....	16
3.2.2	Hřiště.....	17
3.2.3	Hráči.....	18
3.2.4	Průběh zápasu.....	18
3.2.5	Rozhodčí.....	18
3.2.6	Technické výzvy.....	19
3.3	Analýza konkurenčních týmů.....	20
3.3.1	Konstrukce robota.....	20
3.3.2	Řídící elektronika.....	20
3.3.3	Snímání obrazu.....	21
3.3.4	Pomocné snímače.....	21
3.3.5	Napájení.....	21
4	Návrh řešení.....	23
4.1	Návrh a konstrukce hardware.....	23
4.1.1	Konstrukce robota.....	23
4.1.2	Řídící elektronika.....	24
4.1.3	Komunikace.....	25
4.1.4	Snímání obrazu.....	25
4.1.5	Pomocné snímače.....	26
4.1.6	Napájení.....	26
4.2	Převodník signálů.....	27
4.2.1	Zapojení servopohonů.....	27
4.2.2	Rozbor protokolu.....	27
4.2.3	Výběr použitých součástek.....	28
4.2.4	Rozbor zapojení.....	28
4.2.5	Vlastnosti převodníku.....	29
5	Aplikace vytvořeného řešení	31
5.1	Matlab: Lehnutí a zvednutí se.....	31
5.2	LabVIEW: Polohové řízení servopohonu.....	31
5.3	Motion editor: Chůze a otáčení.....	32
6	Závěr.....	35
7	Seznam použité literatury.....	37

1 ÚVOD

RoboCup (oficiálně Robot World Cup Initiative) je organizace, jež si dává za úkol podporovat vývoj robotiky a umělé inteligence. Snaží se toho docílit tím, že pořádá soutěže s dlouhodobým zadáním, které vytváří prostor pro použití široké škály technologií a strategií a vede tím účastníky k projektově orientovanému vzdělávání. Historie soutěže sahá do roku 1996, kdy proběhlo první kolo v Osace (Japonsko) kde se zúčastnilo 8 týmů. Od té doby se soutěž stále rozrůstá a v minulém roce 2009 byl počet týmů 407 ze 43 zemí. Účastníky této soutěže jsou převážně univerzitní týmy, avšak často se objevují i týmy tvořené nadšenci. Účast v soutěži RoboCup se stává prestižní událostí nejen pro soutěžící, ale i pro univerzity jež je vyslaly. Pro ty pak jednotlivý soutěžící představují velmi dobrou reklamou v odborných kruzích.

Pro účast na soutěži je však potřeba mnoho zkušeností a praxe se stavbou a ovládáním robotů. Zde popisovaný model si neklade za cíl být finálním produktem, který bude nasazen v soutěži, ale snažit se poskytnout co nejlepší a nejefektivnější platformu pro získávání zkušeností s humanoidními roboty. V budoucnosti nejtěžším úkolem však bude jeho naprogramování a precizní řízení, protože soutěžní roboti musí být nejenom autonomní, ale je potřeba, aby spolu spolupracovali a hráli takticky.

Aby byl vývoj prototypu co nejrychlejší, bude jako základ použita stavebnice Bioloid od společnosti Robotis, protože má dobré základní parametry. Z nich můžeme uvést například jednoduše upravitelnou konstrukci či kvalitní dokumentaci, která byla vytvořena díky široké základně uživatelů. Tato stavebnice však není v žádném případě schopna konkurovat současným účastníkům soutěže, a proto ji bude třeba podstatným způsobem upravit.



Obr. 1 Robot Bioloid v základním sestavení, založeno na modelu [1].

2 FORMULACE PROBLÉMU A CÍLE ŘEŠENÍ

Je třeba navrhnout robota, který bude plně v souladu s pravidly a bude schopen se rovnocenně utkat v soutěži RoboCup Humanoid league proti soupeřům. Jako základ má být použita stavebnice Bioloid Comprehensive Kit od výrobce Robotis, jež však potřebuje úpravy. Z důvodu komplexnosti problému bude rozdělen na menší části a řešen sekvenčně. Nejvhodnější rozdělení je podle účelu dané součásti.

2.1 Konstrukce robota

Jak bylo zmíněno výše, vychází ze stavebnice Bioloid, je potřeba zjistit zda je vhodná a konkurenceschopná v soutěži, zda a jaké na ní budou potřeba provést úpravy.

2.2 Řídící elektronika

Protože řídící jednotka CM-5 dodávaná v kitu není v žádném případě vhodná pro nasazení v takto náročné aplikaci (je založena na ATmega128), bude nutné vybrat jinou vhodnou platformu, na níž bude postavena nová jednotka. Nabídka platform je v současnosti velmi široká, avšak výběr je rapidně omezen rozměrovými dispozicemi. Např. základní deska by neměla příliš přesahovat rozměr 80x110mm, aby nedocházelo ke konstrukčním komplikacím. Dále by měla mít nízkou spotřebu, přijatelné napájecí napětí (max. 7-8V), dostatečný výkon pro zpracování obrazu a konektivitu pro připojení periferních zařízení.

2.3 Komunikace

Aby roboti mohli správně a efektivně spolupracovat, je potřeba aby mezi sebou měli stabilní komunikační kanál. V závislosti na pravidlech tedy bude navržen způsob komunikace vhodný do provozu při vysoké míře elektromagnetického šumu, který při soutěži panuje. Z důvodu změny řídící jednotky je nutné vytvořit komunikační převodník zajišťující komunikaci se servopohony.

2.4 Snímání obrazu

Soutěžní podmínky jsou optimalizovány pro snímání obrazu, což je jedním z nejdůležitějších zdrojů informací pro roboty. Vzniká tedy potřeba výběru vhodné kamery a případně i systému pro její pohyb. Typ použité kamery je úzce spjat s volbou řídící jednotky a její konektivity, na což musí být brán majoritní zřetel.

2.5 Pomocné snímače

Pro zlepšení orientace v prostoru a stability je vhodné přidat další snímače. V úvahu přicházejí akcelerometr, gyroskop, magnetometr a snímače tlaku umístěny na nohou. V závislosti na pravidlech může být vhodné použít mikrofon pro příjem signálů rozhodčího.

2.6 Napájení

Napájení musí být dostatečně nadimenzováno, aby nekomplikovalo soutěž častým nabíjením článků a na druhé straně, aby zbytečně nezvyšovalo nesenou hmotnost robota. Je potřeba, aby poskytovalo potřebné napětí i za vysoké proudové zátěže při součinnosti více pohonů a také aby poskytovalo ochranu proti zkratu.

3 ANALÝZA PROBLÉMU

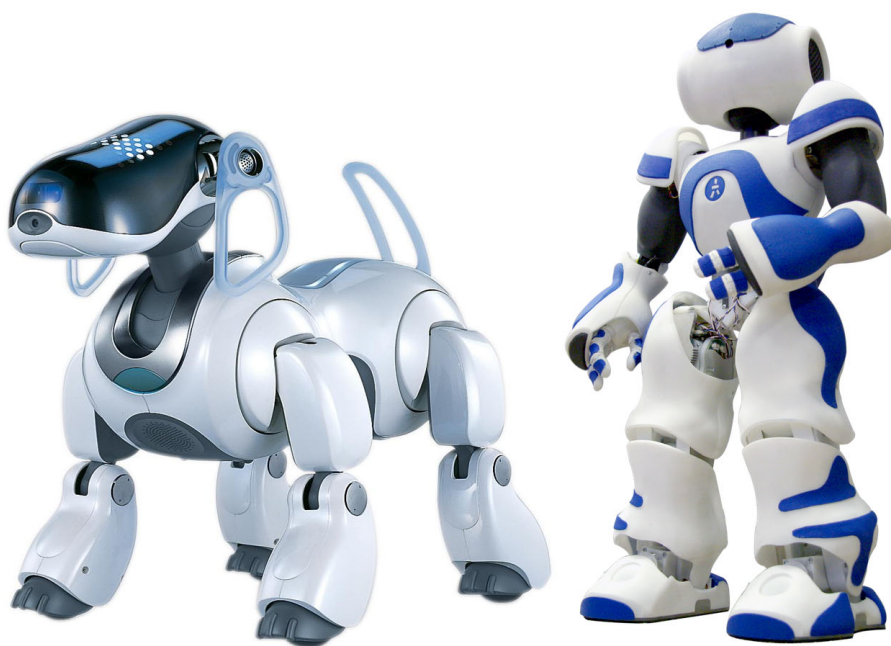
3.1 Soutěž RoboCup

RoboCup se za léta své existence rozšířl z jediné disciplíny do celého portfolia rozděleného na tyto kategorie:

- RoboCup Soccer
 - Humanoid
 - Middle Size
 - Simulation
 - Small Size
 - Standard Platform
- RoboCup Rescue
- RoboCup @Home
- RoboCupJunior

3.1.1 RoboCup Soccer

RoboCup soccer je disciplína, jež má simulovat fotbalový zápas a to naprosto autonomně, tedy bez zásahu člověka. V kategorii Humanoid se roboti nejvíce podobají lidem a to tak, že kráčejí po dvou nohách, mají omezený zorný úhel atp. Tato kategorie je dále rozdělena podle výšky a to na tři skupiny: KidSize (300-600 mm) TeenSize (1000-1200 mm) a AdultSize (1300-1600 mm). Další kategorií je Middle size přičemž roboti mohou mít kola, plný úhel pohledu a hrají na podstatně větším hřišti. V kategorii Simulation soupeří proti sobě pouze počítačové programy a není tudíž třeba konstruovat robota. Ve Small size soutěží roboti ve tvaru kostky s golfovým míčkem. A ve Standart platform league jsou všichni roboti shodní, například v roce 2008 to byl známý robotický „pes AIBO“ a jde tedy pouze o vývoj software.



Obr. 2 Robotický pes AIBO[2] a jeho nástupce Aldebaran Nao[3].

3.1.2 RoboCup Rescue

Tato disciplína má simulovat katastrofický scénář, při němž by mohlo být nasazení záchranáře rizikové a proto je vhodné použít dálkově ovládaného robota. Jsou zde kladeny vysoké nároky na schopnost manévrování a průchod náročným terénem. Dále je hodnocena rychlost, počet nalezených osob a informace o nich získané.

3.1.3 RoboCup @Home

@Home je věnován na domácí automatizaci a ulehčování každodenních úkonů. Hodnocení se soustředí převážně na schopnosti komunikace člověk-počítač, orientace při denním světle, manipulace s předměty atp.

3.1.4 RoboCupJunior

Junior liga má za cíl hlavně připravit mladé nadšence k hlavním soutěžím, a proto jsou její zadání méně náročná a nevyžadují drahé vybavení a velké zkušenosti. Témata se každoročně mění, jelikož jejich realizace není tak náročná.

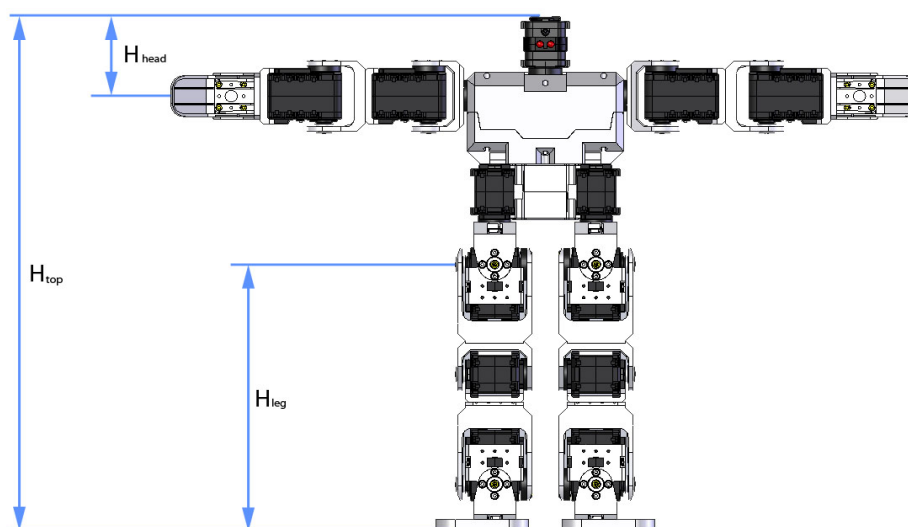
3.2 Pravidla hry HumanoidLeague

Provedený rozbor čerpá z draftu pravidel pro rok 2010 [4].

3.2.1 Požadavky na robota

Každý robot soutěžící v RoboCup Soccer Humanoid League (dále jen RC Soccer) musí splňovat tato základní kritéria. Tělo musí být tvarem podobné lidskému, což znamená, že musí mít dvě ruce, dvě nohy, jednu hlavu, jež jsou umístěny na těle. Dovolенý pohyb je pouze chůze či běh po dvou nohou. Výška robota je dána vzorcem:

$$H = \min\{H_{top}; 2,2 * H_{com}\}$$



Obr. 3 Základní rozměrové vlastnosti robota, založeno na modelu [1].

Kde H_{top} je výška robota a H_{com} je výška těžiště (center of mass) ve vzpřímené poloze. Vyvíjený robot spadá do kategorie KidSize class, jelikož je výška $H=420$ mm, což je v rozmezí 300-600 mm.

Robot musí být z naprosté většiny (90%) černý nebo tmavě šedý, tzn. odstín RAL 7011 nebo tmavší, maximálně 10% těla robota může být světle šedé nebo bílé a nanejvýš 1% může být barevné. Robot v žádném případě nesmí být pokryt podobnou barvou jakou mají herní prvky a to zelenou, žlutou, modrou nebo oranžovou. Týmy musí mít pro své roboty připraveny rozlišovače na ruce a nohy a to v barvě anilinově červené a azurové. Jednotliví roboti musí být od sebe jednoznačně rozlišitelní a to buď pomocí popisků se jmény anebo s čísly. Dále musí být jednoznačně identifikovatelný brankář.

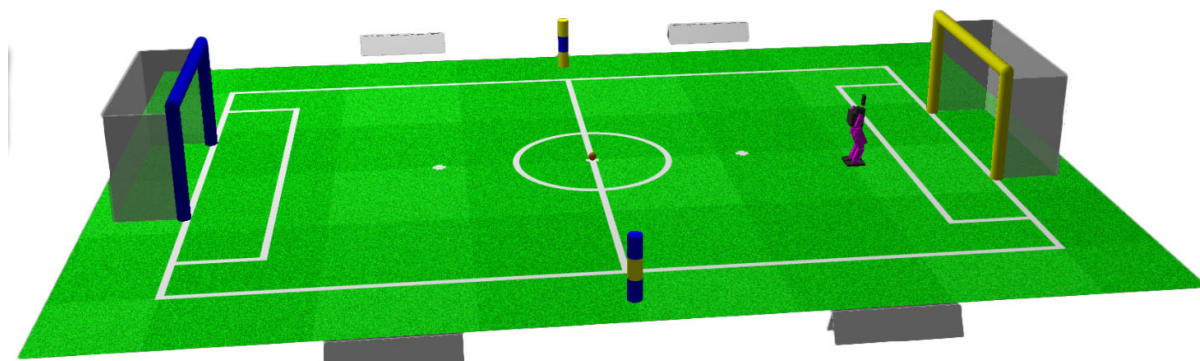
Z podmínek tedy vyplývá, že díly robota budou muset být přelakovány na černo.

Snímače, jež mohou být umístěny na robotovi, musí být adekvátní lidským smyslům a musí být umístěny na podobných místech jako v lidském těle. Žádný ze senzorů nesmí vyzařovat světlo, zvuk nebo elektromagnetické vlny za účelem měření jejich odrazu od okolí. Kamery a mikrofony musí být umístěny na hlavě a to nad krčním kloubem. Kamery mohou být použity nejvýše dvě a jejich společný úhel pohledu je limitován 180° a to v jakémkoliv momentu. Pohyb krčního kloubu je limitován na $\pm 135^\circ$ horizontálně a $\pm 90^\circ$ vertikálně. Dotykové, tlakové a teplotní senzory mohou být umístěny kdekoli na těle robota. Vnitřní senzory robota mohou měřit libovolné veličiny v neomezené míře a to např. napětí, proudy, momenty, zrychlení atp.

Robot musí být při hře plně autonomní, což znamená, že v sobě musí nést veškerou logiku, snímače a napájení. Veškerá komunikace mezi roboty v týmu musí probíhat po bezdrátové síti WLAN (Wi-Fi) poskytované pořadatelem a nesmí přesáhnout 1Mbaud. Roboti však nesmí být na této komunikaci závislí a v případě špatného signálu musí být schopni hry. Dále musí být komunikace kompatibilní s protokolem „Referee Box“ pomocí něhož rozhodčí vysílají herní příkazy. Diagnostika a informace o robotovi mohou být při hře externím počítačem pouze přijímány a to přes protokol UDP. Veškerá jiná bezdrátová komunikace, obzvláště na 2,4 GHz, je přísně zakázána a mohla by vést až k diskvalifikaci týmu.

3.2.2 Hřiště

Hřiště je obdobou klasického fotbalového hřiště, pouze zmenšeného s přihlédnutím na rozměry robotů. Má tvar obdélníku o rozměrech 6x4 m a je rozděleno středovou čarou na dvě poloviny. V úrovni středové čáry jsou umístěny po obou stranách barevné značky, jež mají robotům usnadňovat orientaci na hřišti. Na kratších stranách jsou umístěny branky, do nichž se mají týmy hráčů snažit dopravit míč. Přibližný vzhled hřiště je znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 4 Vizualizace rozložení hřiště[4]

Povrch hřiště je pokryt zeleným kobercem a je osvětlen standardními zdroji světla o dostatečné intenzitě. Čáry jsou nanесeny bílou barvou o šířce 5 cm. V okolí hřiště jsou umístěny černobílé reklamy. Jako herní míč se používá běžný tenisový míček oranžové barvy.

3.2.3 Hráči

Zápas probíhá vždy mezi dvěma týmy, z nichž každý má maximálně tři hráče včetně minimálně jednoho brankáře. Hráč, který není způsobilý ke hře (je poškozen nebo vykazuje nestandardní chování) musí být odstraněn z hřiště a může být nahrazen jiným. Pokud není schopen některý z hráčů po pádu vstát do vzpřímené pozice do 20 sekund, je vyloučen ze hry na trestných 30 sekund. V průběhu hry mohou být, po oznámení rozhodčímu, nahrazeni až dva hráči jinými. Je zakázáno opravovat hráče na hřišti, Musí být tedy vyjmut a nesmí se po dobu minimálně 30 sekund vrátit na hřiště. Oprava robota se nezapočítává jako výměna.

3.2.4 Průběh zápasu

Herní doba je rozdělena na dva poločasy, každý po 10 minutách, mezi nimiž je přestávka která by neměla přesáhnout 5 minut. Zápas se prodlužuje o „přesčas“, což je souhrn časů o něž byla zkrácena herní doba například timeouty, přerušení atd. Každý z týmů má právo požádat jednou za poločas o timeout a to v délce nepřesahující 120 s. Pokud není po uplynutí hrací doby rozhodnuto o vítězi, může rozhodčí nařídít prodloužení o celkové délce maximálně 5 minut.

Hra začíná výkopem ze středové značky. Gól nesmí padnout přímo z výkopu, to znamená že, míč musí být nejprve odkopnut minimálně 20cm od místa výkopu, nebo se musí dotknout jiného hráče. Veškeré informace o startu hry, přerušení atd. jsou hráčům sdělovány přes referee box. Pokud hráč není schopen rozpoznávat tyto signály, může být startován manuálně, avšak je za to penalizován. Zbytek pravidel je velmi podobný pravidlům klasického fotbalu, pouze pravidlo o offside není aplikováno.

3.2.5 Rozhodčí

Každý zápas má právě jednoho hlavního rozhodčího, jenž má plnou autoritu k prosazování pravidel. Rozhoduje, kdy zápas začíná a je zodpovědný za dodržování

časového plánu. Dále také ovládá „referee box“, což je komunikační zařízení které po protokolu UDP bezdrátově vysílá hráčům signály týkající se hry. Hlavní rozhodčí si může přizvat jednoho nebo více pomocných rozhodčích, kteří jsou povinni plnit uložené instrukce. V případě jakéhokoliv problému však rozhoduje hlavní rozhodčí.

3.2.6 Technické výzvy

Pro ozvláštnění turnaje a rozvoje dalších schopností robotů jsou v rámci hlavního turnaje zařazeny tři technické výzvy, za něž mohou soutěžící týmy získat body navíc. Roboti soutěžící v těchto disciplínách musí být stejní jako soutěžící ve fotbale a veškeré úpravy jsou zakázány. Týmy mají 25 minut na splnění každého úkolu. Body za jednotlivé úkoly jsou rozdělovány následovně: tým, jež zdolá daný úkol v nejkratším čase, získává 10 bodů, druhý nejrychlejší 7 bodů, třetí 5 bodů a každý další, jež úkol splnil, dostane po 3 bodech.

A: Vhazování outu

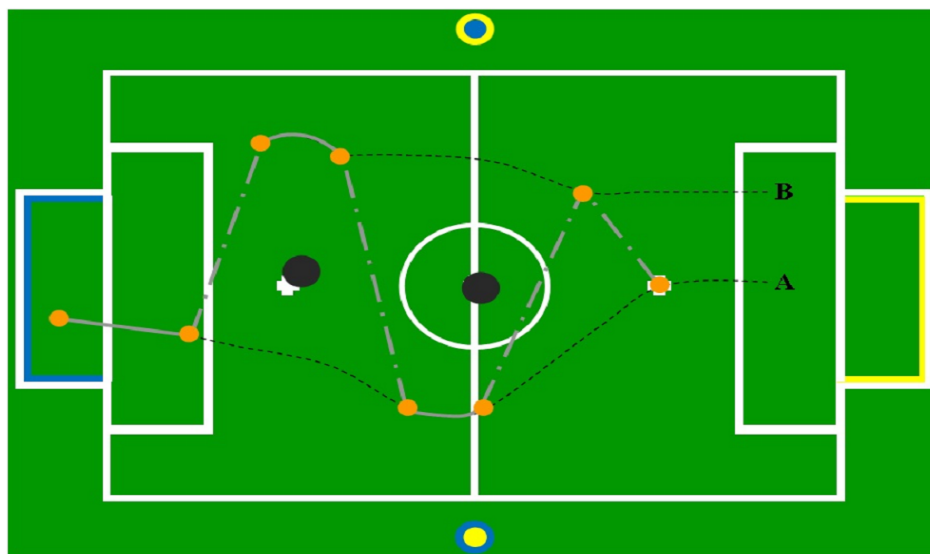
Robot je na začátku umístěn ve středu hřiště čelem k jedné z branek, míč je položen cca 10 cm vně hřiště poblíž středových pólů. Robot musí dojít k míči, otočen čelem k hřišti jej zvednout nad hlavu a vhodit zpět do hřiště, přičemž žádná z jeho nohou, která je ve styku s podkladem nesmí ležet uvnitř hracího pole. Roboti jsou hodnoceni podle vzdálenosti, do které se jim podařilo míč dohodit.

B: Kličkování a přihrávky

Míč je umístěn na středové značce a za ním stojí robot čelem k cílové brance. Dále je na hřišti umístěno 6 černých válců představujících obránce, jež se po každém pokusu přeskupují. Úkolem hráče je dokopat míč do branky mezi obránci tak aby dosáhl míč cílové branky, nejméně však na 10 přihrávek, a bez kontaktu s obránci.

C: Dvojitá přihrávka

Dva roboti, A a B jsou umístěni v penaltovém území své branky. Míč je na obranné penaltové značce, dále jsou umístěny dva černé válce jako obránci a to max. 20 cm v okruhu od středu hřiště a od útočné penaltové značky. Roboti se za pomoci pohybu a přihrávek podle obrázku snaží dát gól. Získané body se odvíjejí od počtu správně provedených přihrávek. Vzorové provedení je vyobrazeno na obrázku.



Obr. 5 Vzorové provedení přihrávek pro technickou výzvu C[4]

3.3 Analýza konkurenčních týmů

Do analýzy konkurenčních týmů bylo zahrnuto 24 týmů, jež byly kvalifikovány do hlavní soutěže RoboCup Soccer Humanoid League KidSize v roce 2010. Informace jsou čerpány z Team Description Paper[5], což je soubor informací, které o sobě musí každý tým před kvalifikací odevzdat.

3.3.1 Konstrukce robota

Většina týmů používala jako základ některou ze stavebnic, jež si dále poupravila dle svých potřeb. Nejčastěji použitou stavebnicí je některá z verzí Bioloid od firmy Robotis (Soul, Korea). Téměř každý však vyměnil servopohony AX-12+ na nohou za výkonnější celokovové RX-64 nebo až za EX-106, které poskytují téměř desetinásobný moment síly. Tato změna byla důležitá z důvodu rychlosti chůze a zvýšení zátěže robota, jenž musí nést oproti původní stavebnici více elektroniky a být robustnější.

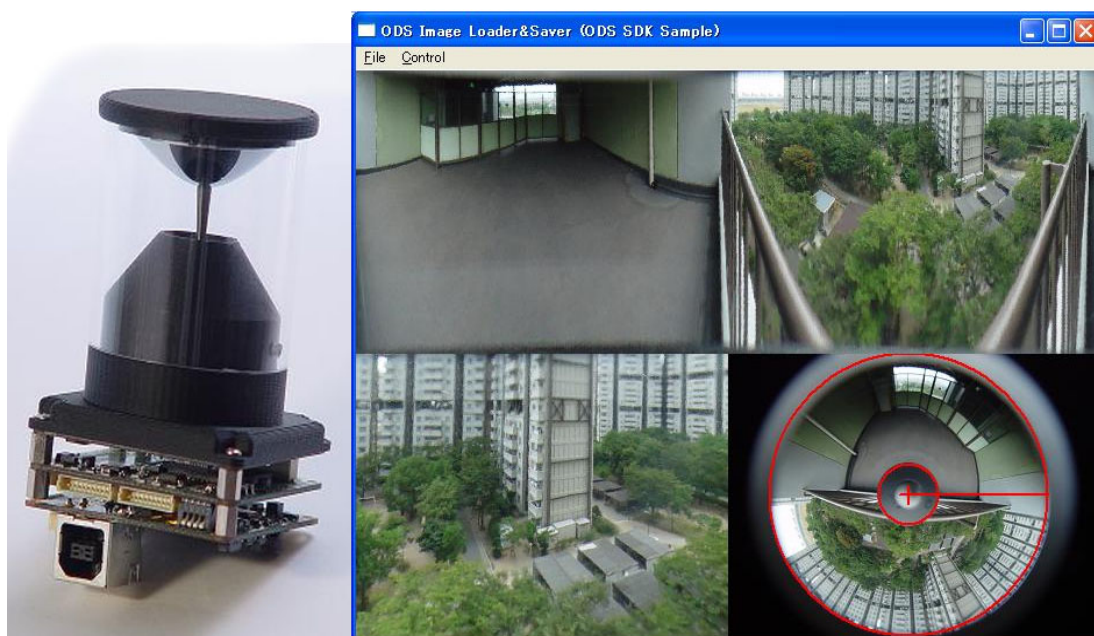
Dále byly přidány dva pohony pro natáčení a naklápění kamery, většinou běžná modelářská serva bez zpětné vazby.

3.3.2 Řídící elektronika

S použitím jednotlivých způsobů řízení byla již situace různorodější. Týmy používaly převážně vývojové desky s různými architekturami (ARM, RISC...), upravená PDA, avšak přibližně třetina použila široce rozšířenou x86 architekturu. Mezi nejzajímavější x86 moduly patřila základní deska z fit-PC2i (Intel Atom Z530@1,6GHz, Wi-Fi, USB 2.0, ethernet, RS-232, DVI) a deska Roboard RB-110 (Vortex86DX@1,0GHz, USB, Ethernet, SPI, RS-232, 16xPWM, A/D převodníky). Dále se objevovaly i poměrně exotická řešení jako například subnotebook Sony VAIO typeU.

3.3.3 Snímání obrazu

Zvolené snímače obrazu byly závislé na zvoleném hardwaru pro jeho zpracování a jeho možnostech konektivity. Jelikož méně než polovina disponovala USB byl nejčastějším protokolem pro přenos obrazu RS-232, což zužuje výběr kamer na průmyslové výrobky s nízkým rozlišením. Týmy s deskou umožňující USB používaly běžné webkamery, jež mají výhodu v nízké ceně, široké dostupnosti a velmi slušné kvalitě. Dva týmy aplikovaly stereoskopické snímání obrazu za pomoci dvou kamer, jež pomáhá robotu v orientaci a lepšímu zaměření objektů, avšak je podstatně náročnější na zpracování obrazu. Nejzajímavějším řešením však bylo bezesporu použití všesměrové kamery VS-C14U-80-ST u týmu HuroEvolution. Tato kamera, využívá asférického zrcadla, čímž dosahuje 360° pohledu bez nutnosti natáčení při vertikálním zorném úhlu +15° až -60° a komunikuje přes USB.



Obr. 6 všesměrová kamera VS-C14U-80-ST a ukázka obrazu[6].

3.3.4 Pomocné snímače

Všechny týmy používaly alespoň dvouosý MEMS akcelerometr, většinou však tříosý. Běžně se také používal MEMS gyroskop, většinou jednoosý, a někteří využili i magnetometr pro lepší orientaci v prostoru. Nejlepší řešení použil tým NYPLion, jež použil na jedné desce tříosý akcelerometr, tříosý gyroskop a jednoosý magnetometr, přičemž snímaná data filtroval Kalmanovým filtrem přímo v čipu před odesláním po sběrnici.

3.3.5 Napájení

Prakticky bez výjimek byly použity modelářské Li-Pol (Lithium-polymerové) baterie o napětí 7-18 V a kapacitě 700-2500 mAh.

4 NÁVRH ŘEŠENÍ

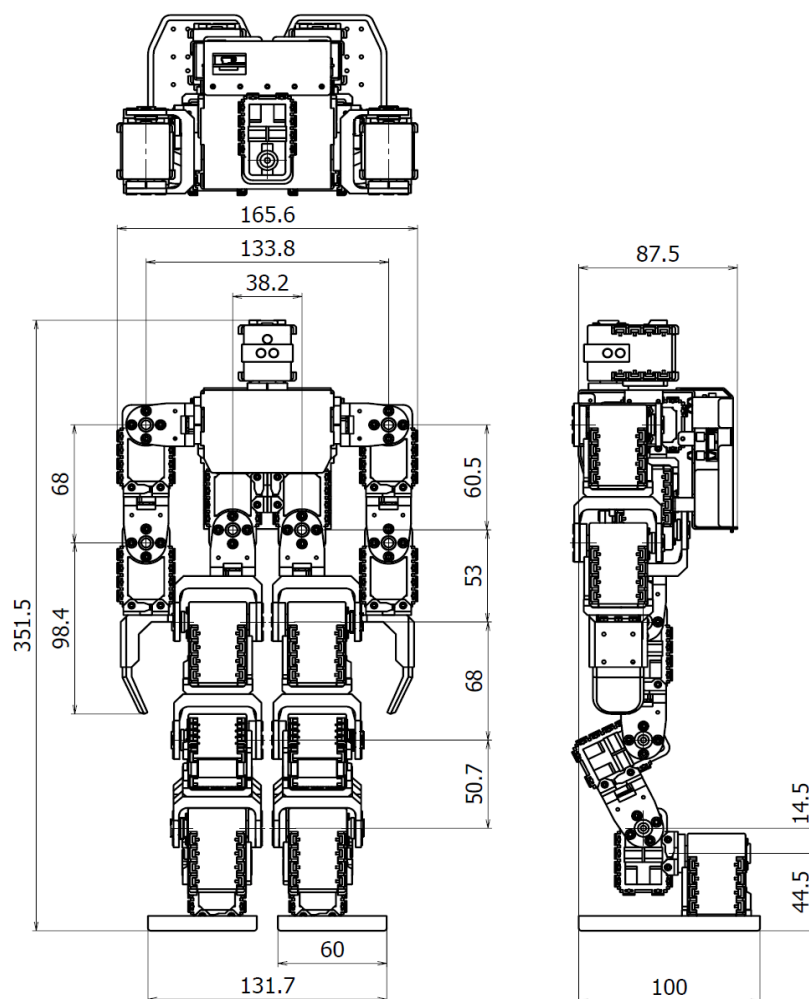
Na základě provedeného rozboru je navrženo řešení v podobě výběru dílů vhodných ke konstrukci.

4.1 Návrh a konstrukce hardware

4.1.1 Konstrukce robota

Jako základ pro konstrukci robota bude použita stavebnice Bioloid Comprehensive Kit, jež je pro začátek vývoje soutěžního robota výborná. Budou však potřeba úpravy a to hlavně v oblasti řízení a rozhodování kde standardně dodávaná řídicí jednotka CM-5 zaostává. Dále bude potřeba přidat kameru a mechanismus pro její natáčení.

Bioloid Comprehensive Kit obsahuje 18 servopohonů Dynamixel AX-12+, které jsou vzájemně propojeny třížilovou TTL sběrnici poskytující i napájení. Každé servo poskytuje moment až 16,5 kg/cm (1,65 Nm) má maximální rychlost 0,196 s/60° (8,6893 rad/s) a přes sběrnici je schopen odesílat například svou teplotu, polohu, rychlost a aktuální krouticí moment.



Obr. 7 Výkres robota[7], rozměry jsou udány v mm.

Vydeme-li ze základního designu robota, jsou servopohony rozloženy tak že na každou ruku připadají 3 a na nohu 6, viz obrázek. Z analýzy potřeb pohybu však vyplívá že na rukou jsou dvě serva zbytečná, jelikož ruce jsou používány pouze pro zvednutí po pádu a pro případné házení míčem v technické výzvě. Tyto pohony proto mohou být odstraněny a použity pro otáčení a naklápění kamery.

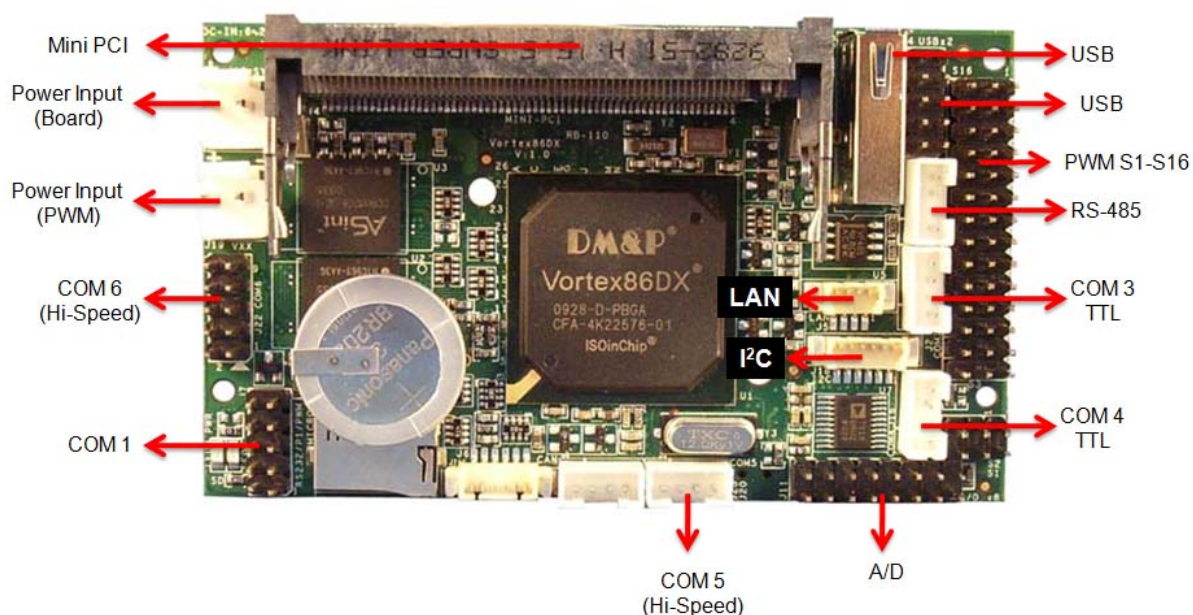
Výkon jednotlivých servopohonů je dostatečný pro bezproblémový pohyb avšak není příliš rychlý, a proto bude v budoucnu potřeba serva na nohou nahradit výkonnějšími, kovovými. Tento krok je zřejmý u prakticky všech týmů jenž soutěží delší dobu.

4.1.2 Řídící elektronika

Při výběru možné řídicí platformy byly brány v úvahu převážně budoucí nároky pro vývoj aplikace. V úvahu přicházely tři základní platformy: RISC, ARM a x86. Architektura RISC nenabídla žádnou vývojovou desku, u níž by bylo bezproblémové připojení kamery přes USB s ohledem na kompletnost dokumentace a přítomnost univerzálních ovladačů. Na platformě ARM existuje velmi zajímavé řešení v podobě Nvidia Tegra 2 (jádro ARM11). Tegra má minimální spotřebu (obvykle pod 1W), integrované nástroje pro zpracování HD videa a USB 2.0 s možností on-the-go. Avšak na trhu je poměrně malá nabídka vývojových kitů a z důvodů převážně properitálního použití není ani příliš kvalitní technická podpora a rozšířenost mezi nezávislými vývojáři. Proto byla vybrána platforma x86, která převážnou většinou těchto neduhů netrpí. Má však vyšší spotřebu a bývá podstatně rozměrnější, jelikož není primárně určena do mobilních zařízení. Z analýzy nabízených produktů vzešly dvě možnosti: nová platforma Intel Moorestown nebo specifický Roboard 100.

Intel Moorestown je naprosto nové zařízení, jenž sdružuje procesor Atom Z530 (1,6GHz), severní můstek a všechny podpůrné obvody na desku o rozměrech 60x60 mm. Toto řešení by mělo být k dispozici v polovině roku 2010. Nevýhodou nasazení této desky je však nutnost vytvořit druhou, která bude obsahovat napájecí obvody, výstupy jednotlivých portů, převodníky úrovní pro komunikaci a mnoho dalších nezbytných součástí. Do budoucnosti jde však o řešení s velkým potenciálem.

Volba tedy nakonec padla na základní desku Roboard RB-100[roboard]. Jak již název napovídá, zařízení je určeno pro použití v robotice a je pro to dostatečně vybaveno. Jádrem celého systému je procesor Vortex86DX taktovaný na 1000 MHz kterému sekunduje 256 MB DDR2 paměti. Tato deska je výjimečná hlavně svými komunikačními možnostmi. Mimo jiné obsahuje miniPCI port, tři USB 2.0, několik portů COM včetně vysokorychlostních, TTL a RS-485, jež umožní jednoduchou komunikaci se servopohony, 16 PWM výstupů, které jsou schopny ovládat analogové servopohony, 8mikanálový A/D převodník pro snadné připojení např. akcelerometru a mnoho dalších užitečných rozhraní. Pro operační systém a veškerý software je připraven slot na kartu SDHC s podporou až 32 GB. Veškeré napájecí obvody jsou již integrovány přímo na desce, tudíž odpadá potřeba tvorby desky s podpůrnými obvody. Na desce není integrována grafická karta, avšak výrobce dodává kartu do miniPCI slotu, ke které se dá připojit nejen monitor přes VGA rozhraní, ale i malý display přes LVDS.



Obr. 8 Základní deska Roboard RB-100 se zvýrazněnými porty[8].

Rozměry osazené desky jsou 96x56x28 mm což je prakticky maximální schůdný rozměr pro osazení do robota. Deska bude potřebovat vytvořit nové tělo, do něhož bude umístěna včetně všech přídatných senzorů, displaye a baterií.

4.1.3 Komunikace

Veškerá komunikace smí probíhat pouze po bezdrátové síti WLAN (Wi-Fi, na 2,4 GHz dle standardu IEEE 802.11b/g) poskytnuté pořadateli skrze protokol UDP. Hráči mohou mezi sebou volně komunikovat. Celková rychlost komunikace však nesmí přesáhnout 1MBaud/s. Novinkou zavedenou v roce 2009 je Referee Box, což je zařízení, jež vysílá herní příkazy (mapř. výkop, penalta atd.) přes UDP broadcast do všech naslouchajících robotů. Komunikace mezi roboty a počítači týmu mimo herní zónu je v herní době povolena pouze jednosměrně, to znamená že počítače smí pouze naslouchat.

Jako potřebný hardware pro WLAN komunikaci může být vybrán jakýkoliv USB-WiFi klíč, jelikož prakticky nezáleží na jeho vlastnostech. Požadavky na kompatibilitu se standardem IEEE 802.11b/g jsou naprostou samozřejmostí a pokrytí místní sítě je zaručeno pořadateli, díky tomu odpadá nutnost externí antény

4.1.4 Snímání obrazu

Ke snímání obrazu je potřeba kvalitní barevné kamery, která půjde co nejlépe připojit k řídicí jednotce. Z rozměrových a cenových důvodů byla vybrána kategorie tzv. webkamer. Jde o standardní příslušenství k osobnímu počítači, připojitelné přes USB. K dispozici jsou v běžném poměru stran 4:3 (PAL) nebo v širokoúhlém 16:9 (HD). Pokud vezmeme v úvahu výšku umístění kamery a rozměry hřiště, tak vychází efektivnější zpracovávat širokoúhlý obraz. Počítačové zpracovávání obrazu je jednou z hardwarově nejnáročnějších záležitostí a závisí převážně na zvoleném rozlišení, proto je potřeba vybrat kameru s možností manuální volbou rozlišení signálu avšak s dostatečnou rezervou pro budoucí zvyšování zpracovávaného

rozlišení. Dle zákaznických testů je jednou z nejkvalitnějších širokoúhlých HD webkamer Microsoft LifeCam HD-5000, jež poskytuje obraz o rozlišení 1280x720 obrazových bodů při 30-ti snímcích za sekundu. Výhodou této kamery je integrovaný mikrofón a hlavně kvalitní optika a snímací čip, který zajišťuje slušný snímání obraz i za zhoršených světelných podmínek.



Obr. 9 Webová kamera Microsoft LifeCam HD-5000[9].

4.1.5 Pomocné snímače

Pro lepší orientaci v prostoru, detekci pádu a náklonu, je vhodné snímat zrychlení a orientaci k magnetickému pólu Země. Ke snímání těchto veličin se používají tzv. MEMS snímače. Jedním z nejvhodnějších čipů pro toto použití je LSM303DLH od výrobce STmicroelectronics, jenž poskytuje tříosý akcelerometr s přepínatelným rozsahem 2 g nebo 8 g a tříosý magnetometr s rozsahem 1,3 gauss nebo 8,1 gauss. Hlavní výhodou je však integrovaná komunikace přes I2C, která zajistí bezproblémový přenos do řídicího počítače bez potřeby dalšího převodníku. V budoucnu bude možná potřeba rozšířit snímače o gyroskop měřící rotaci a tlakové snímače na nohou, zajišťující kontrolu přenášení váhy a tím i lepší chůzi.

4.1.6 Napájení

Napájení bude řešeno pomocí lithium-polymerových akumulátorů, protože představují nejlepší poměr mezi hmotností a akumulovanou energií. Jelikož se tento typ běžně nedodává v napětí 14V, jež je ideální pro napájení servopohonů, budou použity dvě baterie G2 RAY Li-Pol 1600 mAh/7,4 V 26C v provedení Air Pack zapojeny v sérii. Toto řešení zajistí ideální napětí 14,8V při velmi tvrdé charakteristice zdroje, která je dána právě provedením Air Pack. Označení 26C udává, že baterie je schopna vydávat špičkově až 41 A. Baterie jsou též vybaveny servisním systémem, jenž je schopen podávat informace u zátěži a stavu akumulátoru. Zapojení musí být vybaveno omezovací pojistkou k zabránění možného zkratu, při kterém by hrozilo poškození elektroniky i baterií. Jednou z výhod použití dvou oddělených akumulátorů je lepší možnost vyvážení robota.

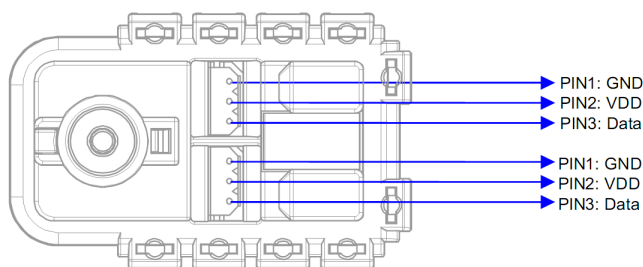
Takto navržené akumulátory by měly vydržet přibližně 45 minut provozu při plné zátěži. Rozměry každé baterie jsou 88x34x13,5 mm při hmotnosti 94 g včetně veškerých kabelů.

4.2 Převodník signálů

Protože došlo k výměně řídicí jednotky za desku Roboard která neumí nativně komunikovat se servopohony Dynamixel AX-12+, vzniká potřeba vytvořit převodník signálů, který bude zajišťovat tuto komunikaci.

4.2.1 Zapojení servopohonů

Jednotlivé servopohony jsou propojeny mezi sebou a řídicí jednotkou třížilovou sběrnicí, jež zajišťuje jak komunikaci tak i napájení. Hlavní výhodou této sběrnice je, že používá stromovou architekturu a lze ji tedy libovolně větvit. Použitá sběrnice je upravenou verzí RS-485 (half duplex UART), přičemž nevyužívá dvou diferenciálně zapojených vodičů ale pouze jednoho, na němž probíhá obousměrná komunikace. Dále je používáno napětí běžné pro TTL logiku a to 2-5 V proti vodiči GND je interpretováno jako logická 1 a 0-0,2 V jako logická 0. Sběrnice dále obsahuje již zmiňovaný vodič GND, jenž reprezentuje lokální nulový potenciál a vodič VDD (VCC), jenž je určen k napájení.



Obr. 10 Zapojení vývodů sběrnice na servopohonu AX-12+[10].

4.2.2 Rozbor protokolu

Protokol je založen na paketové komunikaci, přičemž řídicí jednotka odesílá instrukční paket a servopohon na něj odpovídá stavovým paketem. Rychlost komunikace je nastavitelná v rozsahu 7343 bps ~ 1 Mbps, pro připojení většího počtu jednotek je doporučována maximální rychlost 1 Mbps. Každé připojené zařízení má svoje unikátní ID v rozsahu 0x00 až 0xFD které zaručuje jednoznačnou identifikaci příjemce. Identifikátor 0xFE označuje Broadcast, což znamená že informace je určena všem účastníkům.

Schéma odesílaného paketu:

0xFF	0xFF	ID	DÉLKA	INSTRUKCE	PARAMETR 1	PARAMETR N	KONTROLNÍ SOUČET
------	------	----	-------	-----------	------------	------------	------------------

0xFF 0xFF – Označení začátku příchozího paketu, využíváno pro synchronizaci

ID – Identifikátor adresáta

Délka – Počet následujících bajtů, odpovídá počtu parametrů + 2

Instrukce – Požadovaný příkaz k vykonání

Parametr0...N – Dodatečné informace k instrukci (úhel pootočení, rychlost atd.)

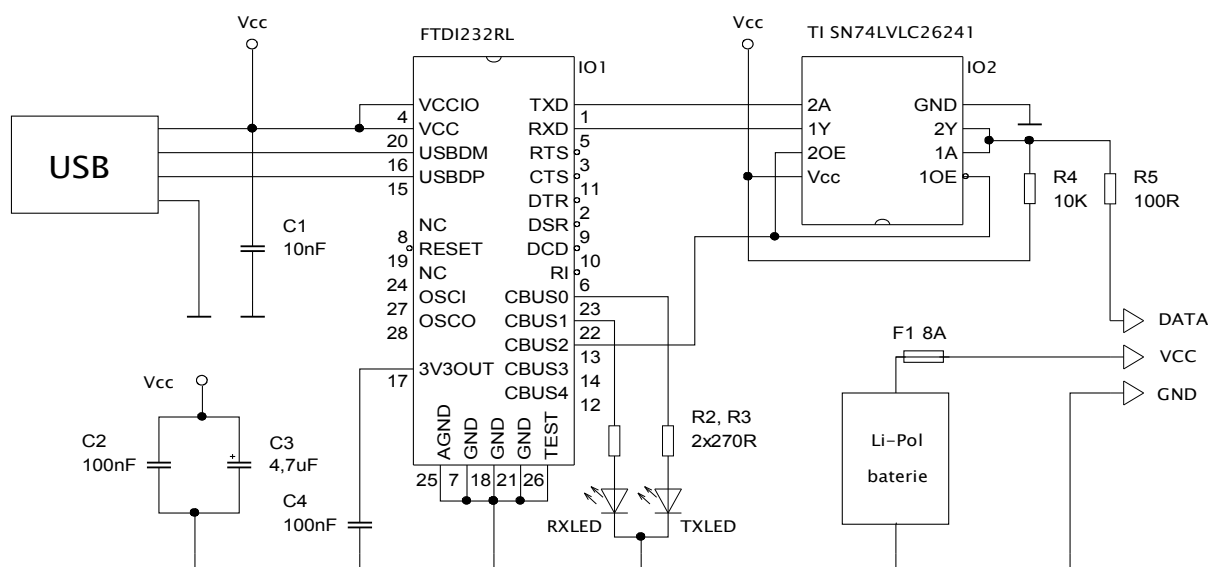
Kontrolní součet – Číslo užívané pro kontrolu zda informace nebyla porušena

Stavový paket je prakticky shodný, pouze místo **Instrukce** odesílá položku **Chyba**.

4.2.3 Výběr použitých součástek

Mimo diskrétních součástek budou potřeba dva integrované obvody a to jeden pro převod signálu z USB na vysokorychlostní UART a druhý na sloučení/rozdělení signálu na vstupní a výstupní. Jako ideální obvod pro komunikaci USB-UART je FT232RL od firmy FTDI. Obsahuje totiž nejenom vysokorychlostní UART, ale i programovatelné výstupy, přičemž na jednom z nich je možno povolit signál TXDEN používaný pro hardwarové řízení toku u RS-485. Pro převod signálu na společnou linku byl použit obvod SN74LVC26241 výrobce Texas Instruments, jenž obsahuje přímo požadovaný driver. Jeho jedinou nevýhodou jsou miniaturní rozměry (přibližně 3x3mm), které podstatnou měrou ztěžují pájení.

4.2.4 Rozbor zapojení



Obr. 11 Schéma zapojení převodníku.

Port USB poskytuje zdroj napětí 5 V při maximálním dovoleném odběru 500 mA, což je pro napájení převodníku naprosto dostačující. Napájení je stabilizováno a filtrováno kondenzátory C1, C2 a C3. Datový signál z USB je přiváděn vodiči DATA+ a DATA- do převodníku IO1, jenž jej zpracovává na komunikační signály RXD, TXD a TXDEN (CBUS2). Tyto signály jsou pomocí logických členů v IO2 konvertovány na jedinou linku. Signál TXDEN určuje, zda bude převodník v režimu naslouchání (DATA jsou propojena s RXD) nebo zda bude vysílat (TXD je připojeno na DATA). Silové napájení pro servopohony je z důvodu ochrany portu USB provedeno odděleně. Pro kontrolu komunikace po lince jsou vyvedeny dvě LED, které signalizují příjem a vysílání dat.

4.2.5 Vlastnosti převodníku

Takto sestavený převodník je plně kompatibilní s zařízením USB2Dynamixel, jež je ovšem nevyhovující svými rozměry. Při použití Dynamixel API bylo při vysílání a přijímání řídicích paketů dosaženo chybovosti menší než 0,3%, což je tolerovatelná hodnota. Reálná obnovovací frekvence dosažená při připojení 20 servopohonů byla vyšší než 30x za sekundu.

5 APLIKACE VYTVOŘENÉHO ŘEŠENÍ

Pro otestování funkčnosti převodníku signálu a ověření jednotlivých způsobů přístupu k API Dynamixel byly aplikovány tři jednoduché úlohy demonstrující ovládání přes Matlab, LabVIEW a Motion editor. Ukázkový kód pro jazyk C nebyl zařazen, jelikož jde pouze o odesílání hotových paketů na virtuální port. K následujícím demonstracím bylo použito API USB2Dynamixel[11] a modelových úloh.

5.1 Matlab: Lehnutí a zvednutí se

Použití komunikace v rámci Matlab je velmi jednoduché a velmi se podobá programovacímu jazyku C. Nejdříve je zavolána knihovna příkazem

```
loadlibrary('dynamixel','dynamixel.h');
```

čímž se připojí pod názvem dynamixel. Jednotlivé příkazy se poté odesílají

```
calllib('dynamixel','dxl_write_word',id,prikaz,hodnota);
```

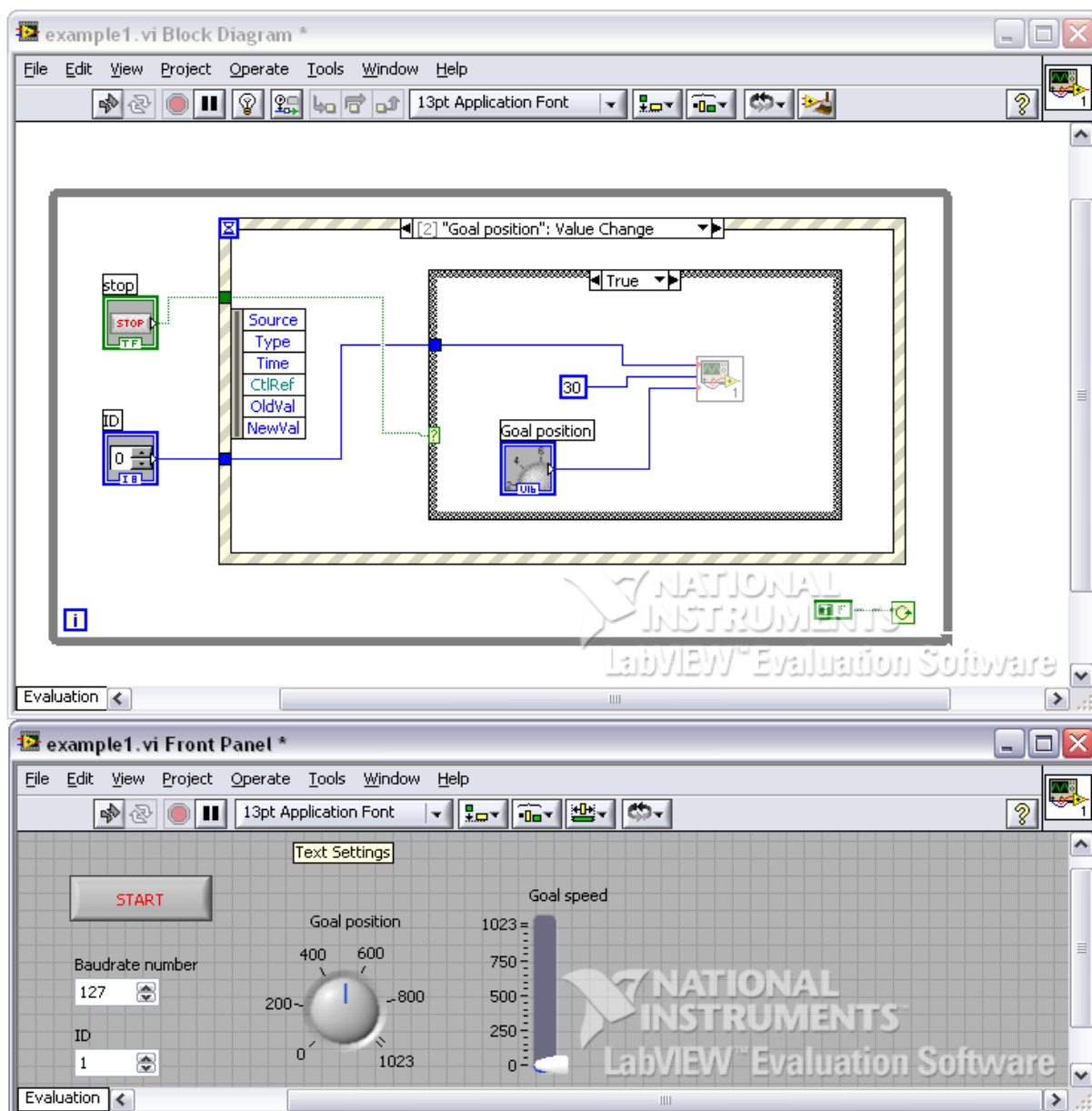
Stavové pakety je možno přijmat příkazem

```
odpoved=int32(calllib('dynamixel','dxl_read_word',id,pozadavek));
```

který vyzvedne vždy poslední paket z bufferu a extrahuje z něj žádanou hodnotu. Není tedy problém například odečítat hodnoty natočení jednotlivých pohonů a vykreslovat je do grafu, případně pomocí VRML vizualizovat do trojrozměrného obrazu. Pomocí sekvence jednoduchých příkazů byl naprogramován algoritmus umožňující ležícímu robotovi vstát a opět si lehnout.

5.2 LabVIEW: Polohové řízení servopohonu

Použití API v prostředí NI LabView je poměrně jednoduché, modul symbolizující převodník má vstupy odpovídající všem potřebným příkazům a hodnotám. Pro odeslání daného příkazu pak stačí přivést patřičný signál na vstup a ten je automaticky odeslán. Stavový paket je pak opět dekodován v rámci api a z modulu vystupují již samostatné signály symbolizující jednotlivé informace. API automaticky odesílá paket po každé změně proměnných, což lze ovlivnit nastavením ručního odesílání. Místy se stává že je jeden paket odesílán vícenásobně. Tato chyba by měla být odstraněna v další verzi API.

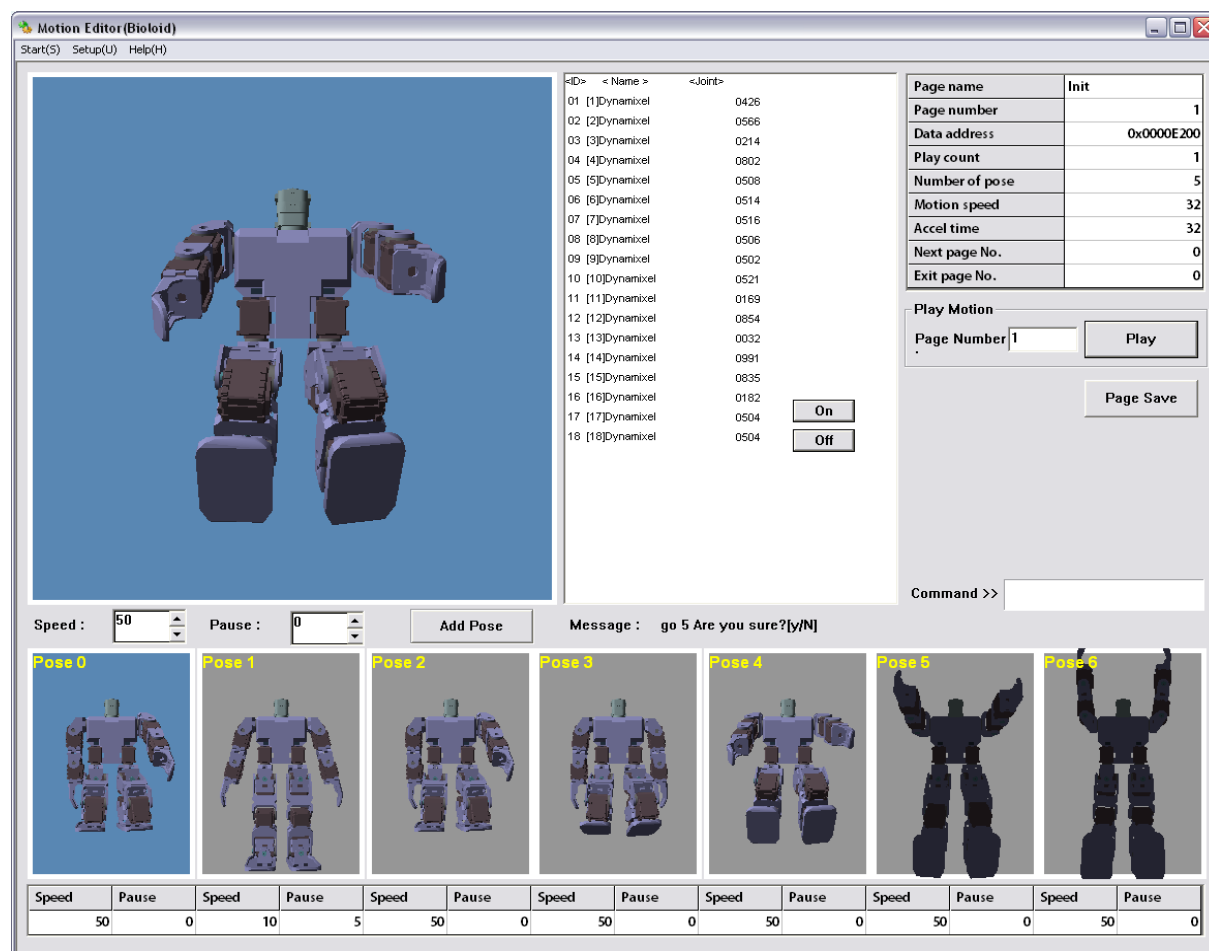


Obr. 12 Ovládání servopohonu v prostředí NI LabVIEW

5.3 Motion editor: Chůze a otáčení

Uživatelsky nejpříjemnější aplikace pro programování pohybů je bezesporu Motion editor. Jde o specifický editor přímo od firmy Robotis, který umožňuje poměrně intuitivní tvorbu jednotlivých póz a jejich spojení do plynulého pohybu. Tvorba póz je možná buď manuálním zadáváním úhlů natočení a nebo přímým pohybem s robotem, který sám snímá natočení jednotlivých servomotorů a přenáší je do počítače. Tam jsou pak data vizualizována na 3D modelu. Tento způsob je podstatně rychlejší a efektivnější než jakýkoliv jiný, avšak má jednu nevýhodu kterou je opotřebovávání převodovek pohonů jejich manuálním otáčením. Program Motion editor zatím nepodporuje připojení na sběrnici přímo přes převodník, ale vyžaduje připojení přes řídicí jednotku CM-5 nebo novější.

Naprogramování chůze vpřed, vzad a do stran není u tohoto programu příliš složitou procedurou, avšak otáčení vyžaduje již více trpělivosti a přesnosti, jinak robot ztrácí rovnováhu.



Obr. 13 Ovládání servopohonu v prostředí Motion Editor

6 ZÁVĚR

Práce se zabývá komplexním návrhem humanoidního robota schopného soutěžit v RoboCup Soccer Humanoid League. Nejprve je provedena analýza pravidel, z níž vycházejí základní požadavky na robota. Nejvýznamnějším a nejnáročnějším požadavkem je plná autonomnost robota, z čehož vyplývá že musí být schopen se sám rozhodovat, orientovat a pohybovat. Jsou dovoleny pouze snímače adekvátní k lidským smyslům. Z těchto požadavků vyplývá nutnost snímání a zpracování obrazu, což je záležitost náročná na výpočetní výkon a hardware.

Pro lepší přehled o současných trendech je provedena analýza konkurenčních týmů, která ukazuje nejenom nejpoužívanější technologie, ale i zajímavé invence, které mají potenciál v dalším vývoji. Příkladem takovéto technologie je všesměrová kamera OmniVision, která bývá používána spíše pro roboty v kategorii MiddleSize.

Jako nejvhodnější pro účel soutěžního robota je vybrána kompaktní základní deska Roboard-100 s procesorem x86 specializovaná na použití v robotice. Využití standardní platformy umožňuje použít běžnou webkameru připojenou přes USB. Vybraná kamera Microsoft LifeCam HD-5000 má nejenom HD rozlišení, ale i poměrně slušnou optiku, která při kvalitním osvětlení zajistí stabilní a ostrý obraz. Aby byl zvýšen zorný úhel kamery, je umístěna na dvou servopohonech zajišťujících vertikální i horizontální natáčení. Nejsou však využity běžné modelářské servopohony ale systémové AX-12+, které poskytují benefit v bezproblémového napojení na sběrnici a možnost snímání natočení, jenž je důležité pro exaktní určení polohy analýzou obrazu. Pro lepší orientaci je vybrán snímač na měření inerciálních veličin. K napájení celé soustavy je zvolena dvojice kvalitních modelářských Li-Pol akumulátorů poskytujících stabilní napětí i při vysokém proudovém zatížení. Výhodou použití dvou oddělených akumulátorů je lepší možnost vyvážení.

Komunikace mezi servopohony a řídicí jednotkou probíhá po jednožilové sběrnici se specifickým paketovým protokolem, a proto bylo potřeba navrhnout převodník vhodný pro univerzální použití. Nejvhodnějším základem byl čip FT232RL který podporuje hardwarové řízení toku poloduplexních linek. Převodník byl navržen, sestaven a otestován na kontrolní smyčce, která prokázala jeho spolehlivost a vhodnost k reálnému použití.

Nakonec byly demonstrovány možnosti ovládání přes programy Matlab, LabVIEW a Motion Editor. Nejvhodnějším programem pro vytváření a odladování pohybů je Motion Editor. Pro globální řízení a rozhodování je však mnohem vhodnější Matlab. Jakmile bude program odladěn, bude z důvodu co nejefektivnějšího využití výkonu vhodné jej přepsat do programovacího jazyka (například C++) a zkompilovat přímo pro danou platformu.

Poslední bod ze zadání – konstrukce a oživení - nebyl realizován z důvodu zjištění, že výpočetní výkon potřebný pro efektivní ladění a experimentální programování je mnohonásobně vyšší, než jaký poskytuje zvolená řídicí jednotka. Proto bude jednodušší celý systém programovat na výkonném stolním počítači a až finální, odladěný software testovat přímo v řídicí jednotce. Tímto bude dosaženo vyšší efektivity a pohodlí při vývoji.

Potenciál pro budoucí vývoj vidím hlavně v tvorbě algoritmů pro analýzu obrazu a pro dynamické řízení pohybu robota. Další kroky jako týmová kooperace a strategie řízení jsou závislé na precizním zvládnutí těchto úkonů.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **Development of a simulation environment of an entertainment humanoid robot, Pedro Daniel Dinis Teodoro, 2007, Universidade Técnica de Lisboa**
Dostupný z WWW:
<http://humanoids.dem.ist.utl.pt/>
- [2] **Robo pets, Witness This, 2008**
Dostupný z WWW:
<http://witnessthis.wordpress.com/2008/09/05/robo-pets/>
- [3] **NAO, Le Messie De La Robotique, ROBOT Impact, 2007**
Dostupný z WWW:
<http://www.robotimpact.com/dossiers/rencontre/49-nao-le-messie-de-la-robotique-partie-1>
- [4] **RoboCup SoccerHumanoid LeagueRules and Setup, Draft of March 2nd, 2010, RoboCup Committee**
Dostupný z WWW:
http://www.tzi.de/humanoid/pub/Website/Downloads/HumanoidLeagueRules2010_as_of_2010-03-02.pdf
- [5] **Qualified teams for HumanoidLeague 2010,RoboCup Committee**
Dostupný z WWW:
<http://www.tzi.de/humanoid/bin/view/Website/Teams2010>
- [6] **VS-C450N-TK, 2010, Vstone co.**
Dostupný z WWW:
http://www.vstone.co.jp/robotshop/index.php?main_page=product_info&cPath=1_2&products_id=24
- [7] **Freedom JR robot kit using BIOLOID bits, 2009, Robosavvy**
Dostupný z WWW:
<http://robosavvy.com/forum/viewtopic.php?p=22311>
- [8] **RoBoard RB-100, 2010, DMP Electronics Inc.**
Dostupný z WWW:
<http://www.roboard.com/RB-100.htm>
- [9] **Microsoft LifeCam HD-5000, 2010, Microsoft Corp.**
Dostupný z WWW:
<http://www.microsoft.com/hardware/digitalcommunication/ProductDetails.aspx?pid=019>
- [10] **Robotis AX-12+ datasheet, 2006, Robotis Inc.**
Dostupný z WWW:
http://www.robotis.com/zbxe/?mid=software_en&category=7471&page=2&document_srl=5419
- [11] **Dynamixel SDK for PC v1.03, 2009, Robotis Inc.**
Dostupný z WWW:
http://www.robotis.com/zbxe/?mid=software_en&category=7473&page=1&document_srl=34578