

**STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA STROJNÍ A ELEKTROTECHNICKÁ  
ČESKÉ BUDĚJOVICE, DUKELSKÁ 13**



**NÁVRH A REALIZACE ROBOTA SLEDUJÍCÍHO ČERNOU ČÁRU  
MATURITNÍ PRÁCE**

Autor práce: **Lukáč Čížek**  
Vedoucí práce: **Bc. Jakub Kákona**  
Oponent: **Ing. Jan Janoud**  
  
Školní rok: **2012/2013**



Pro použití lineárního stabilizátoru jsem navrhl modul LINSTAB01A, jehož dokumentace je uvedena v kapitole 9. "*Dokumentace navržených modulů*".

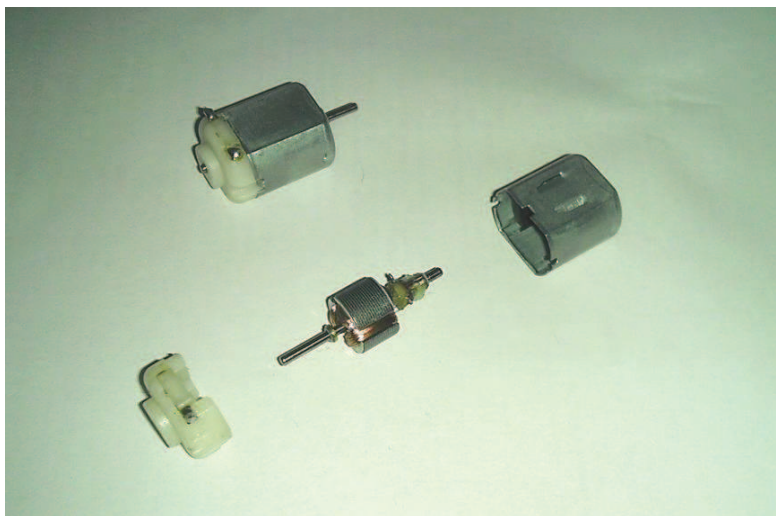
## 3.2. BUZENÍ MOTORŮ

K tomu, aby se robot mohl pohybovat jsem se rozhodl použít modelářské stejnosměrné motory s převodkou. Vybral jsem je proto, protože je poměrně jednoduché je řídit, ale také je důležitým faktem, že mají nízkou hmotnost, což umožní konstrukci robota menší hmotnosti, který poté může dosahovat vyšší rychlosti.

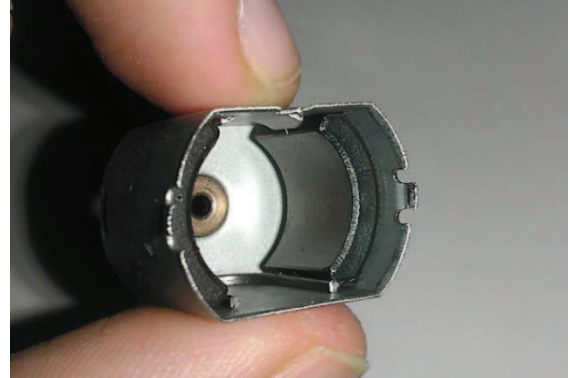
### 3.2.1. STEJNOSMĚRNÉ KOMUTÁTOROVÉ MOTORY

Stejnosiměrný motor se skládá ze dvou důležitých částí. Tou první je stator a druhou rotor. Na statoru jsou umístěny dva opačně orientované magnety, mezi něž je vložen rotor, na kterém je navinuto několik vinutí (u našeho motoru jsou tři). Velmi důležitou částí rotoru je komutátor, který zajišťuje přepínání cívek při chodu motoru.

Pro zmenšení tření je osička motoru umístěna v bronzových kluzných ložiscích, která jsou namazána vazelínou.



Na obrázku výše lze vidět složený a rozložený motorek, které jsou použity v převodovce robota. Na obrázcích na další straně je detail rotoru (vlevo) a statoru (vpravo).



## FUNKCE STEJNOSMĚRNÉHO KOMUTÁTOROVÉHO MOTORU

Na vinutí rotoru motoru je přivedeno přes komutátor napětí, které způsobí to, že cívkou (představující část vinutí) začne protékat proud, který vytvoří magnetické pole. Poté začne být tato cívka přitahována směrem k magnetu s opačnou polaritou, což způsobí rotační pohyb rotoru. Před momentem, kdy se od magnetu začne cívka oddalovat (vlivem setrvačnosti), přepojí komutátor napětí na další cívku, aby nedocházelo k brzdění pohybu (vlivem magnetické síly, která by zpět přitahovala cívku k magnetu).

Tento děj se neustále opakuje a to způsobí otáčení hřídelky, na níž je připojena převodovka.

### 3.2.2. H - MŮSTKY

Vzhledem k tomu, že motory nelze budit přímo z výstupu mikroprocesoru, musíme pro jeho spínání použít minimálně jeden tranzistor. Tímto způsobem však nelze měnit směr otáčení motoru. K tomu slouží tzv. H-můstek.

H-můstek je elektronický obvod, který slouží k přepínání pólů (a tedy i ke změně směru rotace) u stejnosměrných motorů. Dnes se lze setkat s H-můstkou realizovanou pomocí bipolárních nebo unipolárních tranzistorů, popř. může být celý můstek (nebo i více můstků) v jednom integrovaném obvodu.

H můstek si můžeme představit realizovaný pomocí čtyř elektronických spínačů, jak jsem naznačil na obrázku níže.

**Použité senzory:** optický řádkový snímač  
dva odrazové senzory reagující na modré světlo  
infračervený dálkoměr  
dva dotykové senzory tvořící nárazník

### 3.3.1. ŘÁDKOVÝ SNÍMAČ

Ke snímání čáry je nejlepší mít k dispozici co nejvíce snímacích bodů. Nejprve jsem chtěl použít fototranzistory s filtry světla, ale ukázalo se, že integrovaný AD převodník v procesoru je velmi pomalý, protože by přečtení deseti senzorů trvalo přibližně 100 ms, což je poměrně dlouhá doba a k tomu je potřeba ještě implementovat vyhodnocení a řízení motorů, a tak by nakonec jeden cyklus programu mohl trvat i 110 ms. Chci upozornit, že se jedná o přibližné hodnoty pro procesor PIC16F877 s taktem 8MHz.

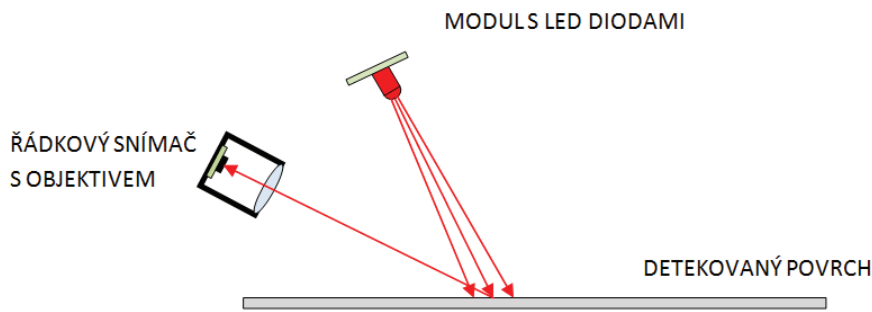
Při prohlížení různých typů senzorů jsem narazil na optické řádkové snímače (linear optical sensor array), který jsem se rozhodl použít. Jedná se v podstatě o zjednodušenou verzi kamery (má méně pixelů a pouze v jedné řadě), kterou jsem již dříve viděl na robotech na sledování čáry používat.

Pro detekci čáry jsem nakonec vybral senzor s označením TSL3301. Jedná se o řádkový senzor, který se skládá ze 102 fotodiód, vyhodnocovací logiky a interního AD převodníku. Senzor pracuje s napájecím napětím 3,0 V - 5,5 V a frekvence hodin může být až 10 MHz. Poté se přečtení celého senzoru včetně zpracování pohybuje v jednotkách ms. Senzor TSL3301 je i s veškerou vyhodnocovací logikou v integrovaném obvodu v pouzdru CL8.

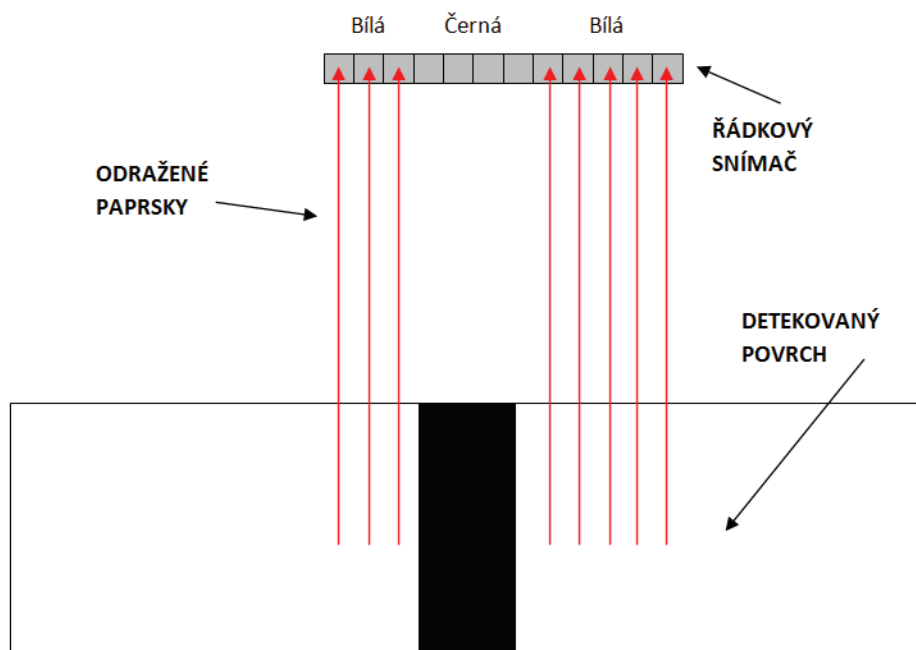
Senzor reaguje na světlo o vlnové délce 300 nm až 1100 nm, ale největší citlivost je na světlo o vlnové délce 700 nm, což odpovídá červenému světlu. Proto byl k tomuto senzoru navržen i modul na osvětlení LEDSENBAR01A. Bohužel se mi nepodařilo sehnat LED diody s vlnovou délkou 700 nm, a tak jsem použil nejbližší hodnotu - 660 nm.

Vzhledem k tomu, že osvětlení snímaného prostoru řeší sám robot, umožňuje to jízdu a správnou funkčnost i za zhoršených optických podmínek, např. v noci při zhasnutém světle.

Při použití tohoto senzoru bylo nutné vyřešit i přenos obrazu na fotodiody. Senzor jsem proto musel opatřit objektivem. K dispozici jsem měl objektiv ze scanneru čárových kódů Genius scanner 4500 A. Bylo nutné zajistit, aby při manipulaci s objektivem a modulem pro senzor TSL3301 nedošlo ke vniku prachu nebo jiných nečistot do prostoru objektivu. Senzor musí být v objektivu také uzavřen tak, aby dovnitř nevnikalo žádné světlo z okolí.



*Princip detekce řádkovým senzorem (pohled z boku)*



*Princip detekce řádkovým senzorem (pohled zepředu)*

Jak je vidět z obrázku výše, chová se řádkový senzor obdobně jako mnoho bodových senzorů v jedné linii. Pro tento senzor byl navržen modul OLSA01A. Jeho dokumentaci spolu s dokumentací k modulu LEDSENBAR01A najdete v kapitole 9. "*Dokumentace navržených modulů*".

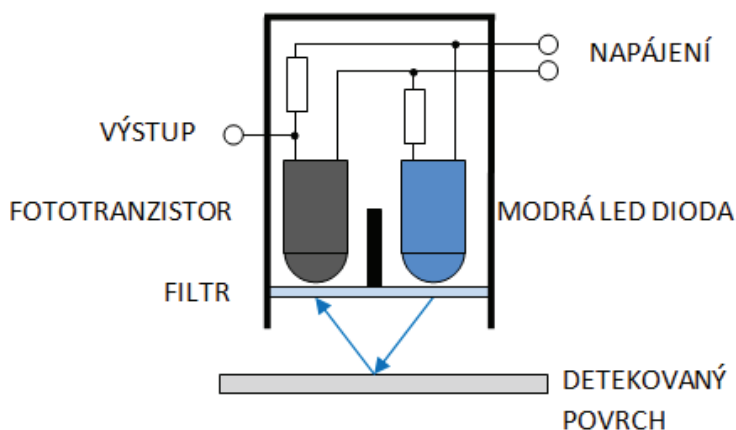
### 3.3.2. ODRAZOVÝ SENZOR

Sice jsem v podkapitole 3.3.1. "*Řádkový senzor*" psal o nevýhodnosti použití integrovaného AD převodníku procesoru v kombinaci s použitím odrazových senzorů s analogovým výstupem.

Nicméně i přes to jsem se rozhodl použít dva odrazové senzory s analogovým výstupem na robotovi. Ty slouží v případě, že robot ztratí na hlavním senzoru - TSL3301 obraz nebo nebude vidět čáru. Jedná se v podstatě o záchranný mechanismus, který robotovi umožní opětovně najít čáru nebo v případě nefunkčnosti optického čárového senzoru, čáru sledovat.

Na robotovi se tedy nacházejí dva záchranné senzory. Pochází z inkoustové tiskárny, kde se používají ke zjištění kvality papíru. K tomu využívají viditelného světla modré barvy. Mechanická konstrukce senzoru je velmi jednoduchá a samotný senzor se skládá pouze z fototranzistoru, odporu, modré LED diody a filtru modrého světla s čočkami. Senzory jsou obaleny černou samolepící páskou, aby se zamezilo pronikání okolního světla k fototranzistoru. Zároveň izolepa slouží jako stínítko pro detekční prostor.

Detekce probíhá tak, že se měří napětí na děliči tvořeným z fototranzistoru a odporu. Mechanické uspořádání a princip detekce je znázorněný na obrázku dole.



*Konstrukce a princip detekce záchranného odrazového senzoru*

### 3.3.3. DOTYKOVÝ SENZOR

Dotykový senzor je na robotovi implementován ze dvou důvodů. Prvním je detekce nízkých překážek. Druhým důvodem je interakce s člověkem, protože při zapnutí robota si lze vybrat režim sledování čáry nebo diagnostiku pro ověření funkčnosti senzorů a motorů.

Jeden programový cyklus spustí diagnostiku, kdy dochází k výpisu všech senzorů na USB a lze pomocí toho zjistit, zda je vše v pořádku a na základě těchto dat odhalit např. vzniklou závadu. Druhý programový cyklus spustí proceduru sledování čáry. O těchto cyklech se podrobněji rozeptí v kapitole 4. "Řídící program".

Dotykový senzor je proveden jako nárazník v přední části robota. Skládá se ze dvou mikropínačů, z nichž každý je na jedné straně robota, a dvou pull-up rezistorů, které přivádí na senzor napětí 5 V. Spínací tlačítka jsou spojeny s plechovým profilem, který tvoří nárazník. Tato konstrukce umožňuje zjistit, zda se jedná o čelní náraz nebo zda robot pouze o něco zavadil na jedné ze strany.

Pokud spínač není sepnutý (tj. není stisknutý nárazník), je na výstupu senzoru 0 V - logická 0 (potenciál GND). V případě, že dojde k sepnutí, přivede se přes odpor na výstup napětí 5 V - logické 1. Výstup je tedy kompatibilní s logikou TTL i CMOS. Výstup ze senzoru je přímo připojen na digitální vstup mikroprocesoru.

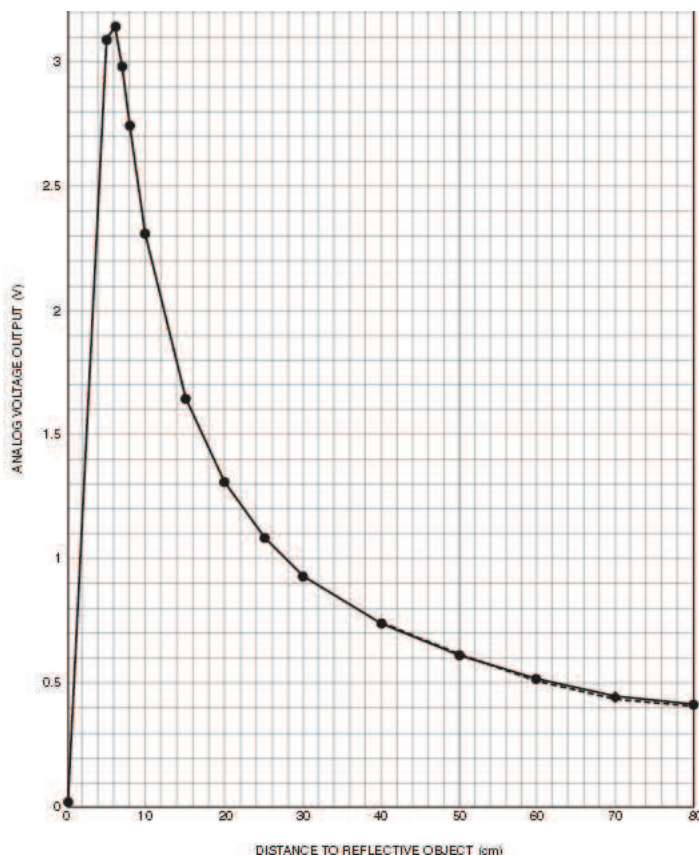
### 3.3.4. INFRAČERVENÝ DÁLKOMĚR

Před robotem se mohou na dráze objevit různé překážky, které je nutné včas detekovat, aby robot nenarazil a nepoškodil se. K tomuto účelu jsem vybral senzor SHARP GP2Y0A21YK.

Senzor se skládá z infračervené LED diody, CCD řádky a řídicí a vyhodnocovací logiky. Infračervená dioda slouží jako vysílač infračervených paprsků, které se poté odrážejí od překážky a dopadají na CCD řádku, jak je znázorněno na obrázku níže.

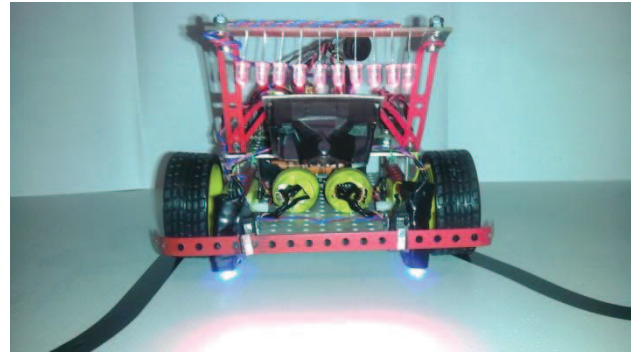
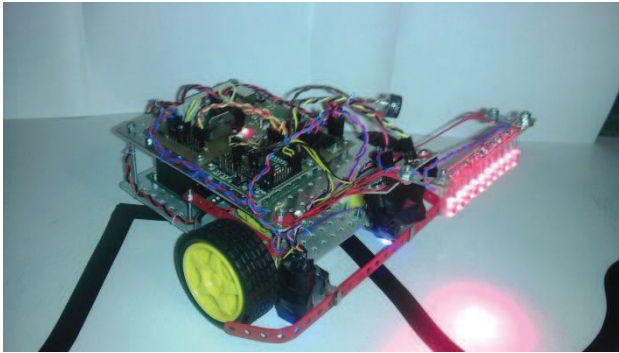


Vyhodnocovací logika poté na základě triangulace přepočte změřenou vzdálenost na napětí. Proto má senzor pouze tři vývody, z nichž dva jsou napájecí a třetí je analogový, kde výstupní napětí odpovídá vzdálenosti překážky a pohybuje se v mezích 0 - 3,3 V. Závislost výstupního napětí není lineární, ale má tvar exponenciály.

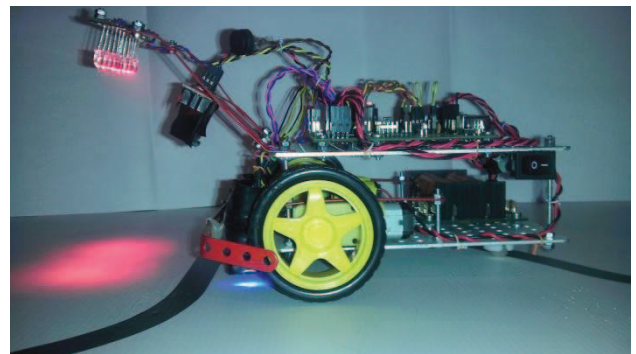
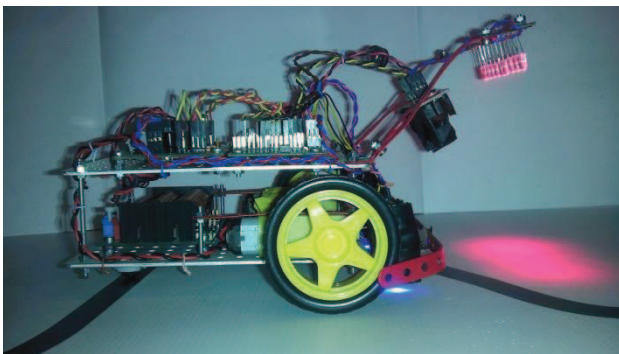


Výrobce udává, že se senzorem lze měřit ve vzdálenosti 4 - 30 cm, ale praktické pokusy ukázaly, že vzdálenost, kde senzor pro naše účely ještě spolehlivě měří, je přibližně dvojnásobná (50 - 60 cm).

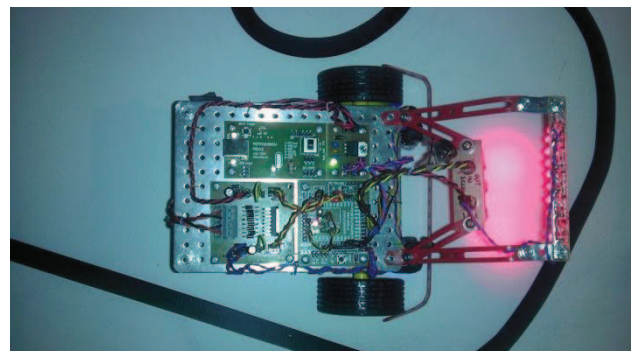
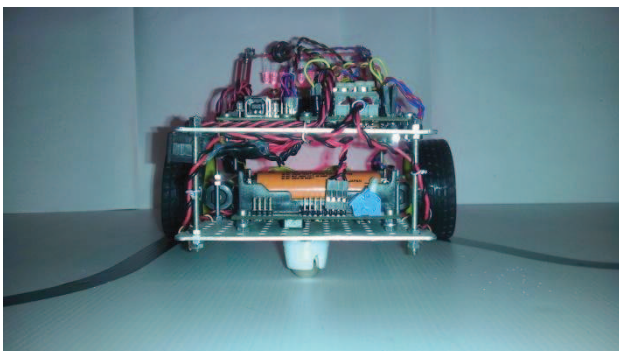




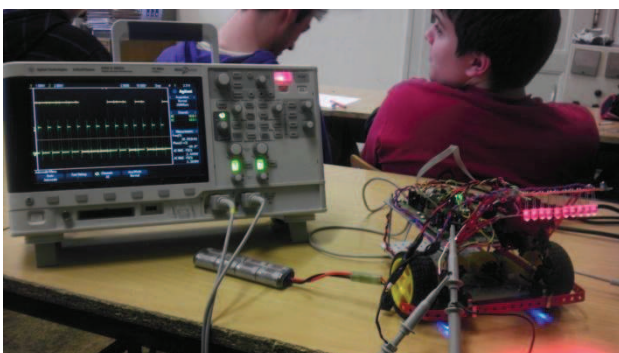
*Celkový pohled na robota (vlevo) a pohled zepředu (vpravo)*



*Pravá strana robota (vlevo) a levá strana robota (vpravo)*



*Pohled zezadu (vlevo) a pohled shora (vpravo)*



*Test funkčnosti optického řádkového senzoru (vlevo) a detail průběhu (vpravo)*

## 6. ZÁVĚR

Při řešení maturitní práce jsem prozkoumal problematiku týkající se sensoriky, řízení a konstrukce robota sledujícího černou čáru na kontrastním - bílém podkladě. Zaobíral jsem se zejména nad problematikou užití optického řádkového senzoru, který se jeví jako sofistikovanější řešení pro snímání černé čáry, než jsou jednoduché bodové senzory.

Výsledkem této práce je prototyp robota sledujícího černou čáru. Tento robot všemi parametry odpovídá zadání a požadavkům na něj. Vyzdvihl bych zejména kompatibilitu se stavebnicí MLAB, která umožňuje použít robota v kombinaci s dalšími moduly, a tak jej rozšířit o mnoho dalších funkcí, nebo použít moduly navržené pro tohoto robota i k jiným účelům.

Podle dokumentace přiložené k této práci lze sestavit shodný typ robota a použít jej například k výuce na středních i vysokých školách nebo na mezinárodní soutěže, jako je např. Robotchallenge ve Vídni nebo Istrobot v Bratislavě.

Přínosem této práce je vytvoření důležitých modulů do stavebnice MLAB, které mohou sloužit při sestrojování mobilních robotů (např. OLSA01A a HBRDGL29801A) i dalších elektronických zařízení. (např. LION2CELL01A).