

Kráčajúci mobilný robot Cricket

Juraj Kostroš
FEI STU
Jukos3@gmail.com

Abstrakt

Práca sa zaoberá problematikou kráčajúcich mobilných robotov, návrhom staticky stabilnej mechanickej konštrukcie kráčajúceho robota, riadiacej elektroniky, algoritmu riadenia pohybu nôh, autonómnym a inteligentným správaním robota.

Úvod

Robotika je v poslednej dobe veľmi dynamicky sa rozvíjajúce odvetvie. Moderné priemyselné roboty uľahčujú ťažkú, namáhavú a často nebezpečnú prácu, ale v bežnej domácnosti nie je ich použitie možné. Tu nastupujú mobilné roboty. Dnes už existuje mnoho ich implementácií ako napr. vysávače, kosačky, hračky a iné. Táto práca sa zaoberá komplexným návrhom šesťnohého kráčajúceho mobilného robota, jeho mechanickej, elektroniky, snímače a riadenie.

1. Výhody a nevýhody kráčajúcich robotov.
2. Statická a dynamická stabilita kráčajúcich robotov .
3. Mechanická konštrukcia
4. Pohonný subsystém
5. Senzorický subsystém
6. Riadiaci subsystém
7. Algoritmy pohybu

1. Výhody a nevýhody kráčajúcich robotov

V súčasnosti sú kráčajúce lokomočné systémy v oblasti mobilnej robotiky druhou najrozšírenejšou alternatívou riešenia pohybového subsystému po kolesových podvozkoch. Oproti kolesovým a pásovým systémom majú niekoľko výhod, ktoré im umožňujú praktické využitie tam, kde iné typy podvozkov nie je možné použiť.

1.1 Výhody:

- Prekonávanie relatívne vysokých prekážok.
- Pohyb po schodoch.
- Pohyb po extrémne členitom povrchu
- Zdolávanie príkrych svahov
- Plynulý pohyb po značne zložitom teréne
- Vysoká priechodnosť
- Menšie poškodenie mäkkého podlažia

1.2 Nevýhody:

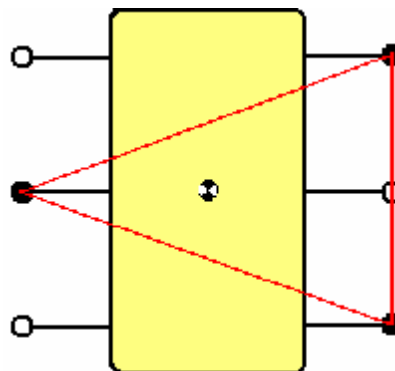
- Vyšší počet stupňov voľnosti.
- Vyšší počet akčných členov.
- Zložitejší riadiaci systém.
- Zložitejšia mechanickej konštrukcia.
- Zložitejšie algoritmy riadenia.
- Typicky umožňujú pomalší pohyb ako kolesové roboty.

2. Statická a dynamická stabilita

Kráčajúci robot je staticky stabilný ak je jeho stabilita zachovaná v každom časovom okamihu jeho pohybu. Formálne môžeme povedať že statická stabilita je zaistená ak je projekcia ťažiska robota vo všetkých časových okamihoch vo vnútri konvexného polygónu definovaného nohami (Obr.1), ktoré sa aktuálne dotýkajú podložky. Ak je u robota zaistená statická stabilita má výhodu v tom, že sa nemôže prevrhnúť ani pri chybách vzniknutých pri nevhodnom synchronizovaní pohybu jednotlivých končatín, alebo pri nerovnakom kontakte končatín s povrchom vplyvom nerovnosti povrchu, či dokonca pri uviaznutí niektorej končatiny.

Ak je robot udržiavaný v riadenej chôdzi a pritom neodpovedá definícii statickej stability, hovoríme, že ide o stabilitu dynamickú. Je teda evidentné že pre dynamickú stabilitu medzi staticky stabilnými momentmi je nutné využiť zotrvačnosť hmoty, čo zvyčajne znamená komplikácie pri návrhu a tvorbe kráčajúceho mechanizmu.

Obr.1. Usporiadanie staticky stabilnej konštrukcie kráčajúceho mobilného robota

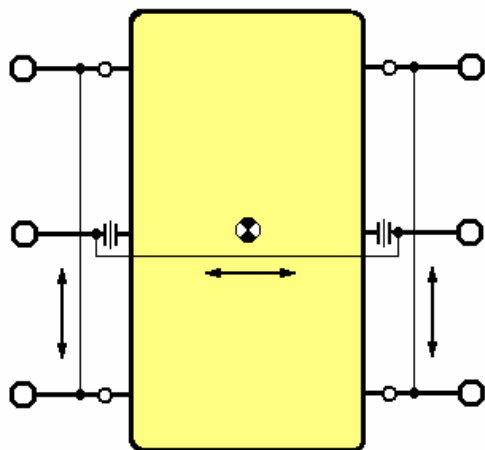


Pri šesť a viacnohých robotoch nie je potrebný presun ťažiska aby boli staticky stabilné, je to dané ich konštrukciou. Statická stabilita je jednoduchšia pri prevedení, ale limituje postavenie tela robota, maximálnu rýchlosť a rozsah pohybu.

3. Mechanická konštrukcia

Robota má šesť nôh čo má za následok, že jeho konštrukcia je staticky stabilná. Každá noha má iba jeden stupeň voľnosti a preto nohy musia byť navzájom prepojené tiahľami. Tento typ usporiadania kinematiky šesťnôhého robota bol vyvinutý na MIT. Prepojenie nôh možno vidieť na obrázku (Obr.2.) Predná pravá a zadná pravá noha sú prepojené tiahľom, tak isto je to aj na ľavej strane. Stredná ľavá a stredná pravá noha sú taktiež prepojené tiahľom. Toto usporiadanie má veľkú výhodu v tom, že na pohyb stačí použiť iba tri pohony.

Obr.2. Prepojenie nôh tiahľami



4. Pohonný subsystém

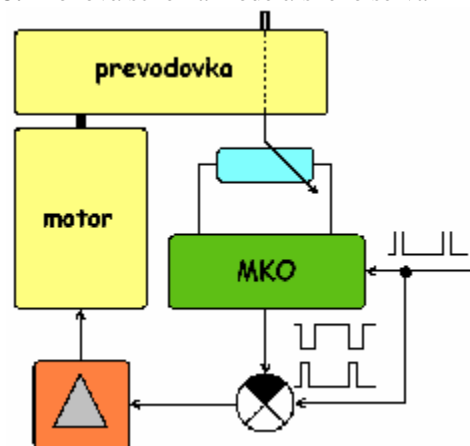
Ako pohonný subsystém som zvolil modelársky servopohon, (ďalej servo) lebo je pomerne lacný a spoľahlivý. Štandardné typy poskytujú krútiaci moment okolo 30Ncm/4,8V prípadne až 40Ncm/6V Servo obsahuje jednosmerný motor prevodovku a z výstupným hriadeľom spriahnutý miniatúrny potenciometer, použitý ako senzor uhlu natočenia, pre regulačný obvod polohy. U menších a lacnejších serv je potenciometer pripojený priamo na výstupný hriadeľ. U serv vyšších kategórii je pripojený cez zvláštny prevod (tzv. nepriamy náhon), ktorý veľmi dobre chráni pred prenosom vibrácií. Požadovaná hodnota natočenia výstupného hriadeľa je vo forme PWM signálu s úrovňou TTL (pulse wide modulation – impulzne šírková modulácia).

PWM signál je taký, ktorý ma konštantnú amplitúdu a mení sa len šírka impulzu. Na riadenie seva je potrebná perióda 20ms a šírka impulzu v rozpätí od 1 až 2 ms. Šírka impulzu 1ms zodpovedá maximálnemu ľavému

natočeniu a 2 ms maximálnemu pravému natočeniu výstupného hriadeľa. Stredná poloha hriadeľa je pri šírke impulzu 1,5 ms. Rozsah uhlu natočenia býva u väčšiny servomotorov 180°. Poloha výstupného hriadeľa je mimo tento rozsah mechanicky aretovaná v prevodovke. Prevodový pomer učuje pomer medzi rýchlosťou a ťahom serva. Bežné je, že sa serva vyrábajú vo dvojiciach, ktoré majú rovnaký motor a elektroniku, ale líšia sa prevodmi - napr. serva Hitec HS-625 a HS-645 Jedno z nich ponúka vyšší krútiaci moment pri nižšej rýchlosti, druhé má zvýšenú rýchlosť na úkor momentu. Prevody sú najčastejšie plastové, pre väčšie zaťaženie a väčšiu spoľahlivosť sa používajú kovové.

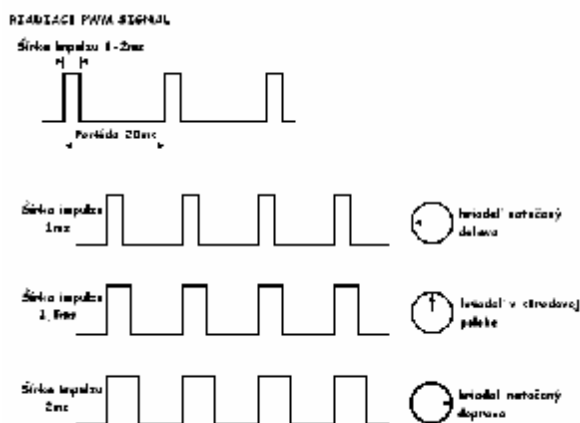
Dnešné modelárske servá obsahujú elektromotor s prevodovkou a riadiacou elektronikou. Zjednodušené zapojenie elektroniky je na blokovej schéme. Do vstupu prichádza riadiaci impulz, viď obr. 3., ktorý spustí monostabilný klopný obvod, ten vygeneruje impulz o dĺžke zodpovedajúcej momentálnej polohe serva a opačnej polarite ako je vstupný riadiaci impulz. Tieto dva impulzy sa porovnávajú a výsledkom je rozdielový impulz, ktorý po zosilnení cez mostíkový spínač spôsobí roztočenie elektromotora jedným, alebo druhým smerom. Elektromotor cez prevodovku otáča výstupným hriadeľom a súčasne aj potenciometer, ktorý pôsobí ako spätná väzba do monostabilného klopného obvodu. Smer otáčania je taký, že impulz generovaný monostabilným klopným obvodom sa svojou dĺžkou približuje dĺžke vstupného riadiaceho impulzu a keď sú obidva impulzy rovnako dlhé, elektromotor sa zastaví. Servo dosiahlo polohu, ktorá zodpovedá momentálne prijímanému riadiacemu impulzu.

Obr. 3. Blokovaná schéma modelárskeho serva



Toto je klasický spôsob riadenia modelárskeho servopohonu. V tejto aplikácii sa servo v rozsahu 0-180° čo vyhovuje naším požiadavkám a nemusíme servo modifikovať.

Obr.4. Riadiaci signál PWM a závislosť natočenia hriadeľa serva od riadiaceho impulzu.



5. Senzorický subsystém

Robot má 4 druhy snímačov:

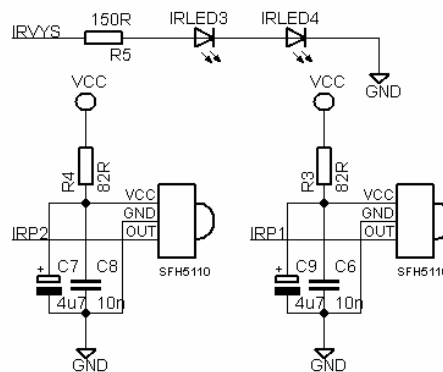
- Impulzne modulované IR snímače prekážok,
- Fotoelektrické snímače,
- Snímač napätia akumulátora
- Ultrazvukový snímač

5.1. Impulzne modulovaný IR snímač prekážok

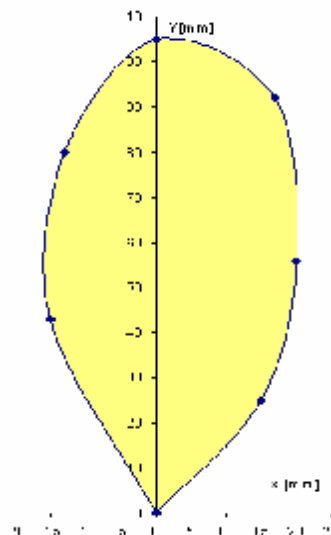
Infračervený detektor prekážok (IR detektor/senzor) slúži na detekovanie prekážok v blízkom okolí robota, rádovo desiatky centimetrov, nazýva sa „Near proximity sensor“. Tieto snímače sú citlivé v oblasti vlnových dĺžok pod viditeľným svetlom, najčastejšie okolo vlnovej dĺžky 880 nm a sú necitlivé na svetelné žiarenie iných vlnových dĺžok. Princípom IR snímača prekážok je detekcia odrazeného infračerveného svetla od prekážky. Toto svetlo je emitované infračervenou (ďalej IR) LED diódou. Ako senzor býva použitý fototranzistor citlivý v infračervenej oblasti (IR tranzistor), alebo IR fotocitlivá dióda. Tento snímač poskytuje dvojhodnotový signál - detekuje odrazený IR signál, nedetekuje odrazený IR signál, respektíve detekuje prekážku/nedetekuje prekážku. Nevýhodou IR snímačov pracujúcich na princípe detekcie odrazeného IR svetla je, že množstvo odrazeného svetla je závislé na farbe prekážky a druhu povrchu. Pre úplnosť dodajme, že intenzita emitovaného (a samozrejme i odrazeného) IR svetla je nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti. V praxi je z pravidla IR fototranzistor nahradený, respektíve doplnený špecializovaným IR prijímačom s integrovaným demodulátorom, zosilňovačom a filtrom (ako napr. Sharp GP1U52X, Siemens SFH506, SFH5110 apod.). Výhodou týchto modulov (vďaka zabudovanému demodulátoru) je, že sú citlivé iba na modulované IR žiarenie o určitej vlnovej dĺžke generovanej IR LED (vysielačom). Modulačný kmitočet býva najčastejšie 36, 38, 48 a 56 kHz. Dôvodom použitia modulácie je eliminovanie vplyvu IR žiarenia v okolí robota. Vzhľadom k vyššie uvedenému princípu využívajúceho modulované infračervené svetlo je potreba buď napájať IR LED modulovať. To je v zásade možné riešiť

hardwarovo, alebo softwarovo. Použitie modulovaného svetla je v praxi nevyhnutné, kvôli vysokým hodnotám okolitého IR žiarenia. V našom prípade moduláciu IR žiarenia robíme softwarovo a to pomocou PWM kanálu mikrokontroléra.

Obr.5. Infračervené snímače spolu s vysielacími



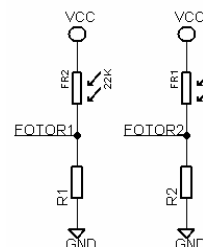
Obr.6. Reálna smerová charakteristika infračerveného snímača prekážok



5.2. Fotoelektrické snímače

Ako fotoelektrický snímač je použitý fotorezistor ktorý má odpor 4-12k-10lux/300kOhm-0lux.

Obr. 7. Fotoelektrické snímače osvetlenia



Je zapojený ako delič napätia spolu s rezistorom a pomocou A/D prevodníka mikrokontroléra sa meria napätie na deliči. Podľa veľkosti napätia určujeme intenzitu okolitého osvetlenia. Aby sme mohli tento typ snímača použiť na sledovanie zdroja svetla, tak potrebujeme dva snímače vedľa seba a vyhodnocovať

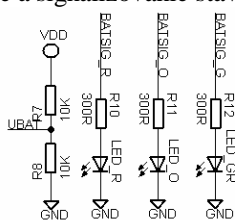
vzájomnú diferenciu medzi snímačmi a na jej základe určovať ktorým smerom sa má robot natočiť aby sledoval zdroj svetla.

5.3. Snímač napätia akumulátora

Pri návrhu senzorového systému mobilného robota nesmie chýbať snímač napätia akumulátorov. Od veľkosti napätia na batérii vieme zistiť koľko elektrickej energie sa v nachádza v akumulátoroch. Snímač je realizovaný ako delič napätia z dvoch 10KΩ rezistorov ktoré sú pripojené priamo na akumulátor a stred deliča je privedený do A/D prevodníka mikrokontroléra. Stav akumulátorov signalizujeme trojicou LED.

- zelená = kapacita batérie >50%
- oranžová = kapacita batérie je v intervale 30-50%
- červená = kapacita batérie <30%

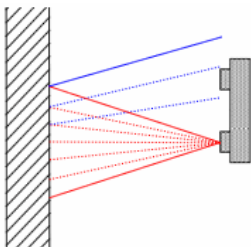
Obr. 8. Snímanie a signalizovanie stavu akumulátorov



5.4. Ultrazvukový snímač

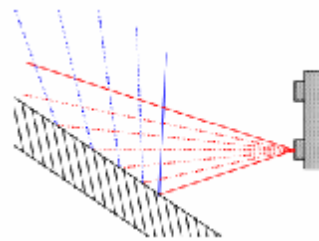
Princíp merania vzdialenosti k prekážke je založený na princípe merania doby medzi vyslaním akustického signálu a prijatím odrazeného akustického signálu - echa.

Obr.9. Detekovanie prekážky ultrazvukovým snímačom



Najbežnejšia frekvencia akustického signálu sú hodnoty nad 40 kHz. Takéto snímače sú označované ako ultrazvukové sonary, prípadne len sonary. Vďaka relatívne nízkej rýchlosti zvuku (vo vzduchu) je doba medzi vyslaním a prijímaním signálu výrazne vyššia než u radarových, laserových a IR snímačov. Preto možno dosiahnuť relatívne vysokú presnosť merania i bez extrémnych nárokov na vyhodnocovacie obvody. Vďaka tomu je ich cena pomerne nízka, ale perioda meraní je vyššia (0,1 s). Nevýhodou je vysoké tmenie ultrazvukového signálu, čo omeďzuje praktický dosah na desiatky metrov, bežne do cca 10m. Vzhľadom k pomere širokému rozptylu tohoto signálu nie je možno prekážku detekovať celkom presne čo sa týka jej úhlovej pozície. Ďalším problémom býva odraz ultrazvukového signálu, ktorý dopadá na hladký povrch prekážky pod ostrým úhľom (nazýva sa zrkadlový odraz).

Obr.10. Zrkadlový odraz od prekážky



V takomto prípade sa signál odrazí ďalej smerom od sonaru a zopetne sa odrazí až od vzdialenejšej prekážky. Sonarom je potom detekovaná vzdialenejšia prekážka. Preto by malo byť časové oneskorenie medzi jednotlivými meraniami väčšie ako oneskorenie odpovedajúce maximálnemu dosahu sonaru. Nezanedbateľný je i vplyv teploty vzduchu na rýchlosť šírenia zvuku. Pre teplotu $t = 0^{\circ}\text{C}$; $v = 331 \text{ m/s}$ a pre $t = 25^{\circ}\text{C}$; $v = 343 \text{ m/s}$.

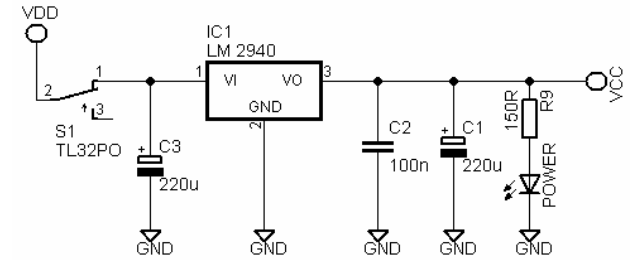
5.4.1. Ultrazvukový snímač SRF08

Sonar SRF08 bol predstavený v roku 2002. Je vhodný pre meranie vzdialenosti i k viacerým prekážkám, dokáže totiž vyhodnotiť viacnásobné echo v nastaviteľných rozsahoch, pričom najdlhší rozsah je približne 11m. Jednou z predností zmieneneho sonaru je jeho priemerná spotreba – 15 mA/5 V. Oproti spotrebe jeho predchodcu SRF04 (50 mA/5 V), poprípade sonaru rady Polaroid 6500 (300 mA/5 V), v robotike doteraz často používaným, je veľmi malá. Vďaka tomu možno jednoducho napájať väčší počet týchto snímačov z malého zdroja napätia (batéria, akumulátor). Navyiac sa sonar môže po ukončení merania a pri čakávaní na ďalšie meranie, príkazom prepnúť do pohotovostného režimu, v ktorom odoberá zo zdroja prúd len 3mA. Modul dokáže vyhodnotiť viacnásobný odraz (echo) a uchováva až šesťnásť ech (umožňuje napr. merať cez otvorené dvere – obr. 4). Ďalej dokáže v móde ANN (Artificial Neural Network) zmerať hodnoty spracovať a poskytnúť ich v tvare ve vhodnom pre vyhodnotenie neuronovou sieťou. Modul komunikuje po zbernici I2C a je možné softwarovo meniť jeho adresu. Sonar priamo poskytuje všetky požadované informácie, teda vzdialenosť k prekážke (prekážkam) už v konečnej číselnej podobe. V sonare SRF08 je navyiac zabudovaný snímač osvetlenia, ktorého analogový výstup je digitalizovaný zabudovaným A/D prevodníkom, ktorým je vybavený použitý mikroprocesor PIC16F872. Intenzita osvetlenia je vyhodnocovaná behom každého merania vzdialenosti. Modul SRF08 obsahuje celkom 36 registrov. Register 0 je príkazový, registr 1 je vyhradený pre zosilnenie snímača osvetlenia. Ďalšie registre obsahujú údaje o jednotlivých echách (pre každé echo sú určené dva registre). Zápisom príslušného kódu do príkazového registra sa nastavuje jeden z dvoch módoov činnosti modulu, t.j. meranie vzdialenosti alebo ANN, a zároveň sa spustí vlastné meranie.

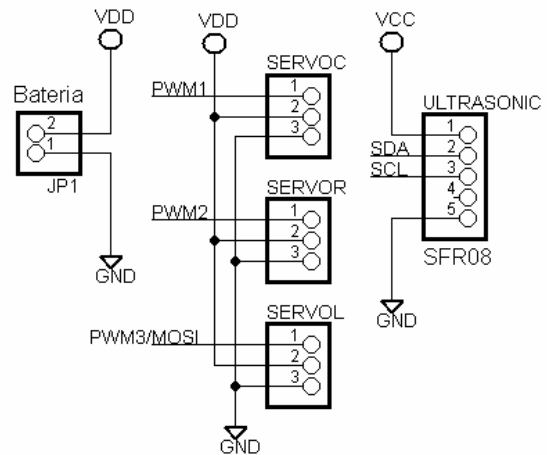
Obr.11. SRF08 a jeho smerová charakteristika



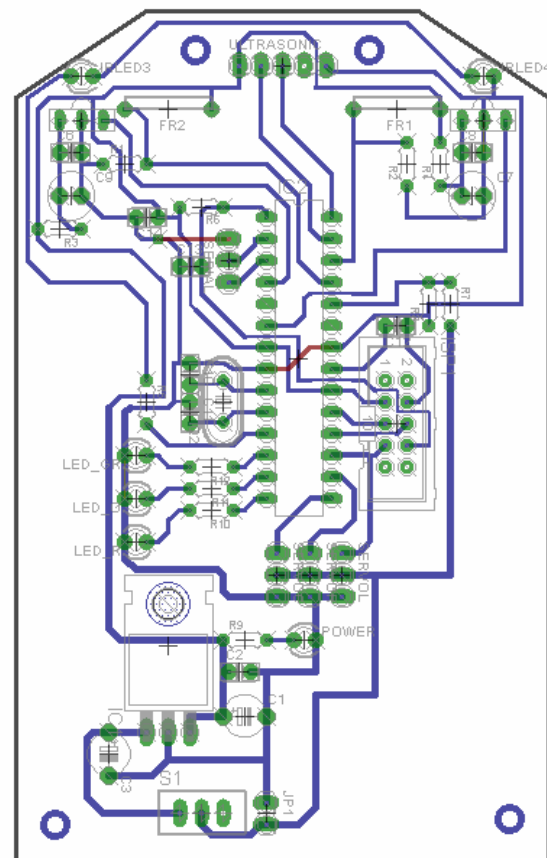
Obr.13. Schéma zapojenia stabilizátora napätia



Obr.13. Pripojenie SRF08, servomotorov a batérie



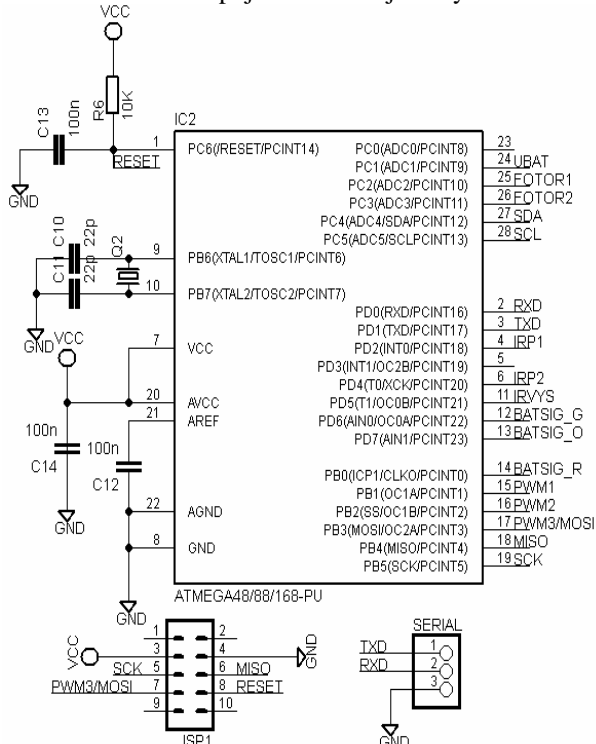
Obr.14. DPS robota



6. Riadiaci subsystém

Riadiaci subsystém je realizovaný Mikrokontrolérom Atmel ATmega168 v prevedení DIP28, ktorý pracuje na taktovacej frekvencii 20 MHz. Použitý je externý oscilátor tvorený kryštálom Q2 a kondenzátormi C10 a C11. Resetovací obvod sa skladá z R6 a C13 po zapnutí napájania sa nabíja C13 cez rezistor R6, čo má za následok udržanie resetovacieho pinu mikrokontroléra v log.0. Programovanie procesora je realizované pomocou ISP (In System Programming) programátora, pripájame ho cez konektor ISP1. Keďže využívame A/D prevodník mikrokontroléra je nutné mu určiť napäťovú referenciu, v našom prípade je to napájacie napätie a na pin Aref pripojíme 100n kondenzátor voči zemi. Procesor môže komunikovať s počítačom pomocou USART a tak robot môže posielat' nazbierané informácie na ďalšie spracovanie, prípadne môžeme robota ovládať. Procesor vyhodnocuje podnety z okolia, ktoré dostáva zo senzorickeho subsystému, a na ich základe stanoví pohybový algoritmus.

Obr. 12. Schéma zapojenia riadiacej dosky.



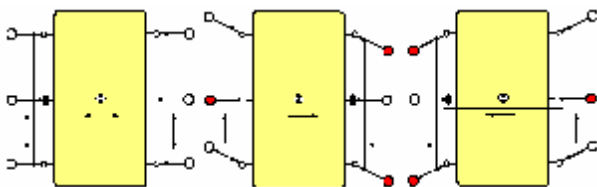
7. Algoritmy pohybu

Robot má tri stupne voľnosti, čiže musíme riadiť tri servopohony. Predné a zadné nohy na jednotlivých stranách sú navzájom prepojené tiahkami a taktiež sú prepojené aj stredné nohy. Tiahla sú prepojené s výstupnými hriadeľmi servopohonov. Pre priamu chodu vpred je algoritmus nasledovný.

1. Centrálné servo sa natočí doprava, čo má za následok nadvihnutie robota pri nadvihnutí sa nohy na pravej strane natočia smerom dozadu a nohy na ľavej strane na natočia smerom dopredu. (Obr.15.)
2. Centrálné servo sa natočí doľava, čo má za následok nadvihnutie robota pri nadvihnutí sa nohy na ľavej strane natočia smerom dozadu a nohy na pravej strane na natočia smerom dopredu. (Obr.15.)

Tieto kroky cyklicky opakujú a medzi jednotlivými krokmi sa sledujú údaje z jednotlivých snímačov prekážok, aby robot bol schopný včas reagovať na prekážky v jeho okolí.

Obr.15. Algoritmus pre pohyb vpred

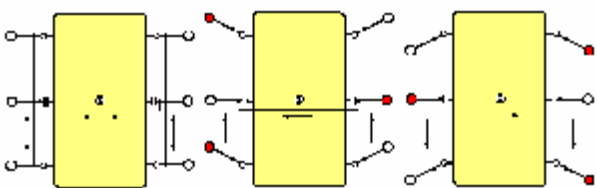


Ak robot detekuje prekážku, ktorú nie je schopný prekonať je potrebné aby sa jej vyhol. Algoritmus pre zmenu smeru je nasledovný:

1. Centrálné servo sa natočí doľava, čo má za následok nadvihnutie prevej strany robota. Nohy na ľavej strane sa natočia dopredu a tým robota pootočíme okolo pravej strednej nohy smerom doľava. Potom natočíme nohy na pravej strane dopredu (Obr.16.)
2. Centrálné servo sa natočí doprava, čo má za následok nadvihnutie ľavej strany robota. Nohy na prevej strane sa natočia dozadu a tým robota pootočíme okolo ľavej strednej nohy smerom doľava. Potom natočíme nohy na pravej strane dozadu. (Obr.16.)

Tieto kroky sa cyklicky opakujú toľkokrát pokiaľ robot nemá pred sebou voľnú cestu.

Obr.16. Algoritmus pre zatočenie doľava



Algoritmus pre zatáčanie doprava je podobný ako na zatáčanie doľava, podstata je v tom, aby sa robot otáčal

okolo strednej nohy požadovaným smerom. Na obrázkoch sú vyfarbené koncové body nôh ktoré sú v kontakte s podložkou po ktorej sa robot pohybuje. Aplikovaním braintenbergových algoritmov vieme dosiahnuť pomerne sofistikované správanie.

8. Záver

Projekt chce ukázať, že aj pri relatívne jednoduchom riadení a konštrukcii vieme dosiahnuť pomerne komplexné prejavy inteligencie robota a dobrú dostupnosť v teréne. Tento projekt má ľuďom ukázať, že robotika má svoju budúcnosť a aj to, že roboty môžu mať viac ľudských vlastností ako by sa od nich dalo očakávať. Chcel by som pokračovať ďalej vo vývoji a to použitím neurónových sietí pri mapovaní prostredia v ktorom sa robot nachádza. Ďalej by som chcel použiť aj iné typy snímačov, ako napríklad elektronický kompas, gyroskop, aby modeli správania mohli byť oveľa komplexnejšie a nevypočítateľné.

9. Odkazy na literatúru

- [1] Petr Novák, Mobilní roboty-pohony,senzory,riadenie BEN-technická literatúra, Praha 2005
- [2] <http://www.societyofrobots.com/>
- [3] <http://chiumanfu.solarbotics.net/>
- [4] http://matescb.skvorskmal.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdf
- [5] <http://www.mcs.alma.edu/LMICSE/LabMaterials/AlgoComp/Lab5/AlgCoL5.htm>
- [6] <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf08tech.shtml>
- [7] http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_docu ment=32330