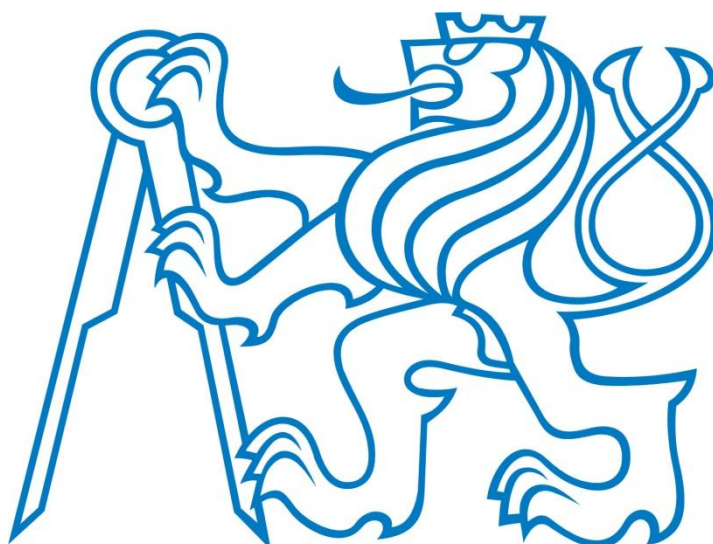


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky



Bakalárska práca

Využitie robota Lego Mindstorms - návrh a realizácia špeciálnych úloh

Usage of the Lego Mindstorms Robot – Design and realization of the special tasks

Študent: Bibko Daniel

Vedúci: Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.

Praha, 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Daniel Bibko**

Studijní program: Kybernetika a robotika
Obor: Systémy a řízení

Název tématu: **Využití robota Lego Mindstorms - návrh a realizace speciálních úloh**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s možnostmi robota Lego Mindstorms NXT a EV3 (současný stav, HW a SW vybavení).
2. Provedte a realizujte návrh dvou speciálních úloh v libovolném programovacím prostředí pro předmět B3B35RO Roboti:
"Autodráha" - úkolem robota je sledovat černou čáru s možným křížením a překážkami na speciálním modelu autodráhy.
"Hledání, sbírání a přesun míčků" - úkolem robota je na dráze najít jámu, vyzvednout z ní postupně míčky a v co nejkratší době je přesunout na určenou pozici.
3. Vytvořte webové stránky k realizovaným úlohám (popis úloh, návrh regulátoru nebo principu činnosti, vysvětlení navrženého softwaru, fotogalerii a popřípadě návod na stavbu jednotlivých modelů).

Seznam odborné literatury:

- [1] James Floyd Kelly - LEGO MINDSTORMS NXT-G programming Guide, Second Edition
- [2] Daniele Benedettelli - Programming LEGO NXT Robots using NXC

Vedoucí: Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2016/2017

Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 1. 2. 2016

Čestné prehlásenie:

Čestne vyhlasujem, že bakalársku prácu s názvom: "Využitie robota Lego Mindstorms - návrh a realizácia špeciálnych úloh" som vypracoval samostatne, na základe konzultácií a štúdia odbornej literatúry. Neporušil som autorský zákon a zoznam použitej literatúry som uviedol na príslušnom mieste.

V Prahe 25.5.2016

.....

podpis

Pod'akovanie

Chcem by som poďakovať všetkým, ktorí mi akýmkoľvek spôsobom pomohli pri spracovaní tejto bakalárskej práce. Moje osobité poďakovanie patrí najmä vedúcemu práce Ing. Hlinovskému Martinovi Ph.D., za vedenie, skvelú spoluprácu a konštruktívne pripomienky.

Abstrakt

Táto práca popisuje stavebnicu Lego Mindstorms EV3 a NXT. V teoretickej časti bakalárskej práce je spracovaná história a vývoj programovateľnej kocky EV3 a NXT. Nasleduje popis jednotlivých mechanických komponentov sústavy Lego Mindstorms a to senzorov, ktoré sú v klasickej balení a elektromotorov. V závere teoretickej časti je stručný popis programovateľných možností. V praktickej časti je návrh dvoch špeciálnych úloh, ktoré budú využité pre výučbové účely. Je tu konkrétny popis jednotlivých úloh s presnými pravidlami a kompletným návrhom riešenia.

Kľúčové slová: Lego Mindstorms NXT, Lego Mindstorms EV3, robot

Abstract

This bachelor thesis is about robotics kit Lego Mindstorms NXT and EV3. In the theoretical part of bachelor thesis we look to history and development of programmable brick EV3 and NXT. Then there is a description of the mechanical components of Mindstorms kit, specifically sensors, which are parts of kit and electro motors. In the end of the theoretical part there is a brief description of programmable options. Practical part is about design two special tasks, that will be used for the teaching purposes. There is specific description of each task with detailed rules and complete design solutions.

Key words: Lego Mindstorms NXT, Lego Mindstorms EV3, robot

Obsah

1. Úvod.....	10
1.1. Úvod do bakalárskej práce.....	10
1.2. Cieľ práce.....	10
1.3. Obsah práce.....	10
I. TEORETICKÁ ČASŤ.....	11
2. Zoznámenie sa s Lego Mindstorms.....	12
2.1. Úvod do druhej časti.....	12
2.2. História Lego Mindstorms.....	12
2.3. Využitie robota pre študijné účely.....	13
3. Lego Mindstorms NXT.....	14
3.1. Úvod do tretej časti.....	14
3.2. Riadiaca jednotka NXT.....	14
3.3. Senzory NXT.....	16
3.1. Elektromotory NXT.....	19
4. Lego Mindstorms EV3.....	20
4.1. Úvod do štvrtej časti.....	20
4.2. Inteligentná kocka EV3.....	20
4.3. Senzory EV3.....	21
4.4. Elektromotory EV3.....	25
5. Programovateľné možnosti.....	26
5.1. Úvod do piatej časti.....	26
5.2. Programovacie možnosti pre NXT.....	26
5.3. Programovanie EV3.....	27
5.4. Aplikácie EV3 pre Android/iOS.....	29
II. PRAKTICKÁ ČASŤ.....	30
6. Návrh a realizácia prvej súťažnej úlohy.....	31
6.1. Zadanie súťažnej úlohy.....	31
6.2. Pravidlá.....	31
6.2.1. Stavba robota.....	31
6.2.2. Programovanie robota.....	31
6.2.3. Súťažná dráha.....	31
6.2.4. Pravidlá prejazdu autodráhy.....	32
6.3. Konštrukčné riešenie úlohy.....	33
6.4. Software-ové riešenie úlohy.....	34
6.5. Záver k súťažnej úlohe.....	37
7. Návrh a realizácia druhej súťažnej úlohy.....	38
7.1. Zadanie súťažnej úlohy.....	38
7.2. Pravidlá.....	38

7.2.1. Stavba robota.....	38
7.2.2. Programovanie robota.....	38
7.2.3. Súťažná dráha.....	38
7.2.4. Priebeh súťaže a bodovanie.....	39
7.3. Konštrukčné riešenie úlohy.....	40
7.4. Software-ové riešenie úlohy.....	42
7.5. Možné rozšírenia úlohy	46
7.6. Záver k súťažnej úlohe.....	46
8. Webové stránky k realizovaným úlohám.....	47
9. Záver.....	47
Zoznam použitej literatúry.....	49
Zoznam obrázkov.....	51
Zoznam príloh.....	52

1. Úvod

1.1. Úvod do bakalárskej práce

Robotika je veda o robotoch, ich dizajnu, výrobe a aplikácií. Robot môže buď to pomáhať alebo rovno robiť ľudskú prácu. Robotika takto úzko súvisí s elektronikou, mechanikou, softwarovým inžinierstvom a mnoho ďalšími odvetviami. Dnes si už len ťažko dokážeme predstaviť obory ľudskej činnosti, kde by sa roboty nemohli uplatniť.

Túto tému bakalárskej práce som si vybral pretože si myslím, že učenie hrou je jedno z najefektívnejších. Stavebnicu Lego Mindstorms považujem za skvelú voľbu ako sa hravou formou zoznámiť so základnými myšlienkami niekoľkých oborov. Takisto verím, že sa mi podarí prispieť ku skvalitneniu výučby na Českom vysokom učení technickom v Prahe.

1.2. Cieľ práce

Cieľom bakalárskej práce, je oboznámiť publikum s možnosťami sady Lego Mindstorms EV3 a Lego Mindstorms NXT. Popísať jednotlivé elektromechanické súčasti balení a ukázať programovateľné možnosti. Ďalším z cieľom je predstaviť dve súťažné úlohy, ktoré budú aplikované v predmete Robotika na Českom vysokom učení technickom v Prahe.

1.3. Obsah práce

Bakalársku prácu mám rozdelenú do dvoch základných blokov. Prvým blokom je časť teoretická, kde postupne rozoberám históriu a vývoj stavebnice Lego Mindstorms. Následne sa snažím stručne popísať elektromechanický obsah balenia sady NXT a následne EV3. Popisujem jednotlivé senzory, ich mechanické vyhotovenie a softwarovú prácu s nimi. Takisto sa zaoberám jednotlivými elektromotormi, ktoré sa využívajú pre pohyb a otáčanie. V poslednej etape danej kapitoly predstavujem jedny z programovateľných možností, pre programovateľné inteligentné kocky.

V praktickej časti, ktorá je druhou v bakalárskej práci, sa zaoberám popisom dvoch súťažných úloh, ktoré budú použité pri výučbe na Českom vysokom učení technickom v Prahe. Podrobne popisujem pravidlá jednotlivých úloh a ponúkam možnosť mechanického a softwarového zostrojenia robota, ktorý bude spĺňať pravidlá súťažnej úlohy.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

2. Zoznámenie sa s Lego Mindstorms

2.1. Úvod do druhej časti

Lego Mindstorms je rada programovateľných robotických stavebníc vyrábaných firmou Lego.

Mindstorms sústava z pravidla obsahuje programovateľnú kocku, ktorá po naprogramovaní dokáže pracovať s priloženými senzormi a elektromotormi. V stavebnici od Lega sa takisto nachádzajú klasické kocky a diely z rady Lego Technic. Vďaka tomu dokážeme vytvoriť prispôsobiteľných programovacích robotov.

2.2. História Lega Mindstorms

Od svojho uvedenia na trh v roku 1998, sa stala stavebnica od Lega s programovateľnou kockou, najpredávanejším produktom v histórii Lego Group[1]. Mindstorms kolekcia zožina celosvetové uznanie za prepracovanosť jednotlivých súčiastok, čo vedie k rozvoju globálnej komunity užívateľov a študentov všetkých vekových kategórií.

Prvý pracovný prototyp bol postavený Media Lab-om už v roku 1987. Pre dizajnérov bolo veľkou výzvou zostrojiť kocku, ktorá bude jednoduchá, ľahká a bude mať tvary a možnosti lega sústavy. To všetko sa podarilo a o dekádu neskôr si lego nechalo potvrdiť ochrannú známku Mindstorms. Názov prebrali z knižného diela "Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas" (Mindstorms: Deti, počítače a silné myšlienky) od Seymoura Paperta. V Januári roku 1998 bola Mindstorms oficiálne predstavená publiku na Kráľovskej univerzite umenia v Londýne[1]. V septembri bol spustený predaj a už v decembri toho istého roku mala firma úspešne vypredané.

V histórii výroby boli tri hlavné generácie Lega Mindstorms. Prvou z nich bola "Robotic Innovation System (RIS)". A ako som už spomínal, predstavená svetu bola v roku 1998. Programovateľná kocka v prvej generácii mala označenie RCX (Robotic Command eXplorers). RCX obsahovala 16MHz procesor s 34K RAM. Užívateľ mohol využiť jedno z dvoch možností na programovanie. K dispozícii bolo RCX Code, ktorý sa dodával v spotrebiteľskej verzii predávanej v obchode. Alebo tu bola možnosť využiť ROBO LAB založený na LabView, ktorý bol vyvinutý na univerzite v Tufts. RCX bola naprogramovaná nahratím napísaného kódu do RAM pamäte špeciálnym infračerveným (IR) rozhraním. Zabudovaný LCD displej zobrazoval okrem iného stav batérie, stav vstupno/výstupných portov alebo ktorý program práve bežal. Predávané balenie obsahovalo taktiež dva elektromotory, dva dotykové senzory a jeden senzor svetelný. [2]



Obr. 2.1 Programovateľná kocka prvej generácie RCX [3]

Ďalšou generáciou bola verzia NXT. Tá bola uvedená na trh júli roku 2006. Celá stavebnica obsahovala 577 dielov zahrnujúc 3 servomotory, jeden svetelný, zvukový, dotykový senzor a senzor vzdialenosti.

LEGO Mindstorms EV3 je treťou a zatiaľ poslednou generáciou, ktorá bola predstavená v septembri roku 2013. Okrem iného pribudol k programovateľnej kocke aj vzdialený infračervený ovládač. EV3 môže byť taktiež ovládaná cez mobilné zariadenia.

2.3. Využitie robota pre študijné účely

Stavebnica sa samozrejme používa aj ako vzdelávací nástroj, pôvodne aj vďaka partnerstvu medzi LEGO a MIT (Massachusetts Institute of Technology). Je očividné, že LEGO Mindstorms je jedným z cenných nástrojov pre podporu výučby. Významnou mierou sa dá využiť k účinnému vzdelávaniu mladej generácie už od skorého veku a to v odvetví elektrotechnickom, mechanickom, softwarovom atď. Stavebnica Mindstorms predstavuje ukážku najnovšej robotickéhoj techniky. Kombinuje inteligentnú kocku s mikropočítačovým mozgom, dômyselné senzory a základný programový software.

Vďaka riadeniu a senzorum, cez ktoré vníma postavený robot okolie prídu študenti do styku s pojmami ako je spracovanie signálu, neistota merania, spätná väzba, ktoré sú základom pri riadiacich procesoch.

Programovanie kocky je neodbytnou súčasťou, študenti si tak majú možnosť osvojiť algoritmičné a analytické myslenie. Zoznámia sa so základmi objektovo orientovaného programovania alebo procedurálneho programovania. Najväčšou výhodou ale je, že napísané programy si študenti rovno môžu overiť v praxi s hmatateľnými výsledkami.

V neposlednom rade si študenti zlepšia prácu v tíme. Kooperácia jednotlivcov pri stavaní finálneho robota, ktorý sa následne postaví súperovi zvyšuje komunikáciu medzi jednotlivcami ale aj podporuje zdravú súťaživosť.

3. Lego Mindstorms NXT

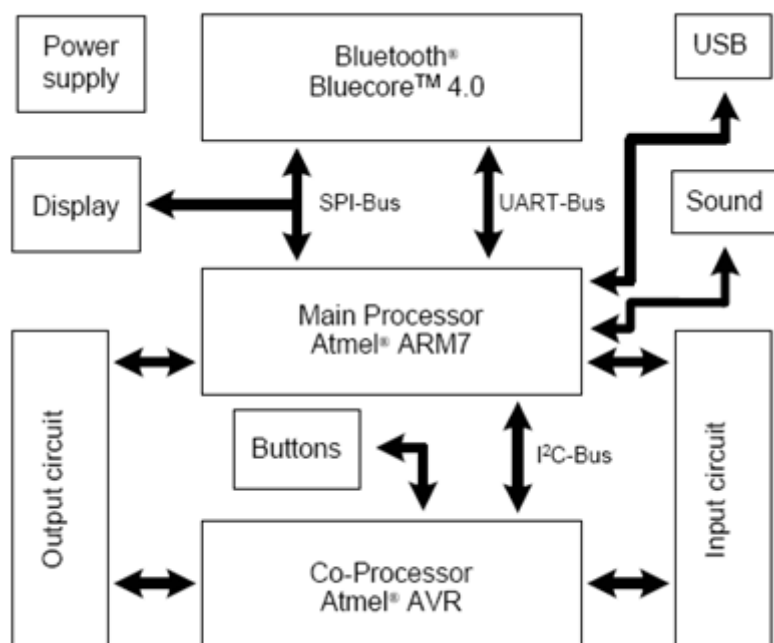
3.1. Úvod do tretej časti

Lego Mindstorms verzia 2.0 je na trhu možné zakúpiť vo dvoch variantách. Jednotlivé varianty majú o niečo iné zloženie v moduloch a počte a podobe technických dielov. Verzia pod označením 9797, je určená najmä pre školské využitie a verzia 8547 sa predáva pre použitie na doma. Jednotlivé stavebnice je taktiež možno rozšíriť o sadu technických dielov zo starších verzií, ktoré nám následne umožnia stavbu rozsiahlejších modelov. Dá sa takisto dokúpiť množstvo ďalších prídavných modulov alebo senzorov a to nie len od originálneho výrobcu ale mnoho externých dodávateľov.

3.2. Riadiaca jednotka NXT

Hlavným aktívnym prvkom stavebnice je riadiaca jednotka. Kvôli obdĺžnikovému tvaru býva v literatúre často označovaná ako programovateľná kocka. V riadiacej jednotke sa nachádza niekoľko univerzálnych avšak aj špeciálnych modulov, ktoré medzi sebou komunikujú pomocou systému niekoľkých zberníc. Jednu z najdôležitejších činností zohráva 32-bitový procesor Atmel ARM7, bežiaci na 48MHz. K nemu je pridaný koprocesor Atmel AVR ATmega48. Hlavný procesor je vybavený FLASH pamäťou o veľkosti 256 kB a pamäťou RAM o veľkosti 64 kB. K procesoru je pripojené rozhranie USB 2.0 (12 Mbit/s), ktoré nám slúži ku komunikácii s PC. Existuje ešte jedna bezdrôtová komunikačná cesta a tou je Bluetooth (460 Kbit/s) rozhranie. Toto rozhranie taktiež umožňuje komunikáciu viacerých kociek medzi sebou. Na obrázku 3.1 je zobrazené blokové schéma riadiacej jednotky NXT.

Každá kocka už pri zakúpení obsahuje špeciálny vnútorný software, tzv. firmware. Ten má za úlohu kocku riadiť aj bez nášho vlastného spusteného programu.



Obr. 3.1 Vnútorné prepojenie blokov v riadiacej jednotke NXT [5]

Užívateľské rozhranie, umiestnené na čelnom paneli tvorí štvorica tlačidiel a monochromatický bodový čiernobiely LCD displej s rozlíšením 100×64 pixelov. Na vrchnej časti kocky nájdeme 3 výstupné porty označené písmenami A, B, C, ktoré slúžia k ovládaniu servomotorov. Nachádza sa tam taktiež port vysokorychlostnej zbernice USB 2.0. Na strane spodnej máme k dispozícii 4 vstupné porty, ku ktorým pripájame jednotlivé senzory. Senzory môžu byť buď to analógové alebo digitálne. V prípade analógového senzoru je za vstupom 10-bitový A/D prevodník.



Obr. 3.2 Programovateľná jednotka NXT [4]

Programovacia kocka je takisto vybavená reproduktorom, ktorý dokáže prehrávať zvukové súbory pri vzorkovacej frekvencii 8 kHz. Napájanie je riešené pomocou 6×AA (1,5 V) batérii. Vo verzii pre študijné účely sa nachádza Li-on batéria a nabíjačka.

3.3. Sensory NXT

Dotykový senzor

Aj napriek tomu, že niektorá literatúra uvádza názov senzoru ako tlakový, ten nám neumožňuje zisťovanie jednotlivých úrovni tlakov. Tento modul funguje ako klasické binárne tlačidlo vracajúce logickú hodnotu True/False (pravda/nepravda). Dotykovému senzoru môžeme priradiť 3 rôzne akcie:

- Pressed (stlačený) - logická hodnota 1
- Released (uvoľnený) - logická hodnota 0
- Bumped (stlačený a následne uvoľnený)

Ku zmene stavu je potrebné stlačiť senzor o 2 mm. Tlačidlo je štandardne vybavené Lego krížom, ktorý umožňuje pripojenie ďalších mechanických súčiastok a tak predĺžiť alebo zväčšiť dotykovú plochu. Dotykový modul má radu využitia. Môže slúžiť ako senzor pre náraz do prekážky, zisťovať prítomnosť objektu alebo sa môže použiť na ovládanie či spustenie nahratého programu. [6]



Obr. 3.3 Dotykový senzor pre NXT [7]

Svetelný senzor

Tento senzor patrí do dvojice štandardných modulov, ktoré robotovi umožňujú vidieť. Tento modul rozlišuje úroveň okolitého osvetlenia a vďaka tomu rozlíšiť tmu od svetla. Vďaka presvetľujúcej LED dokáže merať intenzitu odrazeného svetla. To umožňuje rozoznať skupiny farieb jednotlivých povrchov. Na obrázku č 3.4 je ukázané aké odtiene sivej priradzuje robot trom základným farbám.



Obr. 3.4 Odtieň šedi pre RGB u svetelného senzoru [6]

Intenzita svetelného žiarenia i farebných odtieňov je načítaná v percentách, kde čím menšie číslo je namerané tým je väčšia tma. Svetelný senzor sa často používa v úlohách kde sa robot musí pohybovať po predom vyznačenej stope (čierna čiara).



Obr. 3.5 Svetelný senzor pre NXT [8]

Ultrazvukový senzor

Tento snímač je druhým v dvojici modulov, vďaka ktorým dokážeme postaviť robota, ktorý dokáže "vidieť". Senzor nám umožňuje hľadať predmety, vyhýbať sa prekážkam, zaznamenávať pohyb alebo merať vzdialenosť. Najčastejšie použitie je na meranie vzdialenosti od prekážky. Z oficiálnej príručky sa môžeme dozvedieť, že senzor meria vzdialenosť v rozmedzí 0 až 255 cm, s presnosťou $\pm 3\text{cm}$ [6]. Najväčšiu úspešnosť má pri meraní vzdialenosti od predmetov väčších rozmerov, ktoré sú vyrobené z tvrdého materiálu. Malé, zaoblené alebo predmety s mäkkým povrchom sú detekované menej spoľahlivo. Ultrazvukový senzor využíva rovnaký princíp ako netopier. Je vysielaná akustická vlna o vysokej frekvencii, tá sa od prekážky odrazí a prijímacia časť ju detekuje. Z nameraného času návratu tejto vlny a zo známosti rýchlosti šírenia vlny sa vypočíta vzdialenosť prekážky od emitora senzora. Pri použití viac než jedného ultrazvukového senzora v jednej miestnosti si treba dať pozor na vzájomné rušenie.



Obr. 3.6 Ultrazvukový senzor pre NXT [9]

Zvukový senzor

Tento mikrofónový aparát funguje ako detektor intenzity zvuku, ktorý meria v dvoch základných režimoch:

- dB - Vyjadrenie hlasitosti všetkých snímaných zvukov (aj frekvencií, ktoré ľudské ucho nepočuje) v decibeloch
- dBA - Percentuálne vyjadrenie hlasitosti zvukov, počuteľných ľudským uchom.

Pri režime dBA senzor zvuku meria akustický tlak do úrovne približne 90 dB (100%), čo zodpovedá hlasitosti zapnutej kosačky na trávu [6]. Namerané hodnoty sú zobrazované percentuálne, kde nižšia hodnota znamená tichší zvuk, a to napríklad:

- 4-5 % - hluk v tichej obývacej izbe
- 5-10 % - hlasitosť obďaleč rozprávajúcej osoby
- 10-30 % - normálna konverzácia odohrávajúca sa cca. 1m od senzoru, alebo hudba hraná na normálnej úrovni
- 30-100 % - hluk odpovedajúci kričiacim ľuďom, alebo hrajúcej hudbe pri vysokej hlasitosti



Obr. 3.7 Zvukový senzor pre NXT [10]

3.4. Elektromotory NXT

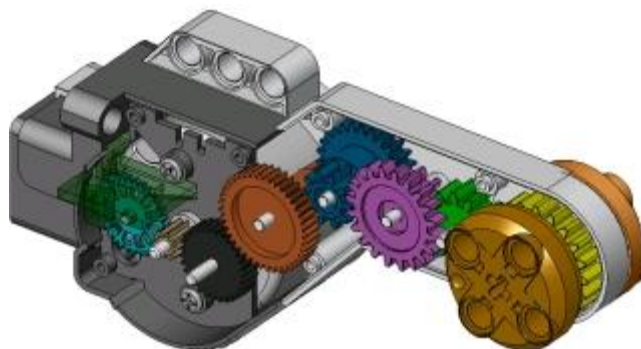
Interaktívne servomotory stavebnice Lega Mindstorms NXT slúžia k rozpochybovaniu robota na základe prijímaných inštrukcií z programovateľnej kocky. Napájanie daného motoru je 9 V a otáčky sú regulované pomocou pulzne-šírkovej modulácie (PWM). Prevodový pomer medzi motorom a výstupnou hriadeľov je uskutočnený v pomere 1:48. Servomotory môžu ale takisto slúžiť ako vstupné zariadenie a teda ako senzor, ktorý informuje o úrovni natočenia. Každý motor má vstavaný senzor, ktorý mu umožňuje presnejšie ovládanie robota. Rotačný senzor meria otáčanie motoru v stupňoch s presnosťou ± 1 stupeň [11]. K jednej NXT kocke sa dajú napojiť až tri servomotory, ktoré je možno ovládať jednotlivo nezávisle alebo súbežne. Pri nastavení trvania rotácie môžeme vyberať zo štyroch možností:

- Neobmedzene - Servomotor sa bude točiť až do ukončenia programu
- Stupne - Servomotor sa otočí o presne zadaný počet stupňov
- Rotácia - Budú vykonaný predom zadaný počet rotácií
- Sekundy - Servomotor pobeží na nastavený výkon po nastavenú dobu v sekundách

K zabrzdzeniu motora sa používajú dva režimy. V prvej možnosti pri použití režimu *Break* je motor aktívne brzdený a dochádza takmer k okamžitému zastaveniu. V režime *Coast* je motor brzdený len za pôsobenia trenia.

Pri zaťaženom motore, v snahe o pomalší pohyb nie je vhodné nastavovať v programovacom prostredí malý výkon. Motor stráca silu a môže tak dôjsť k jeho preťaženiu. Výhodnejším riešením je použiť mechanický prevod.

Nakoľko daný motor nie je krokový dochádza pri pohybe k určitému sklzu. Uhol natočenia v daných servomotoroch je zisťovaný spätne cez počítadlo otáčok. Bohužiaľ vďaka týmto faktom, sa stáva ovládanie motorov v radoch jednotiek stupňov takmer neriešiteľným problémom. Pri reguláciách je preto dobré počítať s určitou mierou tolerancie.



Obr. 3.8 Interaktívny servomotor stavebnice Lego Mindstorms NXT [12]

4. Lego Mindstorms EV3

4.1. Úvod do štvrtej časti

Lego Mindstorms EV3 je treťou generáciou robotických stavebníc. Názov EV3 vznikol zo zloženia dvoch častí. Označenie "EV" odkazuje na evolúciu produktovej rady Mindstorms a číslovka "3" odkazuje na skutočnosť, že sa jedná o tretiu generáciu programovateľných modulov (prvá - RCX, druhá - NXT). [13]

Základná EV3 súprava je postavená na platforme Education. Je optimalizovaná pre prácu v triede a študenti v nej nájdu všetko potrebné k testovaniu, modelovaniu a programovaniu reálnych robotických zariadení. K zakúpeniu je taktiež verzia pre domáce využitie s názvom "Home", tá má však oproti školskej verzii menší počet senzorov. Avšak v balení označovanom 31313 pre domáce využitie je k dispozícii vzdialený infračervený maják, ktorý dokáže ovládať robota na diaľku a môže byť taktiež použitý ako zariadenie pre nájdenie naprogramovaného robota.

Samozrejmosťou pri stavbe a modelovaní robotov pri využívaní stavebnice tretej generácie je možnosť použiť všetky prídavné moduly generácie predošlej. Naopak to žiaľ neplatí.

4.2. Inteligentná kocka EV3

Hlavným prvkom stavebnice je riadiaca jednotka EV3. Je postavená na procesore ARM926EJ-S core, 300MHz s Linux operačným systémom. Ten pracuje s internou Flash pamäťou o veľkosti 16 MB a 64 MB RAM. Kocka EV3 je osadená čítačkou mini SDHC kariet do veľkosti až 32 GB. Komunikáciu s počítačom zaisťuje USB port alebo externý Wi-Fi či Bluetooth adaptér. Za pomoci spomínaného USB 2.0 umožňuje prepojenie a komunikáciu viacerých kociek. [14]

Inteligentná kocka je osadená monochromatickým čiernobielym LCD displejom, ktorý má rozlíšenie 178×128 pixelov. Na spodnej časti sa nachádzajú 4 vstupné porty ktoré umožňujú získavanie dát s frekvenciou až 1000 vzorkou za sekundu. Na strane vrchnej sú k dispozícii 4 porty výstupné. Na prednej strane je na ovládanie tromi farbami podsvietený šesť tlačidlový ovládač. [15]

V kocke je nainštalovaný reproduktor vysokej kvality. Možnosť napájania je z 6AA batérií alebo z 2050 mAh lithiovej nabíjacej DC batérie.



Obr. 4.1 Programovateľná kocka EV3 [16]

4.3. Sensory EV3

Ultrazvukový senzor

Ultrazvukový modul, ktorý slúži na meranie vzdialenosti je schopný pracovať s presnosťou ± 1 centimeter v rozsahu 3 až 250 cm. Je vybavený čelným podsvietením, ktoré pri vysielaní signálu je permanentne rozsvietené. Pokiaľ daný modul signál prijíma, podsvietenie sa rozblíka. V prípade zachytenia ultrazvukového signálu z iného zariadenia, návratová hodnota senzoru je "true" [17].

Principiálne fungovanie a využitie senzoru je rovnaké ako u obdobného v predošlej generácii, ktorý som popísal v časti 3.3 tejto bakalárskej práce.



Obr. 4.2 Ultrazvukový modul pre EV3 [18]

Svetelný a farebný senzor

Svetelný a farebný vstupný modul je digitálnym senzorom, ktorý dokáže detekovať farbu alebo intenzitu svetla, ktoré vstupuje do malého otvoru na danom module. Tento senzor môže byť použitý v troch rôznych režimoch:

- V režime "**Color Mode**" je senzor schopný rozlíšiť až sedem rôznych farieb (čiernu, modrú, zelenú, žltú, červenú, bielu, hnedú a tzv. žiadnu farbu). Táto schopnosť pracovať s takým spektrom farieb umožňuje naprogramovať robota ktorý bude napríklad rozdeľovať loptičky podľa farieb, vymenovávať nasnímané farby alebo zastaví svoj chod po detekovaní červenej.
- Svetelný senzor v "**Reflected Light Intensity Mode**" meria intenzitu odrazeného svetla. Vďaka tomuto módu sa dá senzor použiť na obľúbené úlohy sledovania čiernej čiary. Pri použití dostávame škálu meraných výsledkov od 0 do 100. Kde nula je označuje čiernu a maximálna hodnota opak.
- V poslednom tretom režime "**Ambient Light Intensity Mode**" senzor meria intenzitu okolitého osvetlenia. Dokážeme tak merať či je v miestnosti tma alebo svetlo, poprípade aké intenzívne. Senzor využíva stupnicu od 0 (pre tmu) po 100 (maximálne osvetlenie).

Vzorkovacia frekvencia daného senzoru je 1 kHz/s . Pre najpresnejšie výsledky merania by mal byť senzor v pravom uhle k meranému objektu. [17]



Obr. 4.3 Svetelný a farebný senzor pre EV3 [19]

Gyroskop

Digitálny gyroskopický senzor meria rotačný pohyb naprogramovaného robota. Meranie uhlov je s presnosťou ± 3 stupne. Vďaka tomuto vstupnému modulu, dokáže robot zaznamenať zmenu v orientácii pohybu, udržiavať rovnováhu alebo skúmať pôsobiace sily na teleso. Vzorkovacia frekvencia je 1 kHz/s .



Obr. 4.4 Gyroskopický senzor pre EV3 [20]

Dotykový senzor

Dotykový senzor je senzorom analógovým, ktorý umožňuje detekovať kedy je červené tlačidlo senzoru stlačené a kedy uvoľnené. To znamená, že je možné robota naprogramovať s použitím tohto modulu na tri akcie. A to stlačenie, uvoľnenie alebo kombinácia t.j. stlačenie a následné uvoľnenie. Zárez na čelnom tlačidle umožňuje napojenie Lego hriadele, vďaka ktorému dokážeme zväčšiť a predĺžiť aktívnu časť senzoru.



Obr. 4.5 Dotykový senzor pre EV3 [21]

Infračervený senzor a vzdialený infračervený maják

Infračervený senzor je digitálnym senzorom, ktorý dokáže detekovať infračervené svetlo odrazené od pevných objektov. Takisto má schopnosť detekovať infračervené signály zasielané z prídavného zariadenia.

Vzdialený infračervený maják je samostatné prenášané zariadenie. To vyžaduje napájanie ktoré je riešene cez dve AAA batérie. Po stlačení tlačidla v hornej časti sa rozsvieti zelená LED ktorá indikuje, že je prístroj aktívny a vysiela nepretržite.



Obr. 4.6 Infračervený senzor pre EV3 [22]

Infračervený senzor sa dá použiť v troch rôznych režimoch: [17]

- V prvom režime "**Proximity Mode**" využíva senzor svetelné vlny odrazené späť od objektu k určeniu vzdialenosti od daného objektu. Senzor dokáže detekovať objekty do vzdialenosti až 70 cm, v závislosti na veľkosti a tvaru prekážky. Vzdialenosť je udávaná v rozmedzí od 0 (veľmi blízko) po 100 (veľmi vzdialene) a nie ako presný údaj v jednotkách vzdialenosti.
- V režime "**Beacon Mode**" sa využíva vzdialený infračervený maják. Po zvolení jedného zo štyroch dostupných kanálov, infračervený senzor rozozná vzdialený maják až na vzdialenosť 200 cm. Senzor tak následne môže odhadnúť celkový smer a vzdialenosť k majáku. Smer k majáku sa po nameraní udáva v hodnotach od -25 po 25, kde nula znamená, že je priamo pred ním. Vzdialenosť je udávaná klasicky v rozmedzí 0 až 100.
- V režime "**Remote Mode**" sa dá vzdialený infračervený maják použiť ako istý typ diaľkového ovládača. V danom režime dokáže infračervený senzor a teda naprogramovaný robot rozoznať ktoré z tlačidiel alebo kombinácií tlačidiel boli na majáku stlačené a na základe toho vykonať akčný zásah. Dohromady je jedenásť možných kombinácií stlačenia.



Obr. 4.7 Vzdialený infračervený maják pre EV3 [23]

4.4. Elektromotory EV3

V balení Lego Mindstorms EV3 sa nachádzajú tri motory. Z toho sú dva s označením veľké a tretí s označením stredný.

Motor výrobcom označený ako "**Large Motor**" výkonným "inteligentným" motorom. Daný servopohon má v sebe zabudovaný vnútorný senzor otáčok, ktorý ma presnosť jeden stupeň, vďaka čomu sa dá dosiahnuť presné ovládanie. Veľké motory sú optimalizované ako zdroj pohybu pre postavených robotov. Elektromotor dokáže dosiahnuť otáčky za minútu v rozmedzí 160 - 170, s točivým momentom 40 *Ncm*. Čo z neho robí výkonný ale pomalší motor.



Obr. 4.8 Elektromotor s označením "Large" pre EV3 [24]

V "**Medium Motor**" ako je od výrobcu pomenovaný, je taktiež zabudovaný vnútorný senzor otáčok, s rovnakou presnosťou 1 stupeň. Táto pohonná jednotka je podstatne menšia a ľahšia. Veľký motor váži 82 g pričom stredný "len" 39 g. Vďaka týmto mechanickým parametrom je daný servomotor schopný reagovať rýchlejšie. Akčný člen strednej veľkosti môže byť naprogramovaný rôznymi spôsobmi ovládania. A to buď jednoduché zapnutie/vypnutie, reguláciou výkonu alebo určením presným časom, po ktorý sa bude daný motor využívať. Táto pohonná jednotka, ktorá je určená skôr na presúvanie objektov a doladenie pohybu dokáže dosiahnuť 240 - 250 otáčok za minútu, pri točivom momente 12 *Ncm*. Čo z neho robí rýchlejší avšak slabší motor. [25]



Obr. 4.9 Elektromotor s označením "Medium" pre EV3 [26]

5. Programovateľné možnosti

5.1. Úvod do piatej časti

Táto časť pojednáva o programových možnostiach stavebníc Lego Mindstorms NXT a EV3.

K dispozícii je viacero možností. Obecne platí, že grafické, užívateľsky prívetivejšie programovanie nevyžaduje vysoký stupeň programovacích znalostí. Pri textovom programovaní, sú k dispozícii už vytvorené knižnice pre prácu. Táto forma programovania je pre programovateľne zdatnejších študentov, avšak takéto programy sú mnohokrát dokonalejšie a zároveň komplikovanejšie.

5.2. Programovacie možnosti NXT

Programovanie a riadenie inteligentnej kocky NXT je možné buď to v menu riadiacej jednotky alebo pomocou programu vytvoreného v programovacom prostredí, ktorý má zásadne viacej možnosti. Zvlášť výnimočnou možnosťou je ovládanie robota pomocou mobilného telefónu s bluetooth rozhraním.

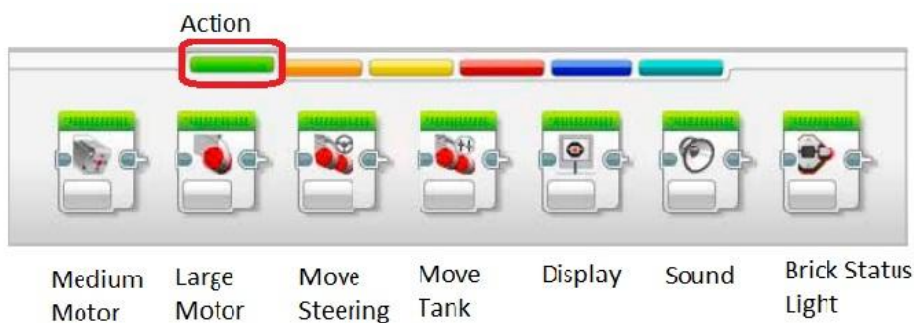
- **Ručné ovládanie** patrí k najjednoduchším možnostiam ako ovládať NXT kocku. K tomuto je k dispozícii jednoduchý blokový program, ktorý sa nachádza priamo v menu riadiacej jednotky. Pri tejto možnosti programovania a ovládania robota sa relatívne ľahko vyčerpajú možnosti kocky a preto sa odporúča pre komplikovanejšie programy jednoznačne použiť iné formy naprogramovania.
- **NXT-G** je základné blokovo orientované prostredie. Za touto alternatívou k programovaniu stojí firma National Instruments. Grafické rozhranie a jednoduchý systém "pick&drop" robí z tohto programovacieho režimu intuitívnu záležitosť a vďaka tomu je zásadne vhodný pre začiatočníkov. Tí si nemusia pamätať názvy metód a pochopiť niekedy komplikované konštrukcie programovacích jazykov.
- **NXC** (Not eXactly C) je ďalšou z možností ako naprogramovať postaveného modelu robota. Ako už z názvu vyplýva jedná sa o textovú programovaciu alternatívu, ktorá je postavená a odvodená od jazyka C. Práca s daným jazykom je vskutku príjemná a pre študenta s aspoň základnými znalosťami jazyka C efektívna a rýchla. Vývojové prostredie jazyka je zdarma k dispozícii na "<http://sourceforge.net/projects/bricxcc/>", na daných stránkach nájde užívateľ aj návod k inštalácii a následnému programovaniu robota.
- Produkt **LeJOS-NXJ** je šírený spoločnosťou Sourceforge zdarma. Výhodou je podobnosť s jazykom Java a možnosť využívať programovacie prostredie na operačných systémoch Windows, Linux a MAC OS. [27]

Vďaka veľkej popularite stavebnice Lego Mindstorms NXT je na trhu veľa ďalších programovacích možností, ktoré sa dajú pre oživenie namodelovaného robota použiť.

5.3. Programovanie EV3

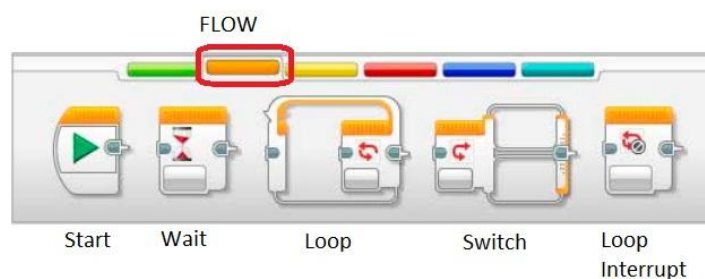
K programovaniu riadiacej jednotky EV3 sa používa intuitívne grafické rozhranie, ktoré je založené na systéme "pick&drop". Užívateľ si stiahne aplikáciu do tabletu alebo programovacie rozhranie do počítača s operačným systémom Windows/Mac OS. Chytením, potiahnutím a následným pospájaním pripravených grafických blokov si užívateľ vytvorí program, ktorý po nahratí do jednotky rozhýbe poskladaného robota podľa predstáv. Všetky programové bloky, ktoré sú využívané pre kontrolu namodelovaného robota sú usporiadané do jednotlivých kategórií, ktoré sú označené jednotlivou farbou. Dohromady je k dispozícii šesť kategórií:

- **Akčné bloky** (zelená) ovládajú akcie programu ako sú otáčky jednotlivých motorov, zvuk, obraz a takisto svetlo na EV3 kočke



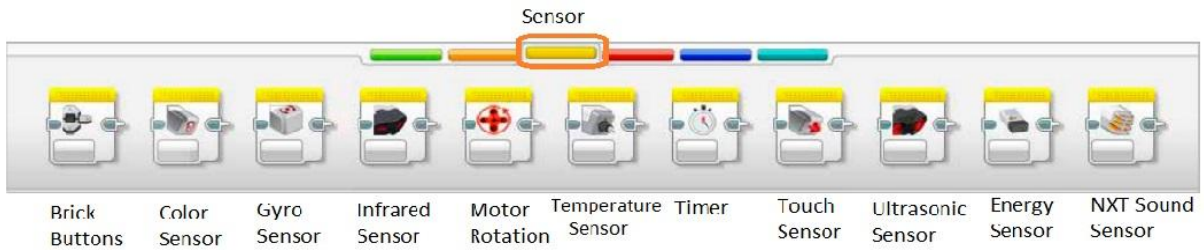
Obr. 5.1 Akčné bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28]

- **Funkčné bloky** (oranžová) ovládajú funkcie programu. Všetky vytvorené programy začínajú s štartovným funkčným blokom.



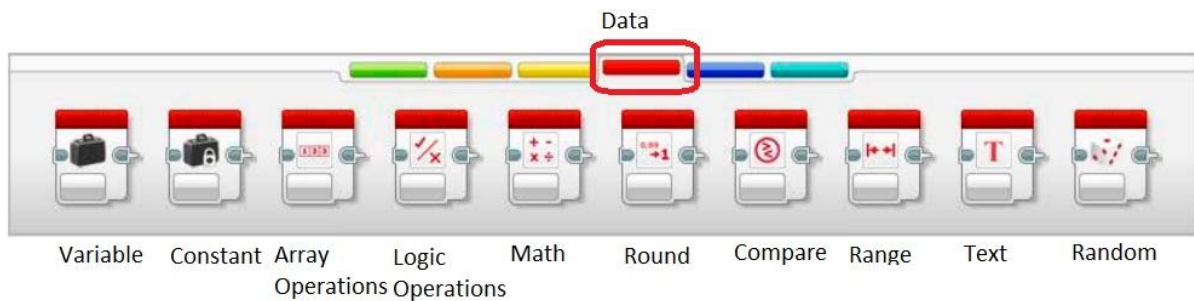
Obr. 5.2 Funkčné bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28]

- **Senzorové bloky** (žltá) umožňujú programom čítať informácie prichádzajúce z jednotlivých senzorov.



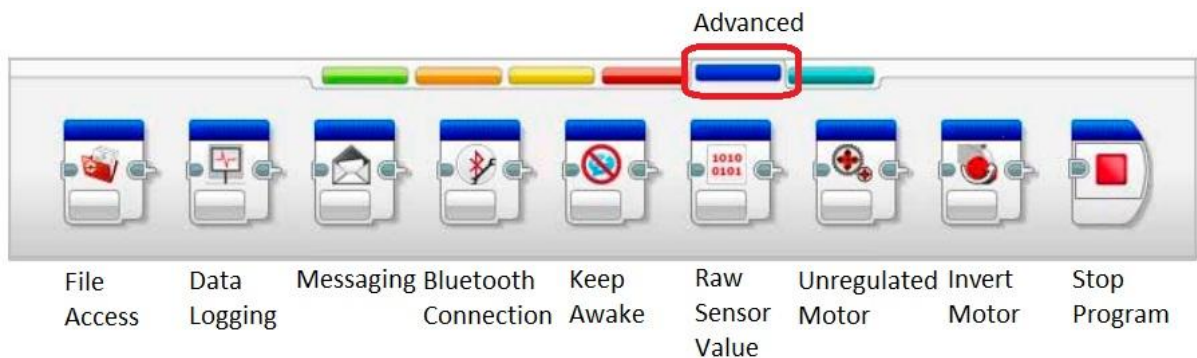
Obr. 5.3 Senzorové bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28]

- **Operačné bloky** (červená) umožňujú písať a načítať premenné a zrovnávať hodnoty. Tieto programovacie bloky sú však dostupné len pre programovací software určený na operačný systém Windows/Mac OS a nie pre aplikáciu EV3 Programmer.



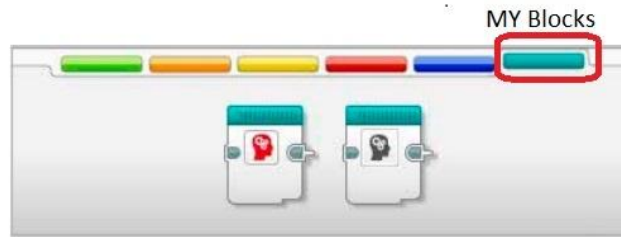
Obr. 5.4 Operačné bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28]

- **Pokročilé bloky** (tmavo modrá) umožňujú spravovať súbory alebo pripojenie k bluetooth. Takisto aj táto skupina blokov je prístupná len pre PC software.



Obr. 5.5 Pokročilé bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28]

- **Vlastné bloky** (modro-zelená) sa používajú pri častom využívaní nejakej skupiny blokov. Tak si môžeme vytvoriť vlastný segment, ktorý môže byť použitý v ktoromkoľvek inom programe.



Obr. 5.6 Vlastné bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28]

5.4. Aplikácie EV3 pre Android/iOS

S rozvojom chytrých telefón v poslednej dekáde sa vývojári vo firme Lego oprávnené rozhodli vydať aj aplikácie určené pre prenosné zariadenia. Jednotlivé aplikácie sa dajú stiahnuť na oficiálnych stránkach výrobu alebo sú k dispozícii v obchodoch jednotlivých platforiem.

- **Aplikácie EV3 programmer** (iOS/Android) predstavuje jednu z najrýchlejších, najchytřejších a podľa výrobcu najzábavnejších foriem ako vytvoriť program, ktorý sa následne bezkontaktné prenesie do robota. Aplikácia je určená do tabletov s operačným systémom iOS/Android.
- **Aplikácia robot commander** je aplikáciou určenou pre chytré telefóny a tablety. Po bezplatnom stiahnutí a nainštalovaní dokáže užívateľ využiť svoje prenosné zariadenie ako istý druh diaľkového ovládania s ktorým následne riadi svojho robota.
- **Aplikácia 3D builder** predstavuje pomocnú ruku pri stavaní akéhokoľvek z piatich začiatočných robotov EV3 v 3D. Každý krok návodu je animovaný a ukazuje ako a kde presne umiestniť každú zo súčiastok. Model je otáčateľný o 360 stupňov. Táto aplikácia je určená len pre tablety.

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

6. Návrh a realizácia prvej súťažnej úlohy

6.1. Zadanie súťažnej úlohy

Cieľom úlohy je navrhnuť, poskladať a následne naprogramovať robota tak aby v čo najkratšom čase prešiel po pripravenej dráhe. Robot sa musí pohybovať autonómne bez akejkoľvek ďalšej pomoci.

6.2. Pravidlá

6.2.1. Stavba robota

Ku stavbe robota je možné použiť všetky dostupné diely zo základnej súpravy Lego Mindstorms NXT Education (9797) a súpravy technických dielov (9648 alebo 9695), taktiež sieťový adaptér (9833 alebo 8887) a jednoosí gyroskopický senzor (1044). Každému tímu je povolené použiť diely práve z jednej sústavy 9797 a 9833/8887. Na stabilitu a spojenie jednotlivých dielov smú tímy použiť len štandardné spojovacie prvky. Použitie lepiacej pásky, šnúry, lepidla, skrutiek alebo iného spojovacieho materiálu je prísne zakázané.

6.2.2. Programovanie robota

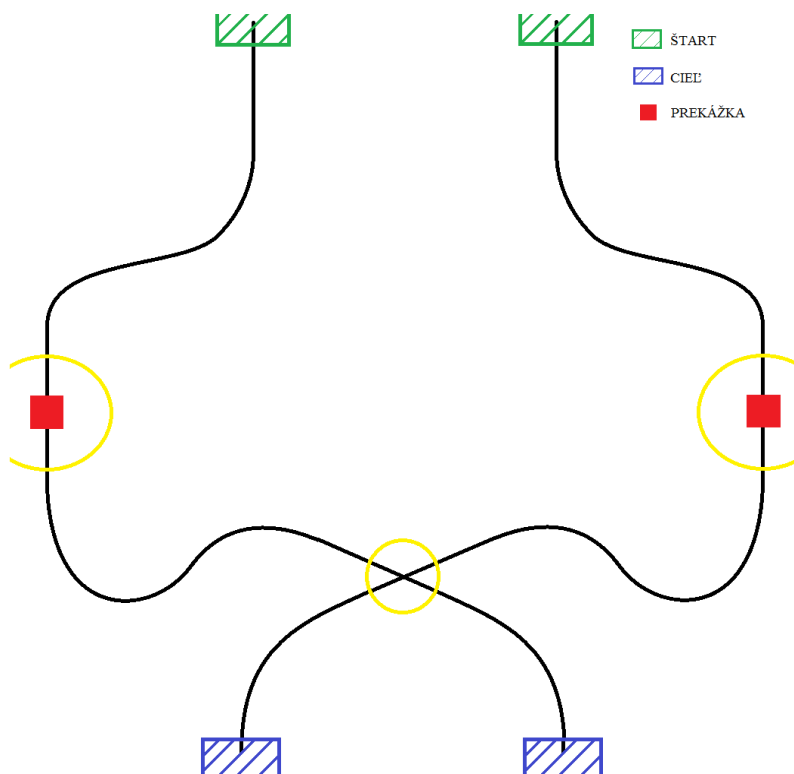
K naprogramovaniu postaveného robota si môže každý tím vybrať programovacie prostredie podľa vlastných programovacích schopností a potrieb. Pár programovacích možností inteligentnej riadiacej jednotky NXT je popísaných v časti 5.2 tejto bakalárskej práce.

6.2.3. Súťažná dráha

Súťažná dráha bude vytvorená na bielej podložke z čiernej čiary. Hrúbka čiary sa môže pohybovať v rozmedzí 15 - 25 mm. Táto čiara, ktorá bude tvoriť súťažnú dráhu bude umiestnená od štartovacieho poľa až do cieľa. Celková dĺžka danej čiary môže byť v rozmedzí 5 - 15 metrov. Pripravená súťažná dráha môže obsahovať viacej krížení na trati a môže mať akýkoľvek tvar. Minimálny polomer pre zatáčky bude 20 cm. Uhol kríženia bude v rozmedzí 60° - 90°. Pred a po každom prekrížení čiar bude umiestnený minimálne 20 cm úsek, kde bude čiara rovná.

Na súťažnej dráhe môže byť umiestnený ľubovoľný počet prekážok. Na jednej súťažnej dráhe však nebudú umiestnené viac ako tri prekážky. Pred a za každou prekážkou, ktorá bude postavená na čiernej čiare bude umiestnený rovný úsek čiernej čiary, ktorá bude mať minimálnu dĺžku 25 cm. Prekážka bude mať pôdorys štvorca s veľkosťou strany 20 cm a minimálna výška prekážky bude 25 cm.

Na súťažnej dráhe bude umiestnený priestor pre štart a cieľ. Na týchto miestach môže byť umiestnená svetelná závora, ktorá bude merať čas potrebný na zdolanie súťažnej úlohy. Na obrázku č. 6.1 je možný návrh súťažnej dráhy pre súčasný štart dvoch tímov. Táto dráha je len návrhom, samotná konečná súťažná môže byť v ktoromkoľvek súťažnom kole pozmenená.



Obr. 6.1 Možný návrh súťažnej dráhy so súčasným štartom dvoch tímov

6.2.4. Pravidla prejazdu autodráhy

Na štartovacie pole môže byť robot postavený ručne. Po zaznení signálu, je robot spustený stlačením príslušného tlačidla, od tohto momentu sa žiaden z členov tímu nesmie dotknúť robotov na súťažnej dráhe.

Postavené roboty sa musia pohybovať po súťažnej dráhe úplne samostatne bez žiadnej prídavnej pomoci t.j. je zakázané ovládanie cez bluetooth alebo zvukové povely a podobne. Roboty musia sledovať čiernu čiaru bez väčšej odchýlky ako je 20 cm na obe strany od vodiacej čiary. Túto podmienku môžu a zároveň musia porušiť pri obchádzaní prekážky postavenej na súťažnej dráhe. Okolo každej prekážky bude zvýraznená kružnica s polomerom 50 cm od stredu prekážky. Kružnica bude znázornená žltou čiarou, tá neovplyvňuje svetelný senzor. Pri obchádzaní prekážky nesmie robot vyjsť z vymedzenej kružnice. Za vyjdenie z kružnice sa považuje stav ak žiadna zo súčiastok na postavenom robote dotýkajúca sa zeme, sa nebude nachádzať v spomínanom vymedzenom priestore. Na dráhe sa môže vyskytnúť križenie súťažnej dráhy oboch tímov. V tomto prípade musí dať robot, ktorý príde k danej "križovatke" ako druhý prednosť robotovi, ktorý sa bude nachádzať v spomínanej križovatke.

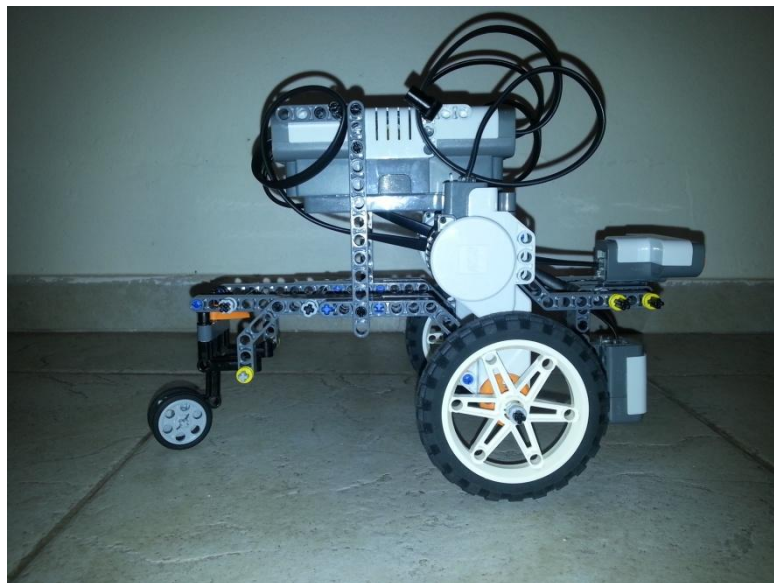
Hranica križovatky, bude taktiež zvýraznená kružnicou o žltej farby s polomerom 20 cm, vďaka ktorej sa bude určovať ktorý z robotov tam dorazil ako prvý.

Na štart sa súčasne postaví dva vybrané vylosované tímy. Zvukový začiatok bude pre oba tímy súčasný. Vyhráva tím, ktorého robot prejde postavenú dráhu za kratší čas.

Porušenie akéhokoľvek vyššie zmieneného pravidla vedie k diskvalifikácii robota v príslušnej jazde. O dodržaní pravidiel a diskvalifikácií pri prípadnom porušení rozhoduje dohliadajúci vyučujúci.

6.3. Konštrukčné riešenie úlohy

Pri konštrukcii robota, ktorý je určený pre úlohu sledovania čiernej čiary som sa držal niekoľkých zásad. Ako je možné vidieť na obr. 6.2 zvolil som verziu s dvoma poháňanými prednými kolesami a jedným kolieskom v zadnej časti robota. Snažil som sa použiť čo najmenej súčiastok aby bol robot jednoduchý a čo najľahší no pri tom čo najviac robustný. Po odskúšaní viacerých verzií som sa rozhodol umiestniť ťažisko vyššie ako bol môj pôvodný plán. Mám za to, že vďaka tomu sa daný robot lepšie správa pri obchádzaní prekážky.



Obr. 6.2 Robot pre sledovanie čiernej čiary

Programovateľnú kocku som umiestnil nad poháňané kolesá aby ich zaťažovala, kvôli tomu som zvolil aj dané postavenie elektromotorov. Použitý senzor na detekciu čiernej čiary doporučujem umiestniť pred osu kolies, ktoré sú poháňané. Vďaka tomu sa postavený robot lepšie ovláda. V prednej časti robota ako je možné vidieť na obr. 6.3 sa taktiež nachádza ultrazvukový senzor, ktorý detekuje prípadnú prekážku.



Obr. 6.3 Predný pohľad na robota pre sledovanie čiernej čiary

6.4. Software-ové riešenie úlohy

Zostrojeného robota som programoval za použitia programovacích možností jazyka NXC. Hlavná úloha ("Task") v programe vyzerá nasledovne:

```
task main() {  
  
  SetSensorLight(IN_1); // Senzor 1 - svetelny  
  SetSensorLowSpeed(IN_3); // Senzor 3 - ultrazvukovy  
  
  while (true) {  
    FollowLine(60, 25, true);  
    FollowLine(18, 15, false);  
  
    Wait(300);  
  
    if (SesorUS(IN_3) < 10)  
    {  
      Sheer();  
    }  
  }  
}
```

V prvej časti sa nachádzajú inicializácie dvoch použitých senzorov. Nasleduje nekonečná slučka v ktorej sa nachádzajú dve procedúry a jedna podmienka, ktorá zisťuje či je pred robotom objekt bližšie ako 10 cm.

Procedúra **FollowLine** má tri vstupné parametre. Prvý parameter je číslo, ktoré určuje na aký výkon pobežia motory pri sledovaní čiary. Druhé číslo určuje v akej vzdialenosti pred prekážkou sa ukončí daná procedúra. Posledný tretí parameter je binárny. Nadobúda hodnotu "nepravda" ak sme namerali objekt pred robotom vo vzdialenosti menšej ako 25 cm.

```
// sledovanie čiary, x-vykon motorov, y-vzdialenost prekazky
sub FollowLine(int x, int y, bool z)
{

int powerA = 0;
int powerC = 0;
int Tp = x;
int LightVal = 0;
int turn = 0;
int distance = y;

int Kp = 180;
int Ki = 100;
int Kd = 250;

int offset = 45; // Hodnota svetelneho senzoru na ktorej sa
chceme drzat

int integral = 0;
int derivative = 0;
int error = 0; // Odchylna od pozadovanej hodnoty
int lastError = 0;

// Pre z=true, pred robotom volno, vysoky vykon motorov
while (SensorUS(IN_3) > distance && z){

LightVal = SENSOR_1;
error = LightVal - offset;
integral = (integral + error)/10;
derivative = error - lastError;
lastError = error;

//turn = Kp*error;
//vypocet akcneho zasahu pre P
//turn = Kp*error + Ki*integral;
//vypocet akcneho zasahu pre PI
//turn = Kp*error + Kd*derivative;
//vypocet akcneho zasahu pre PD

turn = Kp*error + Ki*integral + Kd*derivative; //vypocet akcneho
zasahu pre PID
turn = turn/100;

if(turn>40){turn=40;} // Omedzenie zasahu pre pohon motorov
if(turn<-40){turn=-40;}

powerA = Tp + turn;
powerC = Tp - turn;

OnRev(OUT_A, powerA);
OnRev(OUT_C, powerC);

}
}
```

```

//Proces pre spomaleie, pred prekazkou alebo datim prednosti na
krizovatke
until (z || SensorUS(IN_3) < distance || SensorUS(IN_3) >
distance*2){

LightVal = SENSOR_1;
error = LightVal - offset;
integral = (integral + error)/10;
derivative = error - lastError;
lastError = error;

//turn = Kp*error;
//turn = Kp*error + Ki*integral;
//turn = Kp*error + Kd*derivative;
turn = Kp*error + Ki*integral + Kd*derivative;
turn = turn/100;

if (turn>40) {turn=40;}
if (turn<-40) {turn=-40;}

powerA = Tp + turn;
powerC = Tp - turn;

OnRev(OUT_A, powerA);
OnRev(OUT_C, powerC);

}

Float(OUT_AC);
}

```

Silne doporučujem pred každým súťažným kolom skontrolovať si hodnoty ktoré nám nameria svetelný senzor na bielej podložke a na čiernej vodiacej čiare. Pre daný konkrétny prípad to bola hodnota 60 pre bielu podložku a 30 pre čiernu čiaru. Ja som zvolil ako referenčnú hodnotu, ktorej sa má robot držať 45.

V procese pre sledovanie čiernej čiary je použitý PID regulátor. Akčný zásah som počítal v zorcom:

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_i * e(t)}{10} + K_d * ((y - r) - (y_{-1} - r)) \quad (1)$$

Výpočet akčného zásahu a nastavenie konštánt pre zložku P, I a D je značne individuálne.

Dokonca sa mi podarilo zistiť, že už pri nastavenom optimálnom riešení stačí pridať jeden cyklus a rozhodí to celý systém. V tomto konkrétnom prípade vyšli hodnoty konštánt nasledovne:

$$K_p = 180$$

$$K_i = 100$$

$$K_d = 250$$

Hodnotu akčného zásahu som nakoniec ošetril patričnou saturáciou aby som do motorov neposielal výkon väčší/menší ako je maximálnych ± 100 .

Procedúra **Sheer** slúži na obídenie prekážky, ktorej rozmery vieme predom. Na základe toho je táto procedúra maximálne jednoduchá. Skladá sa len z príkazov pre jednotlivé motory na ich zapnutie a následné vypnutie po presnom čase. Kód procedúry vyzerá nasledovne:

```
//procedúra na obídenie prekážky
sub Sheer() {

    OnRev(OUT_A, 100);
    Wait(500);
    Off(OUT_A);

    OnRev(OUT_AC, 50);
    Wait(500);
    Off(OUT_AC);

    OnRev(OUT_C, 100);
    Wait(400);
    Off(OUT_C);

    OnRev(OUT_AC, 50);
    Wait(1500);
    Off(OUT_AC);

    OnRev(OUT_C, 100);
    Wait(400);
    Off(OUT_C);

    until (SENSOR_1 < 40) { //pokiaľ nenarazí na èiaru
    OnRev(OUT_AC, 50);
    }
    Off(OUT_AC);

    OnRev(OUT_A, 100);
    Wait(400);
    Off(OUT_A);

}
```

6.5. Záver k súťažnej úlohe

Úloha je zaujímavá pre študentov najmä pre možnosť odskúšania si návrhu regulátorov. Danú úlohu sa mi podarilo úspešne zvládnuť. Fotky z poskladaného robota a natočený videozáznam robota v akcii je k dispozícii na vytvorenej stránke www.bp-bibkodan.wz.sk.

7. Návrh a realizácia druhej súťažnej úlohy

7.1. Zadanie súťažnej úlohy

Cieľom úlohy je vymyslieť, skonštruovať a následne naprogramovať robota, ktorý v určenom vymedzenom časovom úseku na pripravenej súťažnej dráhe nájde jamu, vyloví z nej loptičky a presunie ich na vyhradené miesto.

7.2. Pravidlá

7.2.1. Súťažná dráha

Ku stavbe robota je možné použiť všetky dostupné diely zo základnej súpravy Lego Mindstorms NXT Education (9797) a súpravy technických dielov (9648 alebo 9695), taktiež sieťový adaptér (9833 alebo 8887) a jednoosí gyroskopický senzor (1044). Každému tímu je povolené použiť diely práve z jednej sústavy 9797 a 9833/8887. Na stabilitu a spojenie jednotlivých dielov smú tímy použiť len štandardné spojovacie prvky. Použitie lepiacej pásky, šnúry, lepidla, skrutiek alebo iného spojovacieho materiálu je prísne zakázané.

7.2.2. Programovanie robota

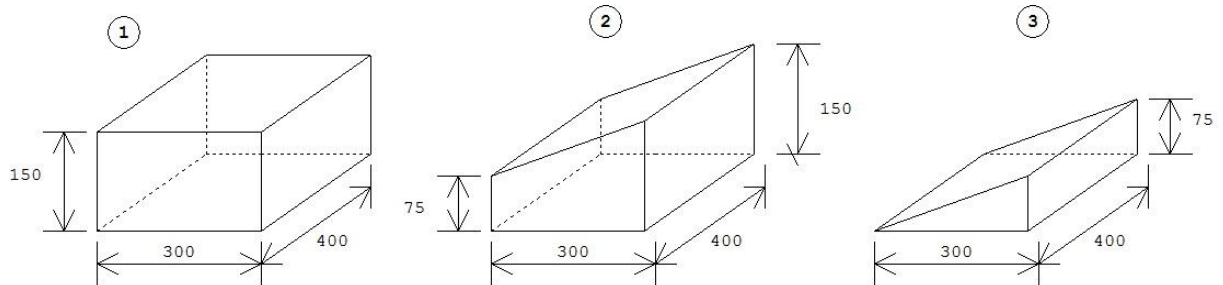
K naprogramovaniu postaveného robota si môže každý tím vybrať programovacie prostredie podľa vlastných programovacích schopností a potrieb. Jednotlivé možnosti programovania inteligentnej riadiacej jednotky NXT sú popísané v časti 5.2 tejto bakalárskej práce.

7.2.3. Súťažná dráha

Súťažná dráha bude poskladaná z plastových dielov zobrazených na obrázku č. 7.1. Dráha bude rovná bez akýchkoľvek zatačok avšak nebude vodorovná. V strede celej súťažnej dráhy sa bude nachádzať vodiaca čierna čiara so šírkou 20 mm, ktorá môže slúžiť na udržanie robota v správnom smere. Jednotlivé unifikované diely z ktorých je súťažná dráha postavená majú pôdorys v rozmeroch 300×400 mm (dĺžka × šírka). Maximálny sklon dráhy je 15%.

Na začiatku dráhy bude vyznačené štartovacie pole, na ktoré bude súťažný model robota umiestnený. Následné budú umiestnené plastové dielce ktoré vytvoria súťažné hracie pole. A to po rovine bude nasledovať trojuholníkový segment následne lichobežníkový a úplne nakoniec kvádrový. Diera v ktorej budú umiestnené loptičky určené na vylovenie bude umiestnená vo vzdialenosti minimálne 600 mm (2 segmenty) od vyrovnania povrchu. Diera

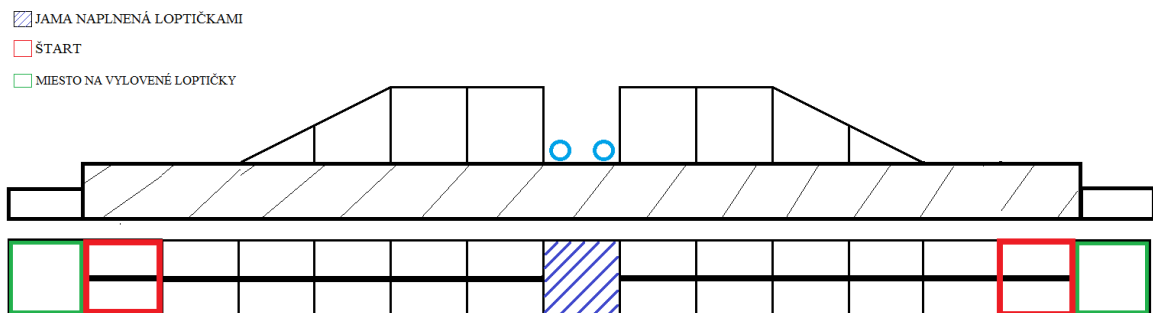
nebude hlbšia ako jeden unifikovaný diel (150 mm). Pôdorys súťažnej jamy budú odpovedať plastovému dielu (300×400 mm). Dĺžka súťažnej dráhy môže byť premenlivá avšak so zaručením len jednej súťažnej jamy. Na dráhe sa môže vyskytnúť viac ako jedno stúpanie. Bude sa však dodržiavať pravidlo, že pred každým stúpaním alebo klesaním bude minimálne 300 mm roviny.



Obr. 7.1 Unifikované plastové moduly pre stavbu dráhy (1-kváder, 2-lichobežník, 3-trojuholník) [34]

7.2.4. Priebeh súťaže a bodovanie

Obrázok č.7.2 ukazuje možný tvar súťažnej dráhy. Na zvýraznené štartovné polia budú postavené skonštruované roboty dvoch súťažných tímov. Po odštartovaní a súčasnom spustení časomieru majú členovia tímu povolený dotyk s robotom na spustenie programu. Následne sa musí robot po súťažnej dráhe pohybovať kompletne samostatne bez akejkoľvek externej pomoci. Akýkoľvek zásah členov tímu do chodu skonštruovaných robotov (dotyk, zvukové povely, ovládanie cez bluetooth atď.) bude viesť k okamžitej diskvalifikácii súťažného tímu.



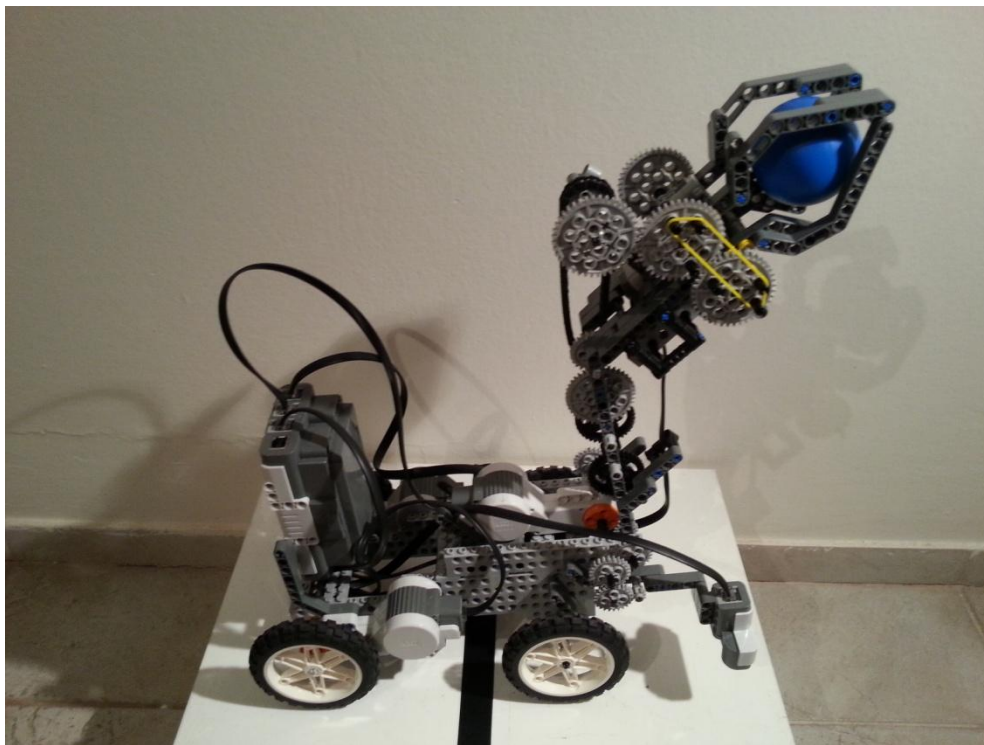
Obr. 7.2 Varianta súťažnej dráhy

Úlohou robota bude nájsť jamu naplnenú loptičkami. Následne vyloviť a previezť čo najviac loptičiek na štartovacie pole. Diera v ktorej sa budú nachádzať loptičky bude mať po stranách ochranné prvky aby sa súťažné loptičky nevykotúľali. Po vylovení loptičky ju musí robot dopraviť na začiatok hracieho poľa a zhodiť do pripravenej diery, ktorá sa bude nachádzať za štartovacím poľom.

Za každú jednu prenesenú loptičku v časovom limite 3 minúty dostane súťažný tím 1 bod. Tím, ktorý v časovom limite nazbiera najviac bodov, tím pádom prenesie najviac loptičiek vyhráva a postupuje do ďalšieho kola. V prípade, že nastane situácia rovnakého počtu bodov, bude nasledovať tzv. "rýchla smrť". T.j. na štartovacie pole budú postavené oba roboty a ten ktorý vyloví a prenesie loptičku ako prvý vyhráva.

7.3. Konštrukčne riešenie úlohy

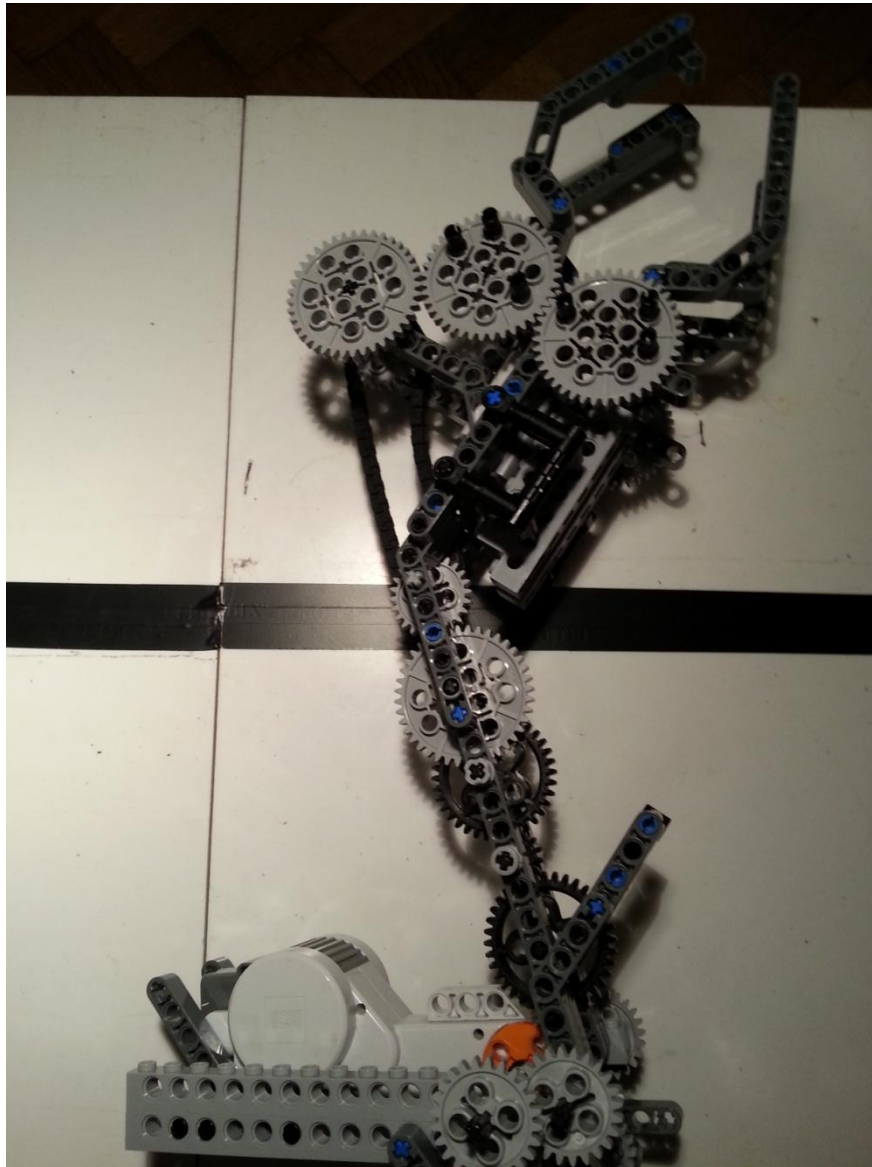
Konštrukčné riešenie v tejto úlohe zohráva zásadnú rolu. Po niekoľkých nepodarených testovacích prototypov som skončil u definitívneho riešenia. Ako je vidieť na obr. 7.3 zvolil som obdĺžnikovú podstavu. Zadné dve kolesá sú poháňané a to každé z nich osobite vlastným motorom aby bolo možné s robotom sledovať čiernu čiaru a následne sa otočiť. Nad kolesami, ktoré poháňajú celého robota sa nachádza programovateľná kocka, kvôli zvýšeniu trakcie daných kolies ale aj pre stabilizáciu robota aby sa pri vyťahovaní loptičiek z jamy neprevrátil.



Obr. 7.3 Bočný pohľad na súťažného robota, pre vyberanie loptičiek z diery

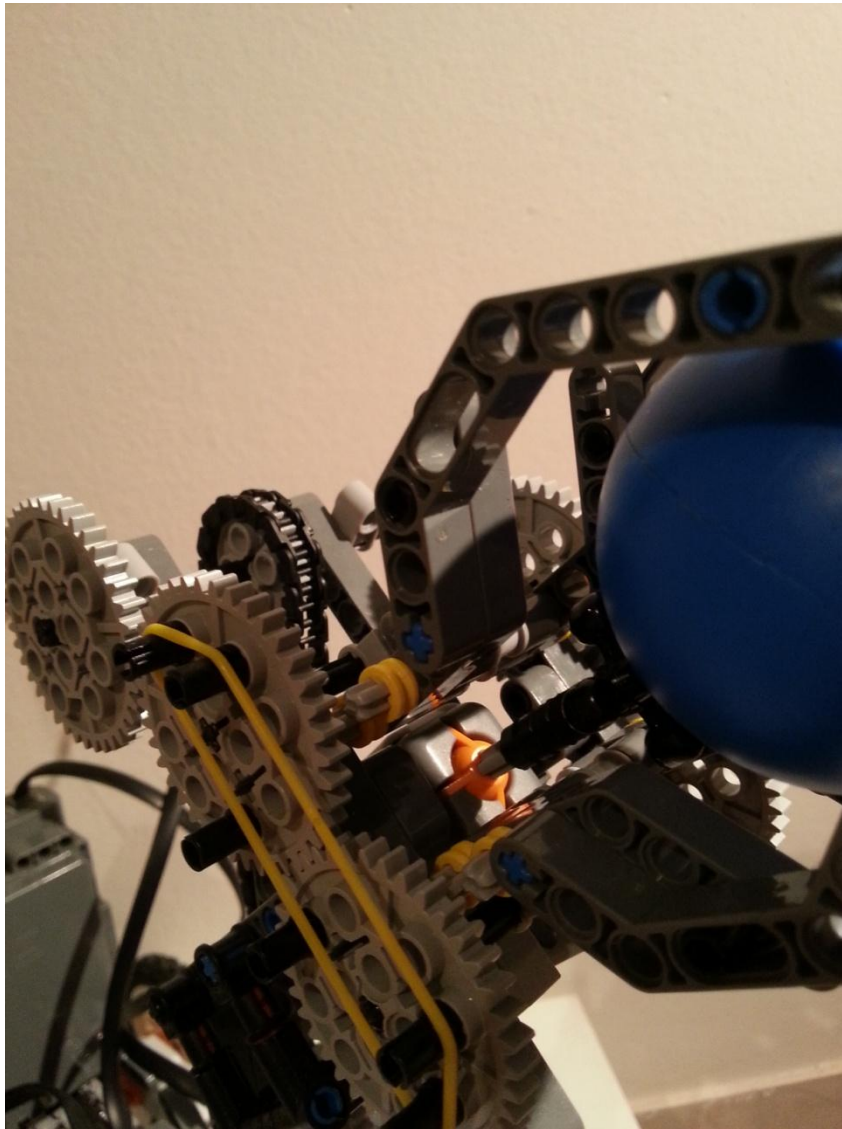
V prednej časti robota sa nachádza vysunutý ultrazvukový senzor, ktorý zisťuje prítomnosť jamy s loptičkami. Voľba takéhoto vysunutia je nutná, kvôli brzdnnej dráhe daného robota. Aj napriek danej voľbe je ešte potrebná korekcia a zacúvanie robota po zastavení nad dierou.

Najväčším riešeným problémom bol nedostatok elektromotorov. K dispozícii sú štandardne "len" tri motory z toho dva sú už použité na pohon. Na vylovenie loptičiek mi ostal teda len jeden pohon. Celé som to vyriešil ramenom, ktoré sa vďaka ozubeným kolieskam a zostrojeným prevodom pomaly spúšťa do jamy. Pred definitívnym dosiahnutím dna a zastavením motora sa celé rameno v spodnej časti napojí na ďalšie ozubené koliesko, ktoré pootočí asi 12 ďalšími ozubenými kolesami. Celý ten proces ma na svedomí nielen spustenie ramena ale aj otvorenie čeľustí, do ktorých sa následne chytí loptička. Využitie ozubených koliesok pre spomínaný účel je viditeľný na obr. 7.4.



Obr. 7.4 Detail na vyhotovenie ramena

Na obr. 7.5 je vidieť vo "vnútri" čeľustí umiestnený dotykový senzor. Ten slúži robotovi na zistenie prítomnosti loptičky. Ak je výlov loptičky z diery úspešný nastane stlačenie spomínaného senzoru.



Obr. 7.5 Detail na dotykový senzor vo vnútri čelusti

Aj napriek niekoľkonásobným pokusom sa mi nepodarilo vyriešiť problém s dĺžkou ramena a čelustí. To znamená, že pri spúšťaní ramena musím ísť až k úplnému dnu diery aby som úspešne otvoril čeluste robota. To ma za následok, že loptičky, ktoré sú potenciálnymi adeptmi na vytiahnutie sú odtláčené mimo rameno. Tento problém riešim tým, že po spustení ramena sa robot pootočí jemne do jednej strany a následne vyloví iné loptičky, ktoré sú k dispozícii.

7.4. Software-ové riešenie úlohy

Programové riešenie súťažnej úlohy je komplikovanejšie ako v predošlej časti pri sledovaní čiary a vyhýbaní sa objektom. Aj práve preto som aj v tomto prípade využil nástroje programovacieho jazyka NXC. V samotnej hlavnej úlohe programu sa nachádzajú tri procedúry.

Jedna z procedúr pomenovaná **PohybRamena** je jednoduchá. Má na starosti buď to spúšťanie alebo vyťahovanie ramena. Smer pohybu ramena sa zadáva cez jediný parameter, ktorý je pomenovaný ako výkon, nakoľko určuje výkon motoru. Pri nastavení hodnoty -100 sa rameno spúšťa v plnom výkone dole a pri rovnakej len kladnej hodnote sa rameno obdobne vyťahuje hore.

```
sub PohybRamena (int výkon) {
  RotateMotor (OUT_B, výkon, 470);
  Off (OUT_B);
}
```

Ďalšou napísanou procedúrou je **SledovanieCiary**, kde už z názvu je jasné, že sa bude jednať o procedúru, ktorá zabezpečí pohyb robota a sledovanie čiernej vodiacej čiary. Procedúra nie je nijako komplikovaná a nakoľko vieme, že vodiaca čiara bude len rovná nie je použitý žiadny špeciálny regulátor. V procedúre sa na začiatku nastaví výkon motorov na hodnotu 45 a podľa toho či je svetelným senzorom zaznamenaná biela alebo čierna plocha sa zvýši výkon príslušného motora na výkon 70.

```
sub SledovanieCiary() {
  int vzdialenost = 15;

  until (SensorUS (IN_4) < vzdialenost)
  {
    OnRev (OUT_AC, 45);

    if (SENSOR_3 < intenzita) {
      OnRev (OUT_A, 70);
      until (SENSOR_3 >= intenzita || SensorUS (IN_4) < vzdialenost);
    }

    if (SENSOR_3 > intenzita) {
      OnRev (OUT_C, 70);
      until (SENSOR_3 <= intenzita || SensorUS (IN_4) < vzdialenost);
    }
  }
  Off (OUT_AC);
}
```

Tretou a poslednou použitou procedúrou je **OtocenieRobota**. Táto slúži k otočeniu robota o 180° po tom ako úspešne vytiahne loptičku z diery. Alebo k otočeniu po tom ako sa spustí prenesená loptička na začiatku súťažnej dráhy na určenom mieste. Procedúra pozostáva z cyklov a pokynov pre jednotlivé motory. Dĺžku otáčania, chodu motorov a ich výkon som si určil viacnásobným testovaním robota na súťažnej dráhe.

```
sub OtocenieRobota () {
  int y =0;

  until (SENZOR_3 < 40) {

  while (y < 10) {

    OnRev (OUT_A, -80);
    OnRev (OUT_C, -40);
  }
}
```

```

Wait(80);
Float(OUT_AC);

Wait(75);

OnRev(OUT_A, 40);
OnRev(OUT_C, 80);
Wait(80);
Float(OUT_AC);

Wait(75);

OnRev(OUT_B, -100);
Wait(30);
Off(OUT_B);

y++;

}

// zacuvanie robota aby bol senzor na hrane diery
until(SensorUS(IN_4) < vzdialenost){
OnRev(OUT_AC, -20);
}
Off(OUT_AC);

y = 0;
}

}

```

Na začiatku hlavnej úlohy je samozrejme inicializácia jednotlivých použitých senzorov. Celé telo programu je následne zostavené z nekonečnej smyčky a vyššie popísaných procedúr.

Nachádza sa tam aj časť tvorená cyklami a pokynmi pre motory. Táto časť slúži k pootočeniu robota po spustení ramena, kvôli problému popísanému v časti 7.3 tejto bakalárskej práce. Výkon motorov a časy ich funkčnosti som zisťoval viacnásobnými pokusmi s postaveným robotom na súťažnej dráhe.

```

task main(){

ResetRotationCount(OUT_A);
SetSensorTouch(IN_1); // Senzor 1 - dotykovy
SetSensorLight(IN_3); // Senzor 3 - svetelny
SetSensorLowspeed(IN_4); // Senzor 4 - ultrazvukovy

while(true){

int x =0;
int z =0;
SledovanieCiary();
// zacuvanie robota aby bol senzor na hrane diery
until(SensorUS(IN_4) < vzdialenost){
OnRev(OUT_AC, -20);
}
Off(OUT_AC);

Wait(200);

```

```

PohybRamena (-100);

until ((SENSOR_1==1) {

//pootocenie robota
while (x<(z*15)) {

OnRev(OUT_A,-40);
OnRev(OUT_C,-80);
Wait(75);
Float(OUT_AC);

Wait(75);

OnRev(OUT_A,80);
OnRev(OUT_C,40);
Wait(75);
Float(OUT_AC);

Wait(75);

OnRev(OUT_B,100);
Wait(60);
Off(OUT_B);

x ++;

}

//vytiahnutie ramena
PohybRamena(100);

z ++;
}

// vyrovnanie robota
while (0<x) {

OnRev(OUT_A,-80);
OnRev(OUT_C,-40);
Wait(75);
Float(OUT_AC);

Wait(75);

OnRev(OUT_A,40);
OnRev(OUT_C,80);
Wait(75);
Float(OUT_AC);

Wait(75);

OnRev(OUT_B,-100);
Wait(30);
Off(OUT_B);

x --;

}

Off(OUT_AC);

```

```

OtocenieRobota ();
SledovanieCiary ()

until (SensorUS (IN_4) < vzdialenost) {
OnRev (OUT_AC, -20);
}
Off (OUT_AC);

Wait (200);
PohybRamena (-100);

Wait (250);
PohybRamena (100);
OtocenieRobota ();

}
}

```

7.5. Možné rozšírenia úlohy

Daná súťažná úloha má niekoľko modifikácií, ktoré sa dajú použiť a vytvoriť tak síce podobnú úlohu ale na ktorú bude potrebné iné konštrukčné a programové riešenie robota.

Podobné úlohy postavené na rovnakom základe:

- 1) Úlohou bude postaviť a naprogramovať robota, ktorý v čo najkratšom čase prejde postavenú súťažnú dráhu a vytiahne z nej loptičku. Následne vytiahnutú loptičku preniesie na vyznačené miesto. Vyhráva tím s najkratším časom.
- 2) Modifikáciou môže byť aj farebné rozlíšenie loptičiek. A tak môžu tímy dostávať rozny počet bodov za rôzne farebné loptičky. Medzi ktorými môže byť aj "prémiová" ktorá bude extra ohodnotená a to buď kladne alebo záporne. Táto úloha sa dá pozmeniť na to, že každý tím bude môcť vytiahnuť a následne preniesť len svoju predom určenú farbu loptičky.

7.6. Záver k súťažnej úlohe

Určenú úlohu sa mi podarilo úspešne skonštruovať a otestovať. Podrobné fotografie konštrukcie a videozáznam je prístupný na stránke www.bp-bibkodan.wz.sk.

V danej úlohe si študenti majú možnosť zlepšiť mechanické zručnosti, predstavivosť a prácu so senzormi pri skladaní vhodného robota.

Mám za to, že daná verzia súťažnej úlohy je jemne komplikovaná pre predmet "Roboti" vyučovanom na ČVUT. Preto by som navrhol obdobnú prvú variantu spomínanú v časti 7.5.

8. Webové stránky k realizovaným úlohám

Vytvorená webová stránka k zrealizovaným súťažným úlohám je www.bp-bibkoda.wz.sk. Obsah daných stránok je prebratý zo 6. a 7. kapitoly tejto bakalárskej práce. Súbor daných stránok sú pripojené a odovzdané k elektronickým prílohám.

9. Záver

Táto bakalárska práca bola písaná z pozície študenta pre študentov. V prvej časti som predstavil stavebnicu Lego Mindstorms, jej históriu a vývoj s postupom času. Popísal som druhú generáciu Lega Mindstorms, ktorá obsahuje programovateľnú inteligentnú kocku NXT. Jednotlivé senzory, prácu s nimi a elektromotory.

V teoretickej časti som sa takisto nevyhol poslednej generácii stavebnice s inteligentným programovateľným "mozgom", ktorý je pomenovaný EV3. Nezabudol som na pribalené senzory a motory, bez ktorých by nebola možná efektívna stavba robota.

Pre študentov, ktorý nemajú žiadne skúsenosti s danou stavebnicou som v poslednej časti teoretického rozboru rozobral možnosti akými sa dajú druhá a tretia generácia naprogramovať. Špecialitou generácie EV3 sú už aplikácie pre operačné systémy Android a iOS, ktorými som sa samozrejme taktiež zaoberal.

V praktickej časti som mal za úlohu navrhnúť dve špeciálne súťažné úlohy, ktoré môžu byť využité pri výučbe na Českom vysokom učení technickom v Prahe.

Prvá polovička praktickej časti pojednáva o súťažnej úlohe pomenovanej autodráha. Podarilo sa mi úspešne skonštruovať robota s prednými poháňanými kolesami. Pri využití znalosti regulačnej techniky som úspešne navrhol PID regulátor, ktorý som následne implementoval do programu. Sledovanie čiernej čiary je tak plynulé. Vytvoril som teda schopnú verziu, ktorá môže slúžiť ako inšpirácia pre študentov, ktorý sa budú zaoberať danou problematikou.

V druhej polovičke praktickej časti som mal za úlohu zostrojiť robota schopného prejsť postavenú súťažnú dráhu, na ktorej sa nachádza diera naplnená loptičkami určenými na vylovenie. V tomto prípade som zvolil náhon zadnou nápravou. S využitím svetelného senzora tak ako v predošlej úlohe som udržiaval skonštruovaného robota na vodiacej čiare. Ultrazvukový senzor mi dopomohol k identifikácii diery. Dotykový bol prospešný pre kontrolu vytiahnutia loptičky výsuvným ramenom. Úspešné zhotovenie danej úlohy pomôže študentom pri rozširovaní priestorového myslenia a mechanickej konštrukcie taktiež ako pri vylepšení programátorských schopností.

Obe úspešne skonštruované úlohy prezentujem vo vybraných fotografiách a videu na stránke www.bp-bibkoda.wz.sk, ktorá bola vytvorená za daným účelom.

Fotografie, videá a zdrojové kódy k súťažným úlohám ako aj súbory k vytvorenej webovej stránke prikladám na CD nosiči ako elektronickú prílohu.

Zoznam použitej literatúry:

- [1] Lego Mindstorms. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lego/Mindstorms>
- [2] WATTERS, Audrey. Lego Mindstorms: A History of Educational Robots. In: *Hack Education: The History of the Future of Education Technology* [online]. 2015 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://hackeducation.com/2015/04/10/mindstorms>
- [3] Rcxbrick.jpg. In: *Mrrobot: Authorized LEGO Dealer* [online]. Richmond, c2015 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.mrrobot.com/lego/imageslego/rcxbrick.jpg>
- [4] Brickset.jpg. In: *Bricker* [online]. c2013 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: http://bricker.info/images/sets/9841_brickset.jpg
- [5] Chartaaa.png. In: *National Instruments Corporation* [online]. Austin, c2015 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/cms/images/casestudies/chartaaa.png>
- [6] NXT Sensors. In: *Lego Engineering* [online]. Medfort, 2013 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.legoengineering.com/nxt-sensors>
- [7] NXT-Touch-sensor.png. In: *Lego Engineering* [online]. Medfort, 2013 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.legoengineering.com/wp-content/uploads/2013/04/NXT-Touch-sensor.png>
- [8] NXT-Sound-Sensor.png. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2012 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: [http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/9844?\\$main\\$](http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/9844?$main$)
- [9] NXT-Ultrasonic-Sensor.png. In: *Lego Engineering* [online]. Medfort, 2013 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.legoengineering.com/wp-content/uploads/2013/04/NXT-Ultrasonic-Sensor.png>
- [10] NXT-Sound-Sensor.png. In: *Lego Engineering* [online]. Medfort, 2013 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.legoengineering.com/wp-content/uploads/2013/04/NXT-Sound-Sensor.png>
- [11] NXT motor internals. In: *Philohome.com* [online]. c2000-2016 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.philohome.com/nxtmotor/nxtmotor.htm>
- [12] Servo-moteur1.jpg. In: *SwCadDb education et formation* [online]. Soustons, c2010 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://bberry.perso.neuf.fr/swcaddb/SwCadV2/servo-moteur1.jpg>
- [13] History of LEGO Robotics. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2012 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.lego.com/en-gb/mindstorms/history?ignorereferer=true>
- [14] Lego Mindstorms EV3. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, c2016 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms_EV3

- [15] HUTCHINSON, Lee. Lego Mindstorms EV3: giant robots, powerful computers. In: *Art technica* [online]. 2013 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://arstechnica.com/gadgets/2013/08/review-lego-mindstorms-ev3-means-giant-robots-powerful-computers/1/>
- [16] EV3. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2014 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: [http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45500?\\$main\\$](http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45500?$main$)
- [17] User Guide. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2014 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.lego.com/en-gb/mindstorms/downloads?ignorereferer=true>
- [18] Ultrasonic sensor. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2014 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: [http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45504?\\$main\\$](http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45504?$main$)
- [19] Light sensor. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2014 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: [http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45506?\\$main\\$](http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45506?$main$)
- [20] Gyroskopický sensor. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2014 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: [http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45505?\\$main\\$](http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45505?$main$)
- [21] Touch sensor. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2014 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: [http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45507?\\$main\\$](http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45507?$main$)
- [22] Infrared sensor. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2014 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: [http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45509?\\$main\\$](http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45509?$main$)
- [23] Remote Infrared Beacon. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2014 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: [http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45508?\\$main\\$](http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45508?$main$)
- [24] Large motor. In: *Brick instructions* [online]. c2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://mi-od-live-s.legocdn.com/r/education/-/media/lego%20education/home/images/products/mindstorms%20ev3/45502_713x380_mainproduct.png?l.r2=-1562046816
- [25] EV3 MOTOR. In: *Afrel: provide technical education with using robots* [online]. c2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.afrel.co.jp/en/archives/96>
- [26] EV3 MOTOR. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2014 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: [http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45503?\\$main\\$](http://cache.lego.com/e/dynamic/is/image/LEGO/45503?$main$)
- [27] Programovací prostředky. In: *Robosoutez* [online]. Praha, c2010 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.robosoutez.cz/index.php?sekce=home&id=news>
- [28] User Guide. In: *The Lego Group* [online]. Berkshire, c2014 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.lego.com/en-gb/mindstorms/downloads?ignorereferer=true>
- [34] Projekt č.2 - Mobilní most: Soutěžní dráha. In: *Robosoutez: Školní rok 2012/2013* [online]. Praha, c2010 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.robosoutez.cz/img/moduly01.jpg>

Zoznam obrázkov:

Obr. 2.1 Programovateľná kocka prvej generácie RCX [3].....	13
Obr. 3.1 Vnútorne prepojenie blokov v riadiacej jednotke NXT[5].....	15
Obr. 3.2 Programovateľná jednotka NXT [6].....	15
Obr. 3.3 Dotykový senzor pre NXT [7].....	16
Obr. 3.4 Odtieň šedi pre RGB u svetelného senzoru [6].....	16
Obr. 3.5 Svetelný senzor pre NXT [8].....	17
Obr. 3.6 Ultrazvukový senzor pre NXT [9].....	17
Obr. 3.7 Zvukový senzor pre NXT [10].....	18
Obr. 3.8 Interaktívny servomotor stavby Lego Mindstorms NXT [12].....	19
Obr. 4.1 Programovateľná kocka EV3 [16].....	21
Obr. 4.2 Ultrazvukový modul pre EV3 [18].....	21
Obr. 4.3 Svetelný a farebný senzor pre EV3 [19].....	22
Obr. 4.4 Gyroskopický senzor pre EV3 [20].....	23
Obr. 4.5 Dotykový senzor pre EV3 [21].....	23
Obr. 4.6 Infračervený senzor pre EV3 [22].....	24
Obr. 4.7 Vzdialený infračervený maják pre EV3 [23].....	24
Obr. 4.8 Elektromotor s označením "Large" pre EV3 [24].....	25
Obr. 4.9 Elektromotor s označením "Medium" pre EV3 [26].....	25
Obr. 5.1 Akčné bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28].....	27
Obr. 5.2 Funkčné bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28].....	27
Obr. 5.3 Senzorové bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28].....	28
Obr. 5.4 Operačné bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28].....	28
Obr. 5.5 Pokročilé bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28].....	28
Obr. 5.6 Vlastné bloky v grafickom prostredí pre programovanie EV3 [28].....	29
Obr. 6.1 Možný návrh súťažnej dráhy so súčasným štartom dvoch tímov.....	32
Obr. 6.2 Robot pre sledovanie čiernej čiary.....	33

Obr. 6.3 Predný pohľad na robota pre sledovanie čiernej čiary.....	34
Obr. 7.1 Unifikované plastové moduly pre stavbu dráhy (1-kváder, 2-lichobežník, 3-trojuholník) [29].....	39
Obr. 7.2 Varianta súťažnej dráhy.....	39
Obr. 7.3 Bočný pohľad na súťažného robota, pre vyberanie loptičiek z diery.....	40
Obr. 7.4 Detail na vyhotovenie ramena.....	41
Obr. 7.5 Detail na dotkový senzor vo vnútri čeľusti.....	42

Zoznam elektronickej prílohy:

- Elektronická verzia bakalárskej práce
- Zdrojové kódy naprogramovaných súťažných úloh
- Videozáznamy skonštruovaných robotov
- Fotografie zostrojených robotov
- Zdrojové kódy k webovým stránkam