

Robot pre inšpekciu rozmerovo obmedzených priestorov

Michal Kelemen, Róbert König

Abstrakt

Článok predstavuje návrh a konštrukčné zhotovenie inšpekčného robota určeného pre rozmerovo obmedzené priestory ako sú podvozky áut, vetracie systémy, potrubné systémy a pod. Kolesa podvozku robota sú poháňané servomotormi, ktoré sú ovládané mikropočítačom. Článok tiež obsahuje aktuálny stav vývoja robota a ďalšie plánované kroky.

Kľúčové slová: Robot, mechatronika, inšpekcia, servomotor

Úvod

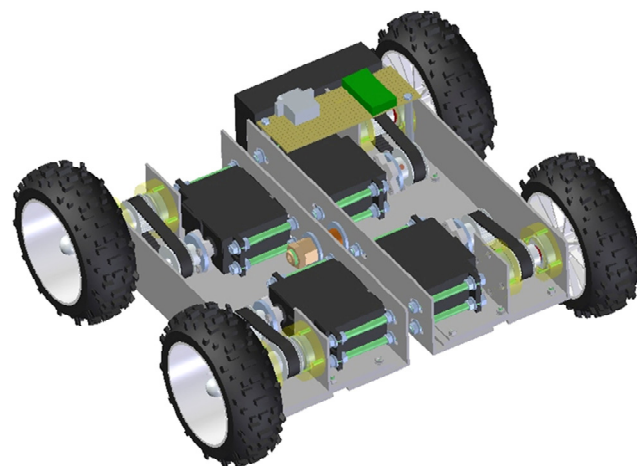
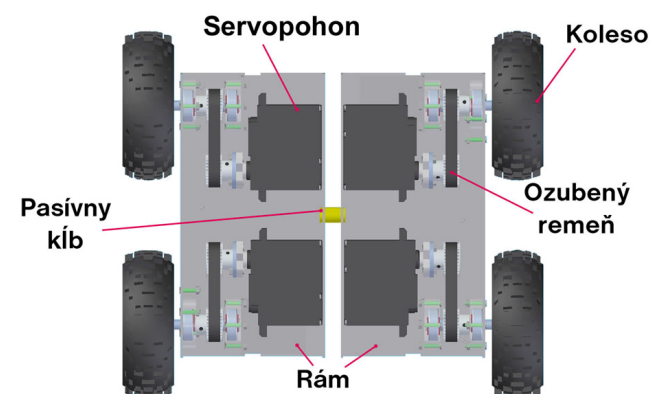
Cieľom tohto článku je predstaviť konštrukciu inšpekčného robota GTR 2006, ktorý vznikol na pracovisku Katedry aplikovanej mechaniky a mechatroniky, Strojníckej fakulty, Technickej univerzity v Košiciach. Úlohou bolo navrhnuť a vytvoriť zariadenie, ktoré by bolo možné použiť na rôzne špeciálne úlohy ako sú inšpekcia podvozkov áut a odstraňovanie výbušnín, kontrola potrubia, dutín a ťažko prístupných miest, manipulácia s nebezpečnými materiálmi, inštalácia telekomunikačných a káblových sietí, taktické úlohy v boji proti teroristom a iné. Zariadenie by malo byť zároveň využívané ako didaktická pomôcka pri výučbe študentov študijných odborov Mechatronika a Všeobecné strojárstvo. Keďže ide v prvom rade o didaktickú pomôcku hlavný dôraz pri návrhu a realizácii zariadenia bol kladený na vysokú mieru variability a odolnosti proti poškodeniu pri nesprávnej manipulácii [1].

1. Opis funkcií robota

Základ samotného zariadenia (obr. 1) tvorí rám podvozku zložený z dvoch dielov spojených pasívnym kĺbom. Podvozok robota GTR 2006 má 4-kolesový pohon, ktorý aj pri členitom povrchu terénu nestráca trakciu vďaka pasívnemu kĺbu. Ten dovoľuje obidvom dielom rámu ľubovoľne sa naklápať v závislosti od zložitosti terénu. Rám vozidla je zložený z hliníkových profilov a to najmä pre ich nízku hmotnosť a odolnosť proti korózii. Sú v ňom uložené ložiskové domčeky s výstupnými hriadeľmi, na ktorých sú upevnené kolesá.

Otáčanie všetkých kolies je samostatne riadené a to umožňuje zariadeniu otočiť sa na mieste s nulovým polomerom otáčania (podobne ako vojenský tank). Zmena smeru jazdy sa realizuje pomocou rozdielnych otáčok ľavých a pravých kolies. Ide o tzv. diferenciálne riadenie kolies, ktoré sa používa aj pri riadení pásových vozidiel [1].

Zdrojom krútiaceho momentu sú štyri nezávislé servomotory, čo so sebou prináša rad výhod. Podvozok robota teda môže pohonnú silu plne automaticky prenášať z prednej nápravy na zadnú a naopak. Vďaka možnosti inteligentnej variabilnej distribúcie pohonnej sily medzi kolesami disponuje podvozok robota za každých okolností najlepšou možnou trakčnou silou. A to aj v takom prípade, keď sa jedna z náprav dostane na klzký povrch, vtedy sa okamžite pohon presunie na tú, ktorej kolesá sú na povrchu s lepšou príľnavosťou. A dokonca aj v prípade, keď sa na šmykľavom povrchu ocitne iba jedna strana auta. Takýmto spôsobom podvozok robota nielenže dosahuje optimálne jazdné vlastnosti ale umožňuje aj hospodárne využívanie svojich energetických zdrojov.



Obr.1 Usporiadanie inšpekčného robota GTR 2006 [1]

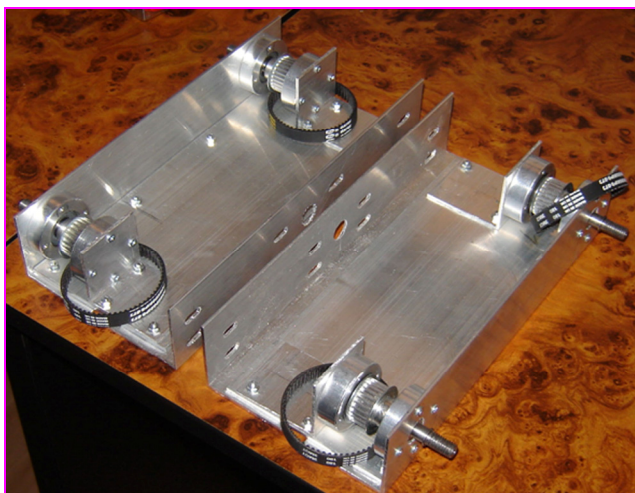
Fig.1 The inspection robot GTR 2006 arrangement [1]

Robot je diaľkovo ovládaný pomocou káblov (na krátku vzdialenosť) alebo bezdrôtovo pomocou vysokofrekvenčného vysielачa a prijímača do vzdialenosti 150 m. Navigácia pre operátora je pomocou kamery s vysielacom a prijímačom [1].

2. Hlavné časti robota a konštrukčné riešenie

2.1 Nosný rám a mechanizmus prenosu krútiaceho momentu

Nosný rám (obr. 2) tvorí základ celej konštrukcie podvozku robota. Sú v ňom sú uložené a upevnené všetky ostatné konštrukčné prvky a moduly, ako sú ložiskové domčeky, servomotory, remeňové prevody, riadiaca elektronika a všetky ostatné časti. Rám pozostáva z dvoch dielov, pričom každý z nich je vyhotovený z profilovaných plechov a základovej platne. Tieto jednotlivé časti rámu sú spojené skrutkovými spojmami. Keďže pre prenos krútiaceho momentu bol zvolený remeňový prevod, ktorý vyžaduje napínanie remeňa, musela byť k tomu prispôbená samotná konštrukcia rámu. Preto boli do dvoch L profilov vyfrézované vodiace drážky [1].

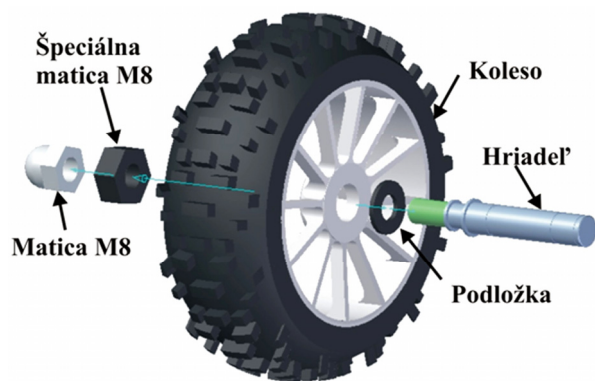


Obr.2 Rám podvozku a 3D model rámu [1]

Fig.2 The Chassis and its 3D model [1]

2.2 Kolesá a ich upevnenie

Koleso (obr. 3) pozostáva z: PVC disku GRP 1:8 Off-road - MULTI SPOKES, molitanovej výplne a off-road pneumatiky Proline Badlands XTR 1:8.



Obr.3 3D model upevnenia kolesa [1]

Fig.3 3D model of the wheel fixation [1]

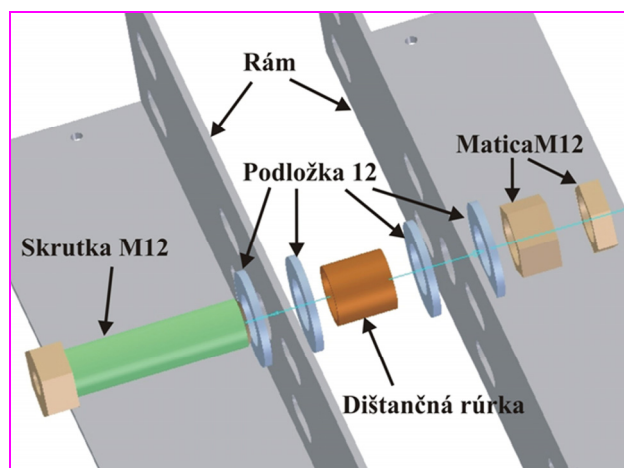
Upevnenie bolo navrhnuté tak, aby nebola zložitá jeho výmena pri poškodení alebo čistení. Koleso o priemere Ø115mm je k hriadeľu pripevnené pomocou dvojice matíc z jednej strany a podložky (aby bola zväčšená dosadacia plocha kosa k hriadeľu) z druhej strany (obr. 4). Pretože koleso má pre uchytenie vyrobený vnútorný 6-hran pre maticu M10 a závit na výstupe hriadeľa je M8, bolo potrebné vyrobiť špeciálnu maticu s vonkajšími rozmermi odpoveda-

júcimi matici M10 a so závitom M8. Pre poistenie kosa proti vyskrutkovaniu je použitá poistná matica M8 (obr. 3).

Vozidlo sa bude pohybovať aj pri nízkych rýchlostiach a teda v klzných ložiskách by sa nevytvoril mazací film a došlo by ich rýchlemu opotrebeniu. Ďalšou požiadavkou bolo aby vozidlo nemalo žiadne alebo len minimálne špeciálne požiadavky na údržbu. Z uvedeného dôvodu boli zvolené valivé ložiská, ktoré sú vybavené krytom z oboch strán a vo vnútri majú mazivo na celú dobu svojej životnosti.

2.3 Spojovací modul – pasívny kĺb

Spojovací modul je fyzickou realizáciou pasívneho kĺbu medzi oboma dielmi rámu. Tento spojovací modul (obr. 4) pozostáva zo skrutky M12x40mm, 4 podložiek 12, dvoch matíc M12 a dištančnej rúrky. Skrutka je prevŕtaná a otvor v nej, ktorý má priemer Ø6mm slúži k vedeniu káblov medzi oboma dielmi rámu (pre riadenie a napájanie servomotorov). Výhodou tohto spojovacieho modulu je jeho jednoduchosť a lacná výroba a možnosť prípadnej ľahkej demontáže. Nevýhodou je, že pri prechode náročným terénom alebo pri prípadnom páde môže dôjsť k preklopeniu jedného z dielov vozidla [1].



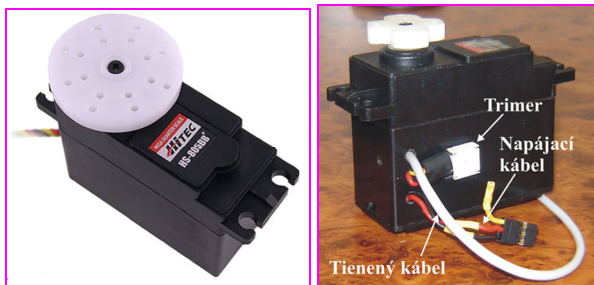
Obr.4 Detail spojovacieho modulu [1]

Fig.4 Connecting module detail [1]

2.4 Servomotor – akčný člen pre pohon kolies

Ako zdroj krútiaceho momentu pre kolesa bol zvolený servomotor (obr. 5), práve pre vysoký dosiahnuteľný krútiaci moment vzhľadom k jeho rozmerom a hmotnosti. Ďalším dôvodom bola jednoduchosť jeho ovládania. Servomotor je zložený z jednosmerného motora, prevodovky a riadiacej elektroniky. Štandardne vyrábaný servomotor (obr. 5 vľavo) však umožňuje rozsah pohybu len v intervale $\pm 90^\circ$. Pre použitie servomotora v podvozku robota GTR 2006 ho bolo nevyhnutne upraviť do režimu kontinuálnej rotácie (obr. 5 vpravo).

Na servomotor bol umiestnený trimer (nastavovací prvok) pre nastavenie referenčného stavu, v ktorom sa výstupný hriadeľ servomotora neotáča. Počas testovania sa vyskytol problém so vzájomným rušením servomotorov. Z tohto dôvodu boli na svorky jednosmerného elektromotora (vo vnútri servomotora) umiestnené odrušovacie kondenzátory pre zamedzenie iskrenia na komutátore jednosmerného elektromotora. Štandardný kábel pre ovládanie otáčok servopohonu bol vymenený za tienový kábel. Na výstupnom hriadeľ servomotora je pripevnená ozubená remenica pomocou, ktorej je prenášaný krútiaci moment cez ozubený remeň na remenicu umiestnenú na hriadeľ kosa. Servomotor je kvôli možnosti napínania upevnený v drážkach rámu (obr. 6) [1].



Obr.5 Pôvodný servomotor (vľavo)
a upravený servomotor (vpravo) [1, 2]

Fig.5 Previous servomotor (left)
and modified servomotor (right) [1, 2]



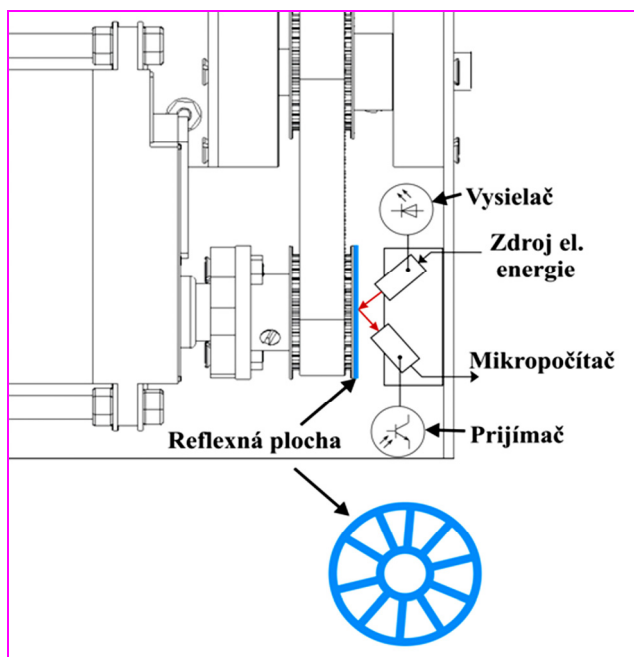
Obr.6 Upevnenie servomotora [1]

Fig.6 The servomotor attachment [1]

2.5 Senzorové vybavenie

Snímanie otáčok kolies

Pre účely ovládania otáčok je potrebné snímať otáčky jednotlivých kolies. Snímanie otáčok kolesa opisuje kinematická schéma (obr. 7).



Obr.7 Schéma snímania otáčok kolies [1]

Fig.7 Sensor of wheel speed [1]

Z vysielača, ktorým je fotodióda sa na reflexnú vrstvu, ktorá sa nachádza na hnacej remenici vyšle signál, ktorý sa odra-

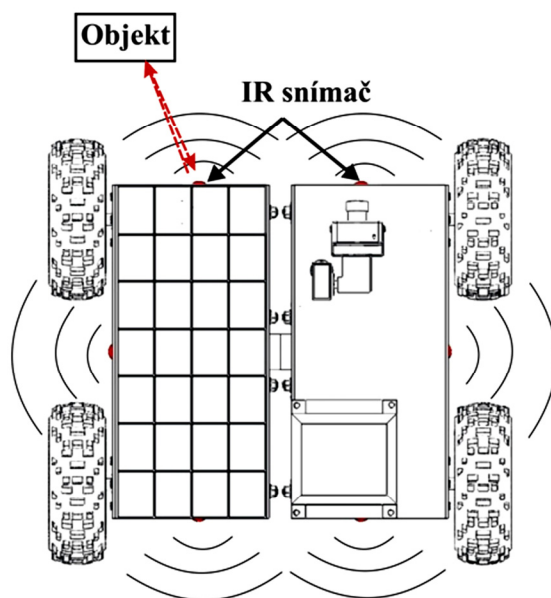
zí od reflexnej vrstvy. Tento signál prijme prijímač, ktorým je fototranzistor. Vysielač aj prijímač sú upevnené k rámu vozidla. Vysielač a prijímač pracujú v infračervenej oblasti aby pri meraní nedochádzalo k rušeniu okolitým osvetlením.

Takto sa zistia otáčky kolesa, ktoré sa porovnajú s otáčkami na ostatných kolesách. Ak otáčky na jednom kolese sú väčšie, tak koleso preklzáva alebo došlo k pretrhnutiu remeňa.

Snímanie prekážok pomocou IR snímačov

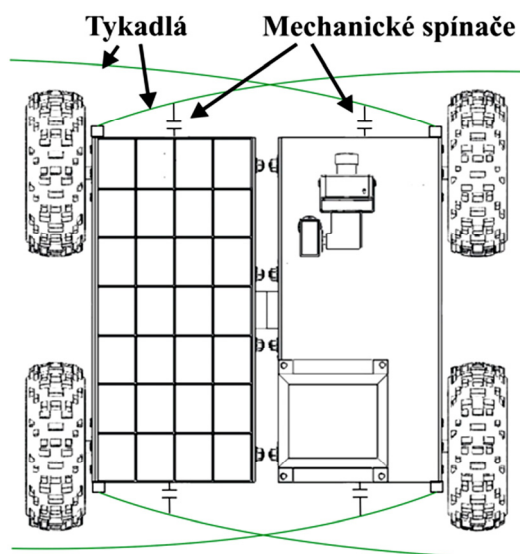
Snímanie prekážok zabezpečujú infračervené (IR) snímače pozostávajúce z vysielača – IR diódy a prijímača, umiestnené vpredu, vzadu a na stranách vozidla (obr. 8).

Prijímač pracuje tak, že sníma odraz IR svetla od prekážok a na základe jeho prítomnosti resp. neprítomnosti generuje výstup v logickej forme. Tento signál zaznamenávaný a vyhodnotený a na základe toho sú potom riadené servomotory. Hlavnou výhodou IR snímačov je vysoká spoľahlivosť a nízka cena [1].



Obr.8 Snímanie prekážok
pomocou IR snímačov [1]

Fig.8 Obstacle sensing via IR sensors [1]



Obr.9 Snímanie prekážok pomocou tykadiel [1]

Fig.9 Obstacle sensing via whiskers [1]

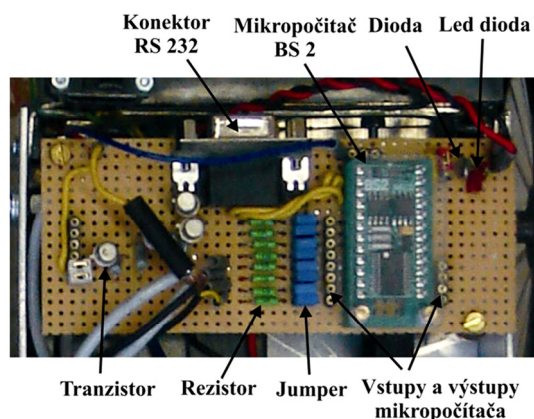
Snímanie prekážok pomocou mechanických spínačov - pomocou tykadiel

Snímanie prekážok zabezpečujú aj tykadlá umiestnené v prednej a zadnej časti vozidla. Pri náraze na prekážku dôjde k ohnitiu tykadla, čím sa zopne mechanickými spínačmi elektrický obvod a vyšle sa signál mikropočítaču (obr. 9). Tento spôsob snímania sa používa z bezpečnostných dôvodov aby prípade zlyhania IR snímačov, nedošlo k zničeniu robota v dôsledku nárazu na prekážku.

2.6 Mikropočítač a plošný spoj

Pre účely riadenia bol vybraný mikropočítač od firmy Parallax, Inc., s označením BasicStamp 2 (BS2). Medzi výhody tohto mikropočítača patrí [3]:

- programovanie v upravenom programovacom jazyku Basic pod názvom PBASIC,
- má dobrú podporu hlavne v oblasti hardwaru,
- ľahká manipulácia, jednoduché zapojenia vonkajších zariadení,
- jednoduché zapojenie s osobným počítačom (ďalej PC), na ktorom sa vykonáva samostatné písanie programu v komfortnom prostredí operačného systému (ďalej OS),
- prenos medzi PC a mikropočítačom sa vykonáva pomocou sériového rozhrania RS232 (súčasť všetkých počítačov), z ktorého vyplývajú výhody (možne prepojenie pri bežiacom počítači, bez rizika poškodenia PC alebo mikropočítača),
- v prípade nových počítačov, ktoré neobsahujú sériový komunikačný port RS232 je možné použiť konvertor RS232 na USB.



Obr.10 Plošný spoj robota [1]

Fig.10 Printed circuit board of the robot [1]

Plošný spoj robota obsahuje (obr. 10):

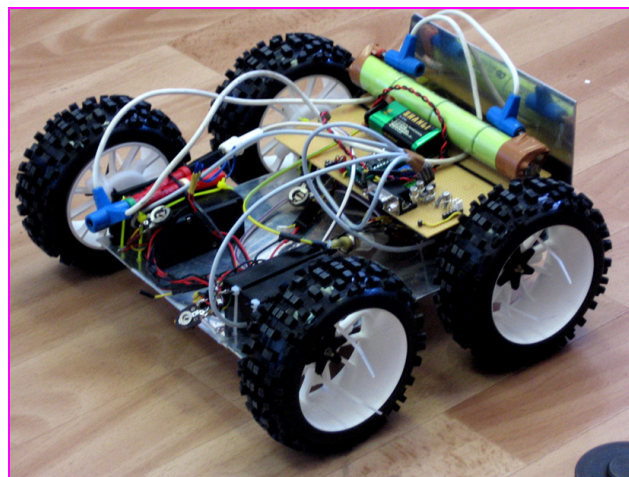
- mikropočítača Basic Stamp 2 UCB PIC, ktorý je chránený plastovým krytom pred možným mechanickým poškodením,
- konektor rozhrania RS 232 pre naprogramovanie mikropočítača,
- rezistor R390Ω (1 ks),
- predradné rezistory 13kΩ (8 ks) pre obmedzenie prúdu pretekajúceho cez vstupno-výstupné piny mikropočítača,
- tranzistor KC 509 (8 ks) pre prúdovo náročnejšie vstupno-výstupné obvody,
- ochranná dióda (1 ks) proti zničeniu mikropočítača prepólovaním,
- kontrolná signalizačná LED dióda (1 ks), indikujúca prítomnosť elektrického napätia na plošnom spoji.
- jumper (9 ks) sú použité ako spínače umožňujúce študentom modifikovať zapojenie na plošnom spoji a realizovať tak vlastné zapojenia. Konektory, ktoré sú umiestnené vedľa jumperov sú umiestnené práve pre účely experimentálnych zapojení študentov.

2.7 Zdroj energie

Ako zdroj napätia sú použité štyri nabíjateľné akumulátory GP NiMH 1,2V 3500mAh, typ HR 14. Tie sú uložené v puzdre upevnenom na zadnej časti vozidla (obr. 12). Použitím týchto akumulátorov je prevádzkový čas vozidla približne 1 hod [1].

3. Praktická realizácie robota GTR 2006

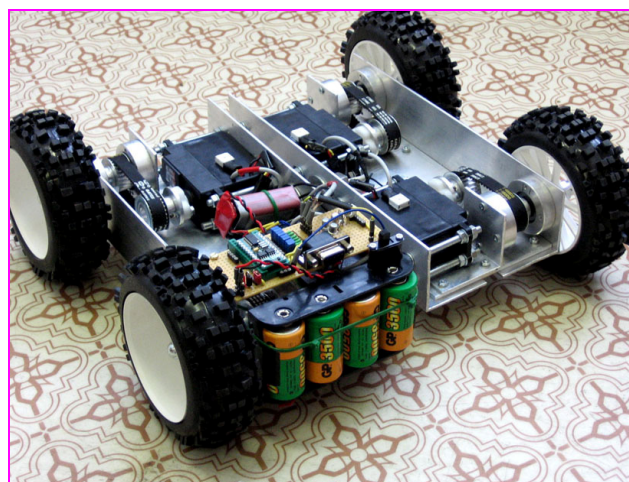
Pre účely testovania bol vytvorený najprv testovací model s jednodielnym rámom (obr. 11), na ktorom boli otestované jazdne vlastnosti robota pri použití uvedených servomotorov a otestované boli aj elektronické obvody a riadenie servomotorov. Na základe týchto testov boli špeciálne upravené aj servomotory a elektronické obvody.



Obr.11 Testovací model s jednodielným rámom

Fig.11 Testing model with single chassis

Na základe získaných skúseností bol navrhnutý a zrealizovaný inšpekčný robot GTR 2006 (obr. 12). Robot ešte nedisponuje všetkými funkciami a s tým spojenými modulmi, nakoľko niektoré z nich sú v procese návrhu a testovania.



Obr.12 Robot GTR 2006 s deleným podvozkom

Fig.12 The GTR 2006 robot with divided chassis

Hlavné technické parametre:

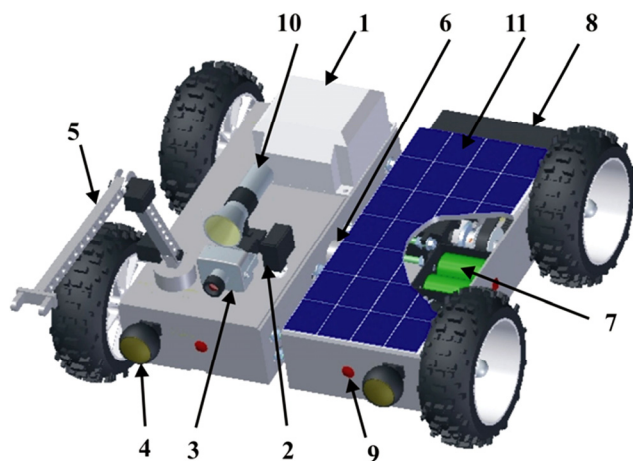
- Rozmery: Dĺžka: 305 mm, Šírka: 333 mm, Výška: 115 mm, Svetlá výška: 30 mm
- Hmotnosť: Celková 3,5 kg
- Maximálne rýchlosť pohybu: $v = 0,33 \text{ m.s}^{-1}$
- Maximálna nosnosť: $m = 10 \text{ kg}$
- Mikropočítač: BasicStamp 2, komunikácia s PC prostredníctvom RS232 rozhrania.

- Pohon: 4 servomotory Hitec HS 805BB+ upravené pre rotačný pohyb
- Napájanie: Interné, 4 x akumulátor NiMH GP 1,2 V 3500 mAh, typ HR 14, nabíjateľná - pre pohon; 9V akumulátor - pre mikropočítač
- Prevádzkový čas: Približne 1 hod

Záver

V budúcnosti je možné k vozidlu pridať sústavu servomotorov pre ovládanie kamery (obr. 13). Tie zabezpečia natočanie kamery v horizontálnom a vertikálnom smere. Tieto servomotory nebude potrebné upravovať na kontinuálny otáčavý pohyb, keďže ich rozsah pohybu bude postačujúci.

Pre vysielanie a prijímanie diaľkovo riadených signálov sa k rámu vozidla môže pridať vysokofrekvenčný vysielateľ, resp. prijímač. To zabezpečí, že vozidlo by mohlo operovať aj vo veľkých vzdialenostiach od riadiaceho centra, napr. životu nebezpečné prostredie, pri inšpekcii budov a iné. Na kratšie vzdialenosti sa predpokladá využitie bezdrôtového infračerveného komunikačného rozhrania (využíva sa hlavne v prípadoch, keď nie je možné ovládanie vysokofrekvenčným signálom).



1 - Prijímač/vysielač, 2 - Sústava servomotorov pre polohovanie kamery vo vertikálnom a horizontálnom smere, 3 - CCD kamera, 4 - Reflektory vozidla, 5 - Manipulačné zariadenie (robotická ruka), 6 - Spojovací modul, 7 - Záložný zdroj energie (záložné batérie), 8 - Napájanie primárny zdroj energie, 9 - IR snímač prekážok, 10 - Reflektor pre kameru, 11 - Solárny panel.

Obr.13 3D model inšpekčného robota GTR 2006 [1]

Fig.13 3D model of inspection robot GTR 2006 [1]

Ďalej sa plánuje na vrch jednej časti vozidla umiestniť solárny panel, ktorý bude automaticky dobíjať batérie v zadnej časti vozidla a taktiež záložné batérie vo vnútri vozidla. Tak sa zabezpečí dlhší operatívny čas bez odstavenia vozidla.

Pre snímanie prekážok pred, vedľa a nad vozidlom budú k rámu upevnené snímače, či už optické, dotykové alebo ultrazvukové. Tým by sa malo zabrániť prípadnému poškodeniu vozidla alebo niektorej z jeho periférnych častí (kamera, manipulátor atď.).

Pri použití v nedostatočne osvetlenom prostredí budú pre lepšiu viditeľnosť upevnené reflektory k rámu vozidla a taktiež k sústave servomotorov.

Pre inšpekčný robot je vyvíjaný manipulátor, ktorý bude plniť rôzne úlohy v závislosti na konkrétnej aplikácii.

Robot GTR 2006 bude disponovať viacprocesorovou štruktúrou, ktorá na seba prevezme časť operácií, nevyhnutných pre chod, stabilitu, vyhýbanie sa kolíziám, autonómnou energetickú stratégiu a i.

Robot po svojom dokončení bude predstavovať čiastočne inteligentný systém (obr. 13), ktorý bude možné flexibilne prispôbiť konkrétnej situácii. Pri jeho návrhu a realizácii sa podieľajú aj študenti, ktorí sa takýmto spôsobom pripravujú na riešenie konkrétnych problémových úloh v praxi.

Podakovanie

Autori týmto ďakujú Slovenskej grantovej agentúre pre vedu GU VEGA 1/2188/05 „Výskum princípov lokomócie potrubného stroja v potrubí za účelom ťahania káblov do existujúcich potrubných sietí“ a GU VEGA 1/4164/07 „Výskum špecifických problémov pri meraní dĺžok a bilancovaní neistôt merania.“ za čiastkovú podporu tejto práce.

Autori tiež ďakujú remeselníkovi Jozefovi Remiašovi, za výrobu niektorých súčiastok.

Literatúra

- [1] KÖNIG, R.: Návrh didaktického modelu vozidla s ovládaním všetkých kolies. Diplomová práca. (vedúci DP: Ing. Michal Kelemen, PhD.), TU, SJF, KAMaM, Košice, 2006
- [2] Servo HS805BB+. cited 12-2-2005. online <<http://www.hitec.com>>
- [3] Parallax Inc. STAMPCOMPARISON.PDF. Revised 03/04, Parallax Inc., 2004. , cited 10-22-2004. online <<http://www.parallax.com>>

Abstract

The paper deals with design of the inspection robot for hazardous environment and for constrained spaces. It is also useful as tactical robot for car chassis inspection and for special task in fight against terrorists. It has differential control of wheel drives, so it is able to rotate with zero radius as tank.

Paper describes actual state of the development and next steps for the near future.

Ing. Michal Kelemen, PhD.

Ing. Róbert König

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky
Letná 9
042 00 Košice
Tel.: 055/6022388
E-mail: michal.kelemen@tuke.sk