

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

Ing. Pavel Houška

DISTRIBUOVANÝ SYSTÉM ŘÍZENÍ KRÁČIVÉHO ROBOTU

**DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM OF THE WALKING
ROBOT**

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Inženýrská mechanika, specializace Mechatronika
Školitel: Doc. RNDr. Ing. Tomáš Březina, CSc.
Oponenti: Doc. Ing. Vladislav Singule, CSc.
Doc. Ing. Jaromír Volf, DrSc.
Datum obhajoby: 20.12.2004

Klíčová slova

distribuovaný systém řízení, kráčivý robot, senzorická soustava, měření odklonu, snímání došlapu

Key Words

Distributed control system, walking robot, sensor system, attitude measuring, leg landing

Místo uložení disertační práce

Ústav mechaniky těles, Mechatroniky a Biomechaniky, FSI VUT v Brně

© Pavel Houška, 2005

ISBN 80-214-2929-1

ISSN 1213-4198

OBSAH

OBSAH.....	3
1 ÚVOD.....	5
2 CÍLE PRÁCE	6
3 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	6
3.1 Mechanická konstrukce robotu	6
3.1.1 <i>Konstrukce prototypu nohy kráčivého robotu</i>	6
3.1.2 <i>Konstrukční změny vycházející z prototypu nohy</i>	7
3.1.3 <i>Mechanická konstrukce prototypu kráčivého robotu</i>	8
3.2 Řízení jednotlivých pohonných jednotek.....	9
3.2.1 <i>Řídicí systém pohonné jednotky</i>	10
3.2.2 <i>Senzorická soustava pohonu</i>	11
3.2.3 <i>Blok řízení pohonu</i>	11
3.3 Noha robotu.....	11
3.3.1 <i>Taktilní snímač došlapu nohy</i>	11
3.3.2 <i>Řídicí systém nohy</i>	13
3.4 Řízení pohybu robotu.....	15
3.4.1 <i>Struktura řídicího systému nižší úrovně</i>	15
3.4.2 <i>Snímání náklonu</i>	15
3.4.3 <i>Scénové a kolizní snímače</i>	18
3.4.4 <i>Moduly řídicího systému nižší úrovně</i>	19
3.4.5 <i>Modul komunikace s nohami</i>	21
3.4.6 <i>Modul generování lokálních map</i>	21
4 ZÁVĚR.....	22
4.1 Přínos práce v teoretické oblasti	23
4.2 Přínos práce v praktické oblasti	24
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	25
SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ AUTORA.....	26
CURRICULUM VITAE	28
ABSTRACT	30

1 ÚVOD

Robot je zařízení, jehož účelem je ulehčit lidem práci a nahradit je v prostředích, která jsou pro ně nebezpečná nebo nedostupná. Existují projekty robotů hledajících miny, detekující přítomnost zdraví škodlivých látek, provádějících geologický průzkum. Zároveň se v posledních několika letech objevují roboty-hračky.

V současnosti nejvíce rozvinutou kategorií lokomočních robotů jsou kolové roboty. Tato kategorie mobilních robotů se ale vyznačuje závažnými omezení pro pohyb v neregulárním terénu. Částečného zmírnění tohoto omezení lze dosáhnout použitím pásových podvozků. Z hlediska dosažitelné mobility je však nejlepším řešením použití kráčivých robotů.

Mezi výhody mobilních kráčivých robotů patří kromě podstatně snazšího překonávání terénních nerovností i velká manévrovatelnost, umožňovaná vysokým počtem stupňů volnosti pohybového mechanismu. Mezi nevýhody patří hlavně podstatně složitější mechanická konstrukce pohybového ústrojí robotu, velké množství pohybujících se součástí, vysoká náročnost na výkon jednotlivých pohonů a s ní spojená nízká účinnost robotu jako celku. Dalším problémem, který je spojen s kráčivými roboty, jsou vysoké nároky na řízení.

Vysoký počet stupňů volnosti pohybového ústrojí kráčivých robotů poskytuje širokou škálu variant při volbě počtu a tvaru noh robotu. Na základě zvoleného počtu noh a počtu stupňů volnosti každé nohy lze navrhnout i velké množství variant způsobů řízení samostatných noh a následně několikanásobně větší počet strategií řízení chůze robotu. Chůze dále poskytuje mnoho způsobů řešení nestandardních situací, jako je například porucha jedné či více noh. Kráčivé roboty tudíž představují vynikající platformu pro zkoumání různých inteligentních způsobů řízení využívajících fuzzy množin, neuronových sítí, genetických algoritmů, opakovaně posilovaného učení a jiných.

Na základě předešlých úvah byl v Centru mechatroniky při ÚMT FSI VUT v Brně zřízen projekt čtyřnohého kráčivého robotu jako platformy pro ověřování metod umělé inteligence pro řízení mechatronických soustav. Projekt byl nazván Kráčmera I. Jako základní cíle projektu byly stanoveny:

- vysoká manévrovatelnost robotu,
- schopnost zachování funkčnosti robotu při poruše.

Snahou této práce je navrhnout a realizovat mechanickou, elektrickou a senzorickou soustavu schopnou zajistit pohyblivost robotu. Návrh všech soustav probíhal a probíhá komplexně. Pro řešení byl využit mechatronický přístup, kdy vznikají jednotlivé mechanické, elektrické, senzorické a softwarové části současně a jsou vzájemně provázány se snahou maximálně využít jejich vlastnosti. Zároveň je kladen důraz na jednoduchou záměnnost jednotlivých prvků za prvky nové stejných nebo podobných vlastností bez nutnosti zásahu do stávajících systémů. Výhodou jsou minimálně vyšší užitné vlastnosti takto navržené soustavy.

2 CÍLE PRÁCE

Práce si klade za úkol:

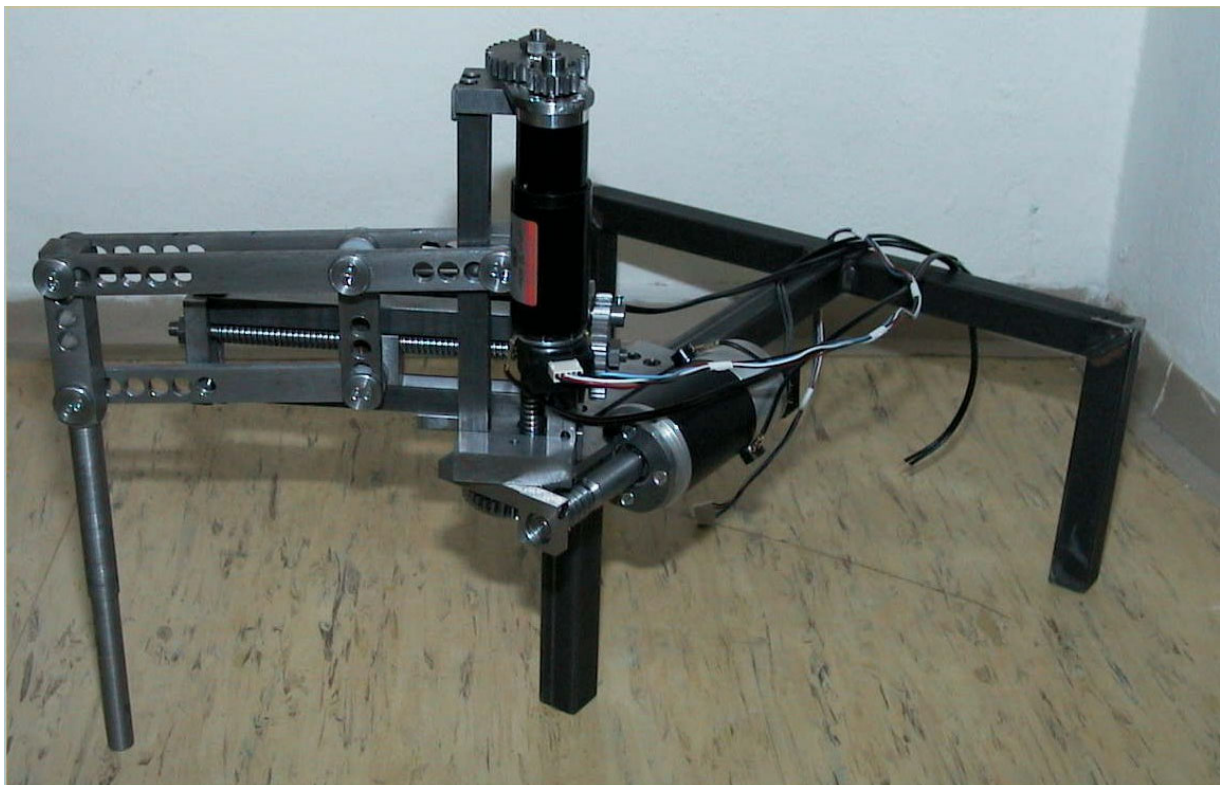
- posoudit a zhodnotit současný stav v oblasti čtyřnohých kráčivých robotů z hlediska elektromechanické konstrukce a senzorické soustavy;
- provést návrh vhodné mechanické konstrukce nohy robotu;
- navrhnout vhodnou strukturu senzorické soustavy nižší úrovně pro řešení projekt kráčivého robotu s ohledem na potřeby řízení;
- navrhnout vhodnou strukturu distribuovaného systému řízení kráčivého robotu;
- navrhnout vhodné metody a způsoby řízení nižší úrovně kráčivého robotu s vhodným využitím informací senzorické soustavy.

3 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

3.1 MECHANICKÁ KONSTRUKCE ROBOTU

3.1.1 Konstrukce prototypu nohy kráčivého robotu

Nohu tvoří její vlastní mechanická konstrukce, tři pohonné jednotky, snímač došlapu a řídicí jednotka nohy. Fotografie nohy upevněné ke zkušebnímu přípravku bez řídicí elektroniky a snímače došlapu je na obr. 1.



Obr. 1 Fotografie nohy upevněné ke zkušebnímu přípravku.

Mechanická konstrukce prototypu nohy

Volba mechanismu nohy byla provedena na základě [1] a výsledků diplomových prací [2, 3, 4] jako optimální možnost jak z hlediska mechanického, tak z hlediska řízení.

Mechanická část nohy [5] se skládá ze čtyřčlenného mechanismu, vertikálního a horizontálního vedení nohy, horizontální a vertikální pohonné jednotky, základny a pohonné jednotky natáčení nohy okolo vertikální osy. Tvar nohy a funkce jednotlivých jejích částí jsou zřejmé z obr. 1. Vertikální a horizontální lineární pohyb zajišťují pohybové šrouby, rotační pohyb natáčení nohy robotu zajišťuje šnekový převod. Rozměry konstrukce jsou určeny požadavkem, aby byl robot schopen pohybu po schodech, tj. požadovaný minimální zdvih nohy musí být cca 200mm. Z rozměrů nohy byly předběžně vypočítány zátěžné síly a momenty. Dalším požadavkem na robota je, aby rychlost jeho pohybu byla rovna alespoň rychlosti pohybu dospělého člověka, tj. $\sim 5\text{kmh}^{-1}$. Následně byl určen výkon pohonů jednotlivých os nohy, který je přibližně 60 až 100W pro každou osu. Při výběru pohonů bylo nutno řešit kompromis mezi požadavky na výkon, rozměry a cenu při daném nízkém napájecím napětí.

Pohony prototypu nohy

Pro napájení pohonů bylo zvoleno stejnosměrné napětí 24V, požadovaný výkon na jednotlivé pohony je v rozmezí 60 až 100W. Při výběru pohonů byl kladen velký důraz na jejich velikost a hmotnost. Na základě zvolených parametrů byly zvoleny pohony Maxon RE36 s planetovou převodovou skříní s převodovým poměrem $i=14,5$ [6] pro podélnou a svislou osu nohy. U pohonu pro natáčení nohy, byl zvolen pohon BAUTZ E540ME, který je rozměrnější a těžší než pohon Maxon, ale cenově je několikrát levnější.

Základem konstrukce svislé osy je prizmatické vedení, ve kterém se pohybuje kámen. Kamenem se pohybuje pomocí lichoběžníkového závitu otáčením pohybového šroubu. Šroub je poháněn pohonem přes čelní soukolí. V kamenu je díra pro čep na němž je připevněno táhlo nohy, poloha středu této díry je brána jako poloha pohonné jednotky osy. Výhodou použití prizmatického vedení jsou nižší nároky na výrobní přesnost vedení než u vedení s válcovými sloupky, nevýhodou je nutnost použít prvky pro seřízení vůlí vedení. Podélná osa nohy je realizována podobným způsobem se stejným principem.

Osu natáčení nohy tvoří šnekové kolo, jehož čep je pevně spojen s rámem svislé a podélné osy nohy a zároveň slouží jako čep kluzného ložiska, kolem kterého se noha otáčí. Šnekové kolo je poháněno šnekem připevněným k pohonu.

3.1.2 Konstrukční změny vycházející z prototypu nohy

Nejdůležitější důvody, které vedly ke konstrukci byl prototypu nohy byly:

- odzkoušení a ověření pohonů jednotlivých os nohy;
- ověření mechanické konstrukce jednotlivých os nohy.

Na základě provedených experimentů byly navrženy následující změny:

Změna napájecí soustavy

V prvotním návrhu robotu se předpokládalo použití stejnosměrného napětí 24V z akumulátorové soustavy. Tato rozvaha byla provedena v roce 2002, od té doby se výrazně změnil sortiment akumulátorů na trhu. V současnosti je možné použít akumulátory s vyšší kapacitou (LiOin, LiPol, NiMH). Na základě této skutečnosti byla provedena změna volby napětí napájecí soustavy. Bylo rozhodnuto o použití akupaku tvořeného 25 NiMH články Sanyo RC-3300HV[7] zapojenými do série. Výsledné svorkové napětí akupaku je 30V a kapacita akupaku je 3Ah při vybíjecím proudu 3A. Použité články měly v únoru 2004 nejlepší poměr výkon/hmotnost. Hmotnost čtyř akupaků (pro každou nohu jeden), je 6kg .

Změna napětí napájecí soustavy byla motivována možností napájet použité motory vyšším napětím. Použitím vyššího napětí u pohonů se při stejném výkonu sníží proud protékající pohonem i výkonovým prvkem. Tím se sníží ztrátový výkon, proudové i tepelné namáhání na výkonových prvcích řízení pohonů.

Změny pohonných jednotek

První změna se týká pohonu s motorem BAUTZ E540ME. Dodavatelem uvedené parametry motoru neodpovídají dodanému motoru. Hlavně jde o nejdůležitější parametr – strmost otáčkové charakteristiky motoru. Motor má otáčky naprázdno $\sim 8000 \text{ min}^{-1}$ a otáčky při zvoleném zatížení odpovídají $\sim 4000 \text{ min}^{-1}$, místo dodavatelem určených otáčkách naprázdno $\sim 3000 \text{ min}^{-1}$ a otáčkách při zatížení $\sim 2000^{-1}$. Dalším důvodem ke změně je vysoká hmotnost motoru. Bylo rozhodnuto nahradit tento pohon pohonem Maxon RE36 s převodovkou s převodovým poměrem $i=3,7$ [6].

Po změně napětí napájecí soustavy na 30V byla provedena náhrada všech pohonů za pohony Maxon RE35 a z této změny vyplývají změny převodových poměrů jednotlivých pohonů.

Změny v mechanické konstrukci

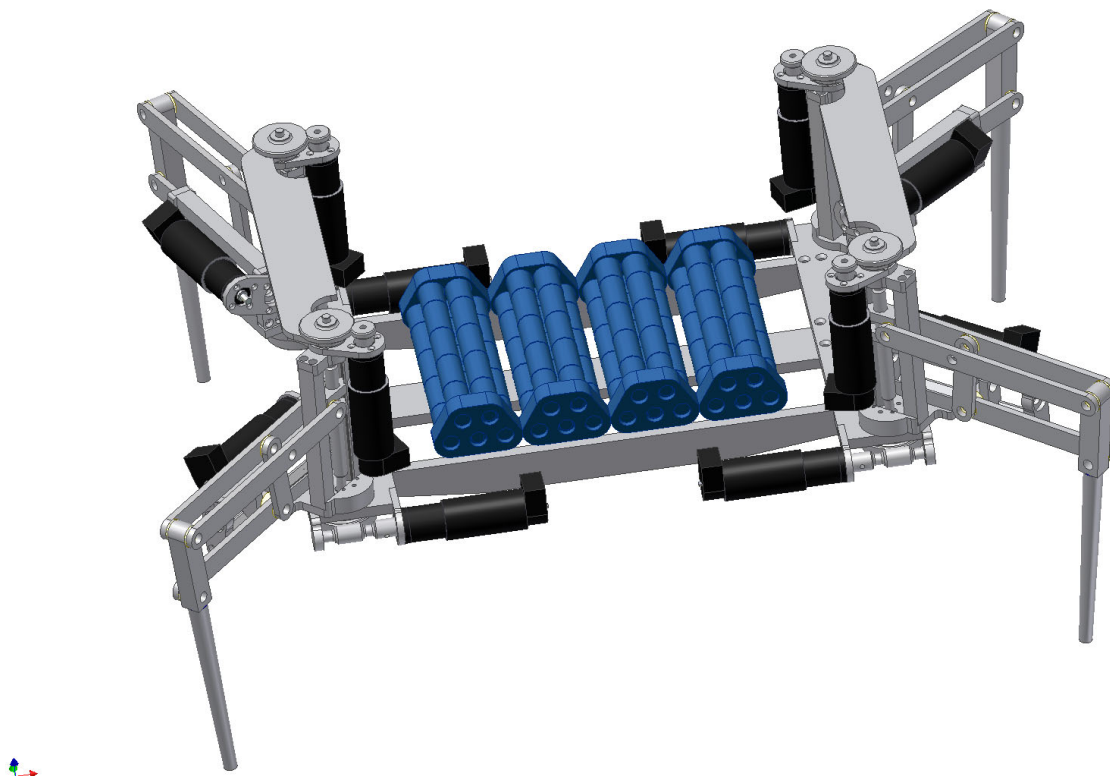
Bylo přehodnoceno uložení osy natáčení nohy, tedy letmé uložení bylo nahrazeno dvoubodovým uložením.

Dále bylo rozhodnuto na základě zkušeností s prototypem o náhradě prizmatického vedení os noh za vedení s válcovými sloupky, které nepotřebují dodatečné prvky pro vymezení vůlí. Rozhodnutí bylo provedeno s ohledem na zlepšené možnosti při výrobě v porovnání s výrobou prototypu nohy.

3.1.3 Mechanická konstrukce prototypu kráčivého robotu

Konstrukce vychází z poznatků získaných při stavbě a ověřování prototypu nohy. Na obr. 2 je zobrazen rám konstrukce s umístěním jednotlivých pohonů. Na obrázku jsou použity nohy s prizmatickým vedením, protože překonstruování na válcové vedení os není v současnosti dokončeno. Na obrázku je rovněž zobrazeno rozložení akupaků (modrá barva) napájecí soustavy pohonů robotu.

Umístění jednotlivých bloků řízení není na obrázku znázorněno, ale tyto bloky budou umístěny nad akupaky.



Obr. 2. Rám mechanické konstrukce kráčivého robotu s nohami a akupaky

3.2 ŘÍZENÍ JEDNOTLIVÝCH POHONNÝCH JEDNOTEK

Soustava pohonné jednotky (dále jen pohonná jednotka) je navržena jako mechatronická soustava - samostatně pracující celek s vlastní diagnostikou stavů soustavy. Vstupem pohonné jednotky je požadovaná poloha poháněného kamene soustavy.

Vývoj řízení pohonných jednotek se v současnosti nachází ve třetí etapě.

Ve všech etapách byl použit stejný výkonový prvek - obvod TLE 6209 R [8]. Rychlost otáčení motoru se řídí změnou „střídý“ PWM modulace přiváděné na vstup PWM. Nosná frekvence PWM odpovídá spínací frekvenci výkonového prvku. Směr otáčení řízeného motoru je dán logickou úrovní na DIR vstupu obvodu, diagnostika a pracovní mód se zapisuje/čte pomocí SPI rozhraní. Okamžité vypnutí obvodu lze provést pomocí vstupu INH.

Následuje stručné shrnutí jednotlivých etap:

Etapa 1

Jako řídicí mikrořadič použit ADuC814 [9], ten nemá hardwarový generátor PWM modulace, proto byla modulace generována softwarově. Z rychlosti ADuC814 vyplývá maximální použitelná nosná frekvence PWM pro výkonový prvek 5 kHz při rozlišení 8-bitů (256 úrovní). Pro motor BAUTZ je tato frekvence spínání výkonového prvku postačující, motory Maxon, které mají řádově nižší indukčnost i moment setrvačnosti kotvy, vykazují při frekvenci spínání 5 kHz

nerovnoměrný chod a bylo tudíž nutno použít vyšší nosnou frekvenci modulace. Řízení polohy pohonu zajišťoval jednoduchý polohový PI regulátor, implementovaný softwarově v ADuC814.

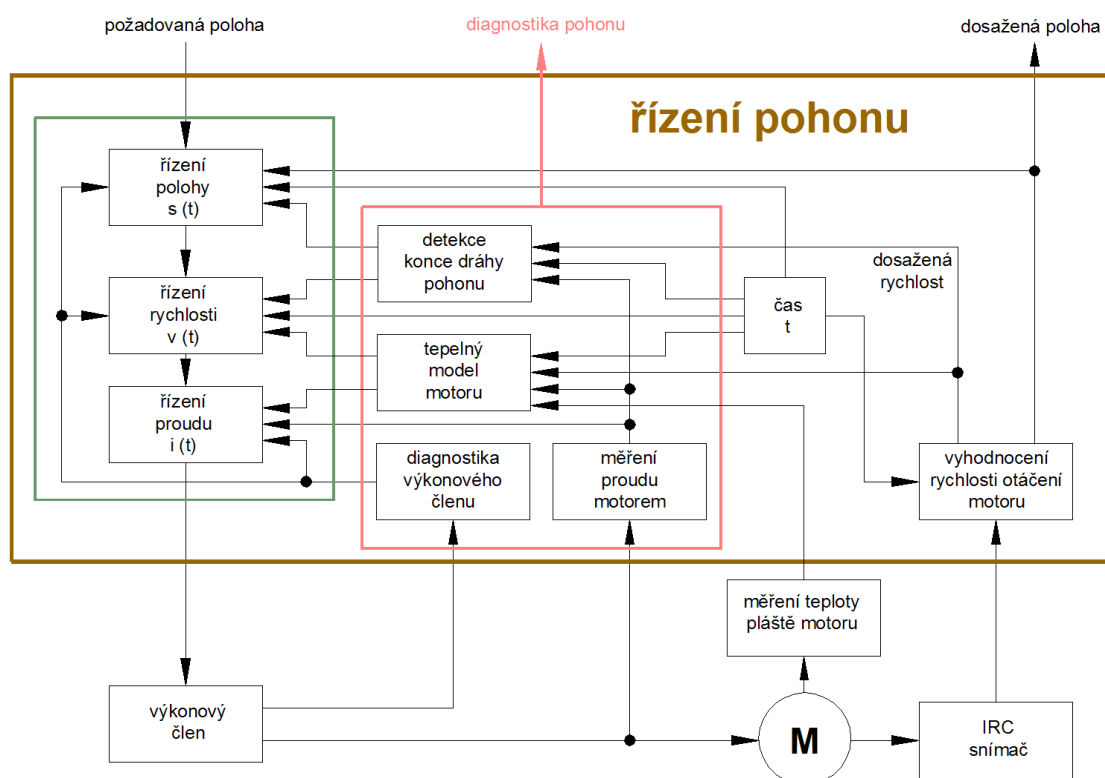
Etapa 2

Řídící ADuC814 byl doplněn jednoduchým mikrořadičem ATtiny 15L [10], který generuje PWM modulaci. Dále bylo řízení pohonné jednotky doplněno o snímání proudu tekoucího motorem. Protékající proud je měřen na výstupu měřicího zesilovače vestavěným 12 bitovým AD převodníkem ADuC814. Velikost proudu je použita k určování krajních poloh mechanismu pohonu. Pro řízení polohy pohonu byl opět použit jednoduchý polohový PI regulátor, implementovaný softwarově v ADuC814, doplněný o informaci o krajních polohách pohonu.

Etapa 3

Uvažuje doplnění řízení pohonu o tepelný model, který umožní efektivně využívat možnost přetěžování jednotlivých pohonů. Je provedeno rozdělení polohového regulátoru na regulátor proudu, regulátor rychlosti otáčení motoru a polohový regulátor. Hodnota proudu motorem je použita také pro řízení rozběhu a brzdění pohonu. Jednotka je doplněna o snímač teploty pláště motoru – bezpečnostní prvek. Přidáno měření napájecího napětí pohonu, používá napájecí napětí 30V z akupaku, nutná změna zapojení měřicího zesilovače proudu.

3.2.1 Řídicí systém pohonné jednotky



Obr. 3. Schéma řídicího systému pohonné jednotky

Řídicí systém pohonné jednotky (obr. 3) se skládá ze čtyř hlavních bloků, které jsou vzájemně funkčně propojeny. První blok tvoří řízení pohonu, druhý vyhodnocování rychlosti otáčení motoru, třetí diagnostický blok (koncový spínač, tepelný model motoru) a čtvrtý blok je komunikační pro komunikaci s řídicím systémem nohy.

3.2.2 Senzorická soustava pohonu

Senzorickou soustavu pohonu tvoří tyto snímače:

- Snímání polohy pohonu; úloha je řešena pomocí dvoukanalového inkrementálního rotačního snímače [11];
- Vnitřní diagnostika výkonového řídicího členu pohonu.
- Snímání zatížení pohonu; úloha je řešena měřením proudu protékajícího motorem pomocí A/D převodníku řídicího mikrořadiče pohonu.
- Snímání teploty motoru; snímá se teplota na plášti motoru pohonu.
- Měření napětí napájecího akumulátoru pohonu; úloha řešena pomocí A/D převodníku řídicího mikrořadiče pohonu.

3.2.3 Blok řízení pohonu

Řízení pracuje v uzavřené smyčce s konstantním časovým intervalem.

Blok řízení přijímá příkazy obsahující požadovanou polohu a rychlost na konci časového úseku. Řízení se snaží podle stavu stavových veličin dosáhnout požadované polohy a rychlosti. Interně je požadovaná dráha rozdělena na několik úseků. Jsou určeny odpovídající rychlosti na konci úseků. Na jednotlivých úsecích rychlostní smyčka řízení řídí rychlost tak, aby byly splněny zadané požadavky. Řízení je doplněno o vnitřní proudovou smyčku pro zlepšení dynamických parametrů pohonu.

3.3 NOHA ROBOTU

3.3.1 Taktilní snímač došlapu nohy

Základní myšlenka snímače

Snímač došlapu bude tvořit hlavice z nevodivého materiálu, několik snímacích plošek, které se dotýkají elektricky vodivého obalu snímače. Obal se dotýká snímacích plošek, a podle velikosti síly došlapu se tyto plošky deformují a mění svůj elektrický odpor. Obal tvoří jednu společnou elektrodu, na hlavici jsou rozmístněny pod každou snímací ploškou samostatné elektrody. Na elektrodách se měří úbytek napětí na snímací ploše a z tohoto úbytku napětí se vyhodnocuje velikost síly došlapu.

Materiál snímacích plošek CS57-7RSC

Jako materiál snímacích plošek byla vybrána odporová pryž CS57-7RSC firmy Yokohama Rubber [12]. Tento materiál má schopnost měnit vlastní elektrický odpor od řádově desítek megaohmů až po jednotky ohmů v závislosti na svém stlačení (deformaci). Tuto vlastnost způsobuje příměsí uhlíkových částic ve struktuře pryže. Důležitá vlastnost je rovnoměrné rozmístění těchto částic v celém objemu pryže a jejich stejná velikost. Tato vlastnost je výrobcem zaručována.

Výhodou použití odporové pryže na je jednodušší konstrukce snímače, nevýhodou je nižší přesnost. Pro případ určování vektoru síly došlapu noh kráčivého robotu není potřeba vysoká přesnost měření, ale je jednoduchá konstrukce a malé rozměry snímače.

Algoritmus pro nalezení zatěžující síly

Experimentem byla změřeno, že doba ustálení odporu pryže trvá od asi 10s do 50s v závislosti na velikosti zátěžné síly. Byl proto navržen a odzkoušen algoritmus pro okamžité vyhodnocování velikosti zatěžující síly i v časech, kdy ještě není elektrická veličina ustálena.

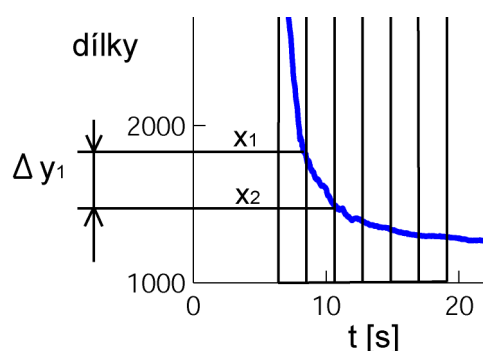
Algoritmus z rychlostí změn naměřených hodnot a změřené hodnoty odhaduje skutečnou velikost síly. Čím je rychlost změn menší, tím je síla odhadnuta přesněji. Princip algoritmu je zobrazen na obr. 4. Pro odhad síly se používá polynom závislosti hodnota AD převodníku – zatěžující síla, určený v ustáleném stavu pryže. Algoritmus lze zjednodušeně zapsat jako:

$$x_{final} = x_i + (x_{i-1} - x_i), \quad (1)$$

kde:

x_{final} je odhadnutá hodnota AD převodníku,

$(x_{i-1} - x_i)$ je rychlost změny hodnoty AD převodníku.



Obr. 4 Zjednodušený princip algoritmu odhadu zatěžující síly.

Zatěžující síla F je pak pouze funkcí x_{final} :

$$F = f(x_{final}) \quad (2)$$

Konstrukce prototypu snímače došlapu

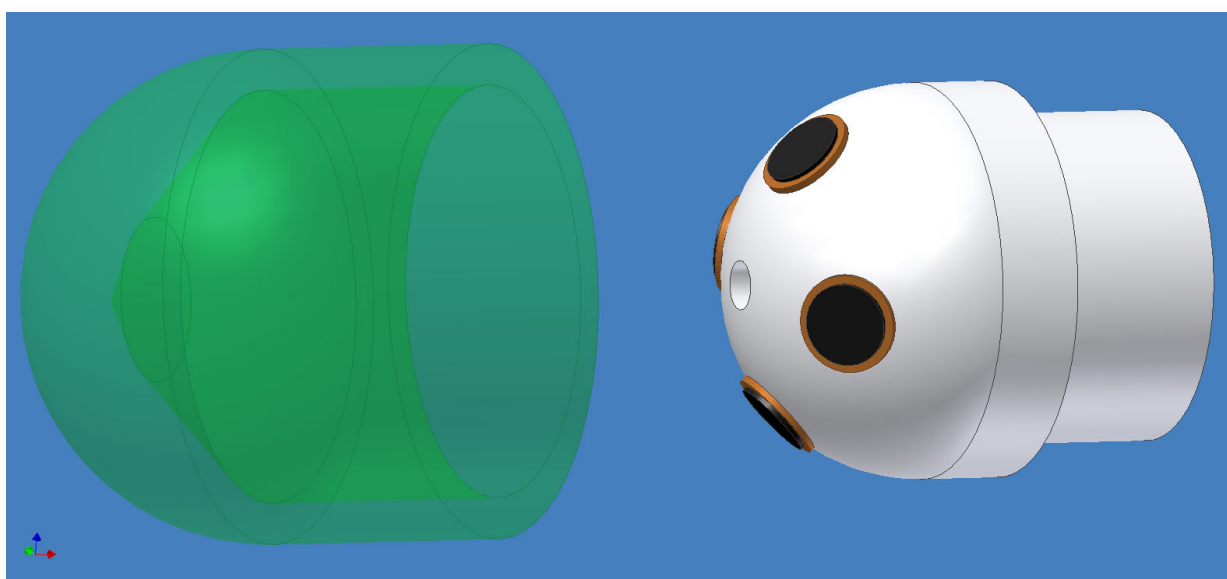
Prototyp snímače (obr. 5) tvoří hlavice vyrobená z elektricky nevodivého materiálu (bílý silon). V hlavici jsou umístěny čtyři měděné elektrody, na každé elektrodě je kotouč odporové pryže – snímací plocha. Hlavice je zasunuta v elektricky vodivém obalu (světle zelená), který tvoří druhou elektrodu. Od každé

elektrody z hlavice je veden vodič na měřící elektroniku. Obal hlavice přenáší zatížení od terénu přes snímací plochy na nohu robotu.

Protože odporová pryž má malou únosnost, je prostor mezi hlavicí a obalem vyplněn elektricky nevodivou hmotou (silikon) tak, aby se tlak ve snímači rozdělil mezi tuto hmotu a odporovou pryž. Nutno provést simulaci rozložení tlaku pomocí MKP.

Jednotlivé elektrody z hlavice jsou napájeny přes měřící můstek, měří se napětí mezi každou elektrodou hlavice a obalem snímače. Ze změřených hodnot se počítá velikost zatížení na jednotlivých čidlech. Ze zatížení jednotlivých čidel se určuje velikost a směr celkové zatěžující síly na snímač. Měření a zpracování naměřených dat zajišťuje mikrořadič C8051F007 [13].

Snímač je připojen přes UART do řídicího systému nohy robotu. Výstupem snímače je vektor síly došlapu nohy.



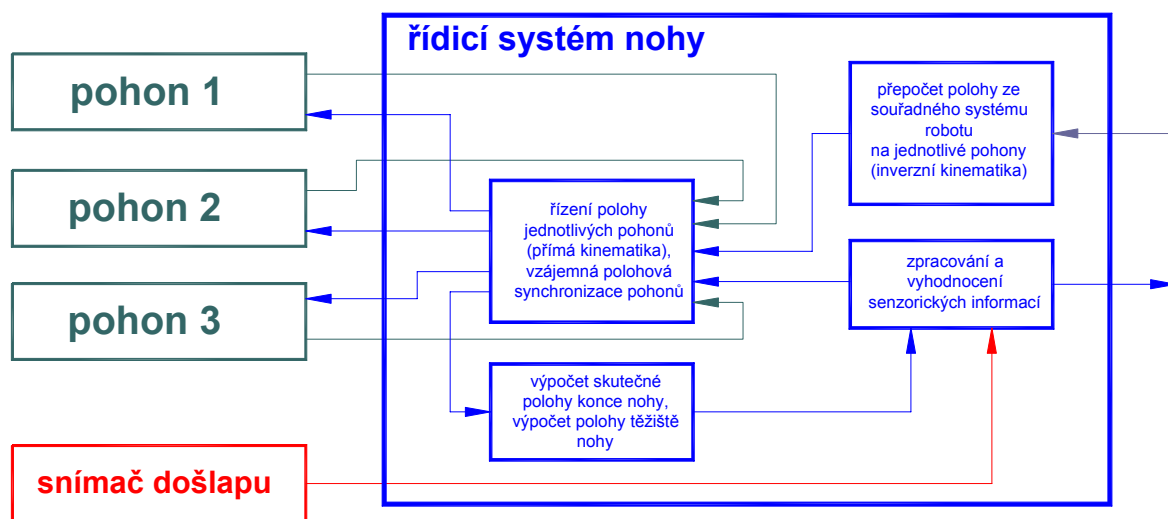
Obr. 5. Prototyp konstrukce taktilního snímače došlapu.

3.3.2 Řídicí systém nohy

Řízení nohy je hierarchicky rozloženo podle obr. 6. Nejvyšší úroveň hierarchie představuje modul přepočtu souřadnic polohy koncového bodu nohy. Modul získává souřadnice polohy a požadovaný stav došlapu od nižší úrovně řízení robotu. Získané souřadnice jsou v lokálním souřadném systému nohy robotu $[x_{1a}, y_{1a}, z_{1a}]^T$, kde $a \in \{1, 2, 3, 4\}$ představuje index řízené nohy. Souřadnice lokálního systému nohy jsou transformovány do každé samostatné řízené osy $[x_s, y_s, z_s]^T$ s využitím aparátu inverzní kinematiky [1]. Jednotka musí u vypočítaných souřadnic určit, zda zadaný bod leží uvnitř pracovního prostoru nohy nebo ne. V případě, že se bod nenachází v pracovním prostoru nohy, je požadavek vyhodnocen jako neplatný a vyšší úroveň musí určit souřadnice nového bodu, který je nejbližší k neúspěšnému požadavku.

Přepočítané souřadnice $[x_s, y_s, z_s]^T$ jsou předány jednotce kontroly dosažené polohy a vzájemné synchronizace pohonů. Činnost této jednotky se liší podle

zvoleného způsobu řízení. Použití polohového řízení je výhodné pro řízení pohybu, který odpovídá první variantě. V tomto případě se noha pohybuje samostatně, bez potřeby synchronizace činnosti s ostatními nohami. Výhoda polohového řízení je v možnosti dosáhnout požadované polohy nohy bez potřeby zatěžovat nadřazenou úroveň řízení. Rychlostní řízení je výhodnější pro druhou a třetí variantu pohybu. V tomto případě se nohy dotýkají terénu (minimálně tři nohy) a pohybuje se základna robotu vůči koncovým bodům noh. Při pohybu základny robotu je potřeba co nejlépe synchronizovat pohyb všech noh (pohybuje se bod uchycení nohy vůči koncovému bodu). Při nedokonalé synchronizaci může dojít k tzv. „přetahování“ se jednotlivých noh, které může mít za následek zvýšené mechanické namáhání celého robotu a zvláště jednotlivých noh a jejich pohonů. Tzv. „přetahování“ má vždy za následek vyšší zatížení pohonů a zvýšenou spotřebu energie.



Obr. 6 Schéma řídicí soustavy nohy

Při řízení pohybu robotu na úrovni řízení jedné nohy nemůže nastat vzájemná kombinace několika variant pohybů noh, ta může nastat až na vyšších úrovních řízení.

Zpracování senzorické informace a informace o noze

Řídicí systém nohy má k dispozici informace o pohybu, poloze a diagnostiku stavu jednotlivých pohonů. Dále jsou k dispozici informace o kontaktu koncového bodu s terénem.

Řídicí systém nohy má vždy k dispozici parametry zadaného příkazu, který získal z nadřazené úrovně řízení. Tyto parametry obsahují cílovou polohu nebo rychlost pohybu konce nohy a požadovaný stav došlapu (stojí/nestojí na terénu). Parametry jsou zadávány v závislosti na použité metodě řízení pohybu nohy a dále budou označovány jako požadovaný stav.

Řídicí systém nohy vyhodnotí stav došlapu a porovná ho s požadovaným stavem. S pomocí přímého kinematického modelu určí aktuální polohu konce nohy a jeho rychlost. Ty porovná s požadovaným stavem. Nadřazené úrovni řízení jsou předány

parametry o dosažení požadovaného stavu, v případě nedosažení požadovaného stavu, je předána i diagnostika příčiny.

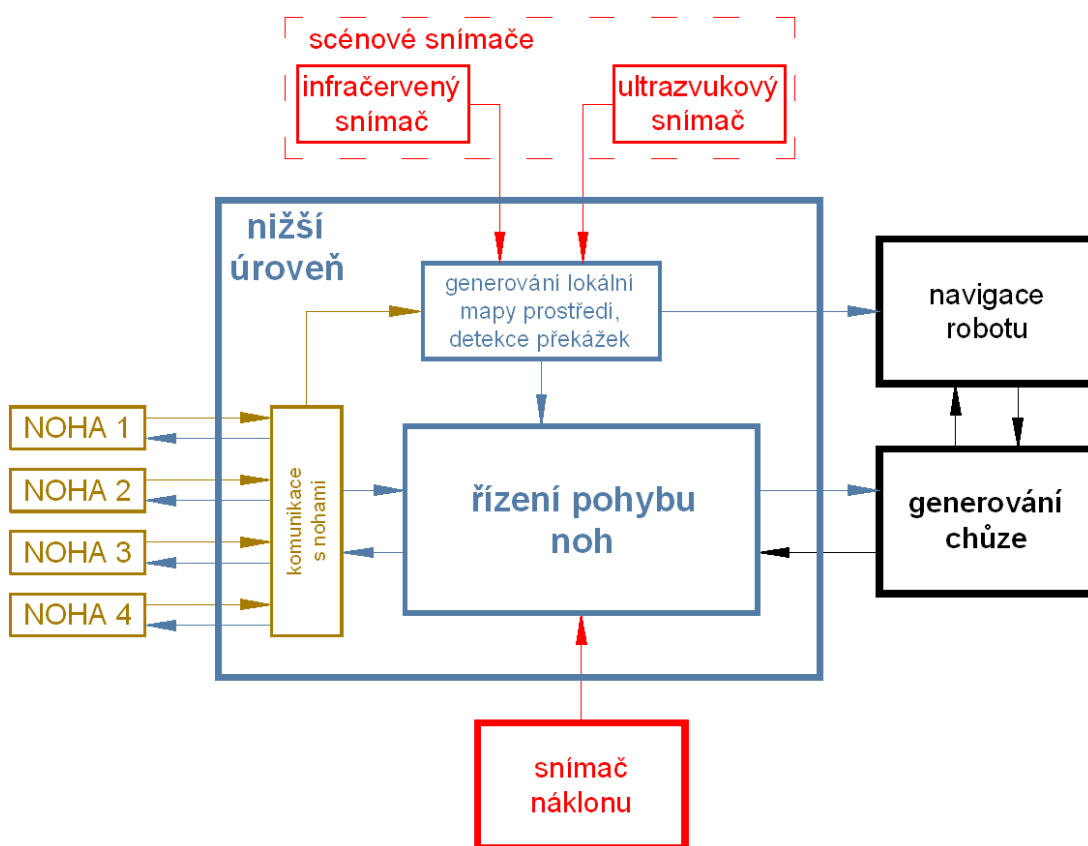
Dále je na základě znalosti aktuální polohy jednotlivých pohonů nohy určena poloha těžiště nohy robotu. V případě použití řízení dynamické chůze budou podle potřeby určovány požadované dynamické parametry nohy (momenty setrvačnosti).

3.4 ŘÍZENÍ POHYBU ROBOTU

3.4.1 Struktura řídicího systému nižší úrovně

Řídicí systém úrovně řízení pohybu lze rozdělit na tři hlavní moduly (obr. 7):

- modul řízení pohybu noh,
- modul komunikace s nohami,
- modul generování lokální mapy.



Obr. 7 Zjednodušené schéma řídicího systému nižší úrovně

Na obr. 7 jsou mimo modulů řídicího systému nižší úrovně zobrazeny také snímače náležící na tuto úroveň. Jsou to snímač náklonu, scénové a kolizní snímače představované infračervenými a ultrazvukovými snímači umístěnými na tzv. „senzorické věži“.

3.4.2 Snímání náklonu

Pro snímání náklonu bylo zvoleno použití MEMS gyroskopů, ale takto získaná hodnota je zatížena driftem gyroskopu. To znamená, že gyroskop je použitelný

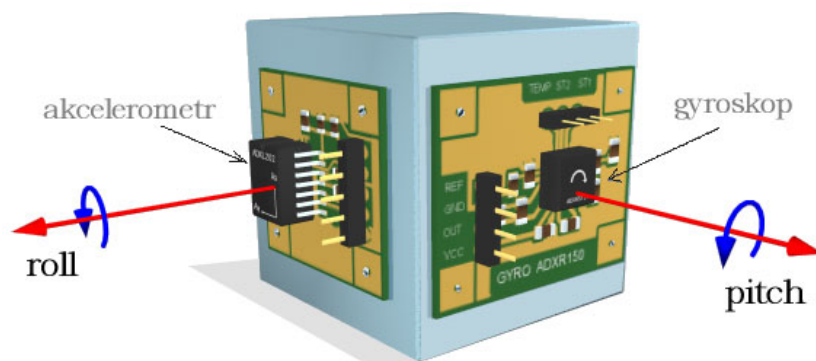
pouze pro krátkodobá měření. Proto musí být snímací soustava doplněna snímači, které umožní kompenzovat drift. K tomuto účelu byly vybrány MEMS akcelerometry, které ale měří mimo působení gravitačního zrychlení i zrychlení, způsobená pohybem snímače. Pro řešení problému je tudíž nutná fúze dat z obou typů snímačů, která provede kompenzaci chyb snímačů.

Návrh snímače náklonu

Fúze dat z obou typů snímačů lze provést s použitím komplementárního filtru, který byl popsán v [14]. Základní myšlenka spočívá v zavedení dvou filtrů, které odstraňují nevýhody obou snímačů, tj. drift a citlivost na pohyb. První filtr tvoří dolní propust druhého řádu (DP2Ř), který je aplikován na výstupní signál z inklinometru. Inklinometr pak poskytuje informaci o náklonu pouze při nízkých frekvencích (pomalé změny v náklonu). Druhý filtr tvoří horní propust druhého řádu (HP2Ř), a je aplikován na výstupní signál z gyroskopu. Gyroskop tak poskytuje informaci o náklonu pouze při vysokých frekvencích (velké změny v náklonu). Sečtou-li se informace z obou snímačů je výsledkem skutečný náklon.

Provedení snímače náklonu

Pro správnou funkci řešené senzorické soustavy je nutné správné rozmístění samotných snímačů, tj. akcelerometrů a gyroskopů. Jedno z možných uspořádání je na obr. 8.



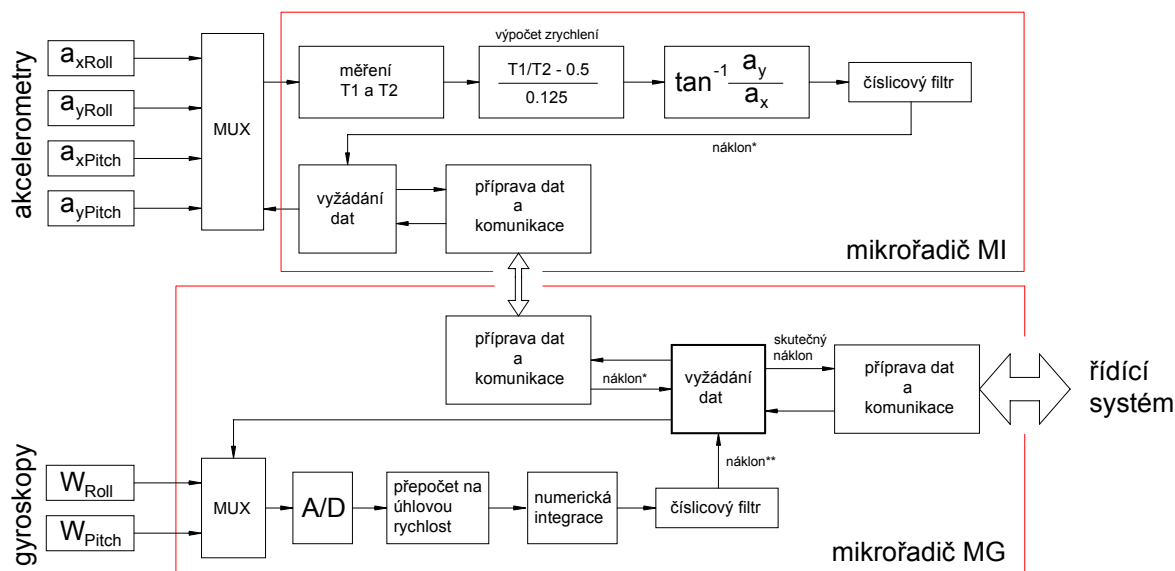
Obr. 8. Uspořádání čtyř snímačů, tj. dvou akcelerometrů a dvou gyroskopů na snímací kostce (akcelerometr je vždy na protější straně kostky vůči gyroskopu).

„Snímací kostka“ má po svých čtyřech stranách připevněny dva akcelerometry ADXL202 [15] a dva gyroskopy ADXRS150 [16]. Akcelerometry pro obě osy pitch a roll jsou umístěny vždy naproti gyroskopům a jejich citlivá osa x je orientovaná proti vektoru gravitačního zrychlení. Tím se zajistí kladné znaménko při měření gravitačního zrychlení.

Při umisťování akcelerometrů na snímací kostku je nutné dbát na to, aby citlivá osa snímače x byla při nulovém náklonu rovnoběžná s osou gravitačního zrychlení. To samé platí i pro gyroskopy. Vektor úhlové rychlosti při nulovém náklonu by měl ležet ve vodorovné rovině. Velikost kostky vychází z velikosti plošných spojů. Plošný spoj s gyroskopem má rozměry $35 \times 27 \text{ mm}$, plošný spoj s akcelerometrem $26 \times 26 \text{ mm}$. Z toho je volena velikost kostky $40 \times 40 \times 40 \text{ mm}$.

Umístění mikrořadičů obsluhujících všechny čtyři snímače musí být co nejbližší snímací kostce. Tím se omezí rušivé šumy, které by mohly senzorickou soustavu ovlivňovat.

Software snímače náklonu



Obr. 9. Tok dat senzorickou soustavou.

Změření náklonu začíná v bloku „vyžádání dat“ v mikrořadiči *MG*, který získává data z gyroskopů (viz. obr. 9). Ten posílá žádost na mikrořadič *MI* (zpracování dat z akcelerometrů), aby zajistil změření náklonu pomocí akcelerometrů. Samotný *MG* provádí měření náklonu pomocí gyroskopů tak, že vybraný analogový signál z gyroskopů převede pomocí *A/D* převodníku na digitální číslo, které přepočítává na úhlovou rychlost, pomocí numerické integrace získává informaci o náklonu a číslicovým filtrem horní propust upravuje data. Mezitím *MI* změří zrychlení v obou osách akcelerometru. Tato zrychlení se přepočtou na náклон a upraví číslicovým filtrem. Náклон z *MI* se posílá *MG* a zde se oba náklony sčítají. Tento postup se následně provádí i pro změření náklonu pro druhou osu.

Komunikace mezi oběma mikrořadiči a mezi mikrořadičem *MG* a nadřazeným řídicím systémem probíhá přes komunikační sběrnici *I²C* (*SMBUS*) podle standardního protokolu vytvořeným speciálně pro kráčivý robot.

Experimentální ověření činnosti akcelerometrické části snímače

Pro ověření správnosti navrženého hardwarového a softwarového řešení byl proveden experiment, který zkoumal chování snímače náklonu – inklinometru, realizovaného pomocí akcelerometru.

Statická přesnost snímače náklonu

Bylo provedeno několik jednoduchých měření náklonu pomocí realizovaného snímače. První sada měření byla provedena s nekalibrovaným snímačem, druhé se snímačem kalibrovaným. Měření bylo prováděno tak, že snímač byl uveden do

zkoumané polohy a v této bylo provedeno několik měření. Průměrné naměřené hodnoty a jejich rozptyl jsou v tab. 1.

skutečný náklon [°]	měřený náklon bez kalibrace snímače [°]	rozptyl	měřený náklon s kalibrací snímače [°]	rozptyl
0	-6,92	0,03	-7,25	0,05
45	38,93	0,04	38,51	0,43
90	83,06	0,06	83,71	0,08
135	131,91	0,11	133,10	0,09
180	188,65	0,05	189,57	0,04
270	-274,58	0,02	274,92	0,03

Tab. 1 Statická přesnost měření náklonu.

Z hodnot v tab. 1 je vidět zanedbatelný vliv kalibrace na výslednou přesnost akcelerometru. Protože chyba měření je mnohonásobně větší než rozptyl měřených hodnot, dá se předpokládat možnost zvýšení přesnosti snímače použitím lepšího způsobu interpretace měřených hodnot.

Zhodnocení realizovaného snímače náklonu

Provedený experiment i přes svou jednoduchost, prokázal použitelnost realizovaného hardware snímače. V software snímače je nutné použít lepší způsob interpretace měřených dat. Dá se předpokládat, že chyba snímače bude po úpravě algoritmu interpolace podobná rozptylu snímače, po tomto zpřesnění se projeví potřeba kalibrace snímače.

Pro další ověřování přesnosti snímače je nutné vytvořit přesnější měřicí přípravek, který umožní měřit výchylku snímače minimálně v řádu desetin stupně a provést ověření dynamické přesnosti. Přesný přípravek je nutný i pro provedení kalibrace snímače. Dále je nutné provést měření teplotní závislosti snímače a navrhnout algoritmus její kompenzace.

I při současné, poměrně velké chybě, je snímač použitelný pro účely řízení robotu.

3.4.3 Scénové a kolizní snímače

Scénové a kolizní snímače budou umístěny na měřicí věži. Měřicí věž bude osazena soustavou infračervených kolizních snímačů a soustavou scénových ultrazvukových snímačů.

Soustava infračervených kolizních snímačů

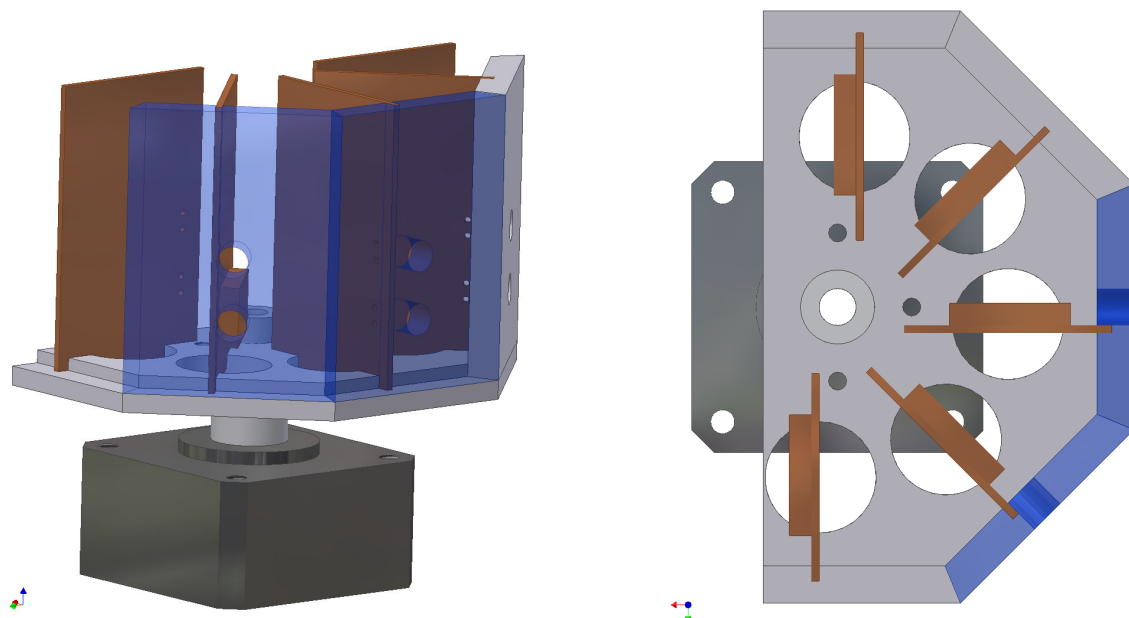
Snímač se je tvoří obslužný mikrořadič, zdroj a přijímač infračerveného záření. Princip činnosti: vyslaný infračervený paprsek se odrazí od předmětu a jeho část se vrátí zpět do přijímací části snímače, která vyhodnotí intenzitu přijatého záření. Intenzita přijatého záření však závisí na povrchu, tvaru a barvě předmětu, od kterého se paprsek odráží. Podle intenzity přijatého záření vyhodnocuje mikrořadič snímače vzdálenost snímače od překážky.

Soustava ultrazvukových scénových snímačů

Soustava ultrazvukových scénových snímače je v současnosti ve stádiu příprav návrhu prototypu, v této práci není více rozebírána.

Senzorická věž

Kolizní a scénové snímače budou rozmístěny na tzv. „senzorické věži“. Na obr. 10 je prvotní studie návrhu sensorické věže.



Obr. 10 Návrh sensorické věže

Studie věže předpokládá osazení pěti infračervenými a dvěma ultrazvukovými snímači. Celá věž je připevněna k rotoru krokového motoru, umožňující natáčení věže. Řízení činnosti věže zajišťuje mikrořadič C8051F007, který provádí sběr dat z jednotlivých snímačů, natáčení věží a distribuci mapy naměřených dat nadřazenému řídicímu systému. Připojení snímačů věže je realizováno pomocí sběrnice I²C, komunikace věže s nadřazeným systémem přes UART.

Software věže bude provádět fúzi sensorických dat z ostatních snímačů, korekci dat v závislosti na rychlosti a směru pohybu robotu. Výstupem snímače je mapa naměřených vzdáleností s krokem odpovídajícím úhlu jednoho natočení snímače.

Jak již bylo uvedeno, jedná se o prvotní návrh, nacházející se v počátečním stádiu studie. Realizován je pouze infračervený kolizní snímač.

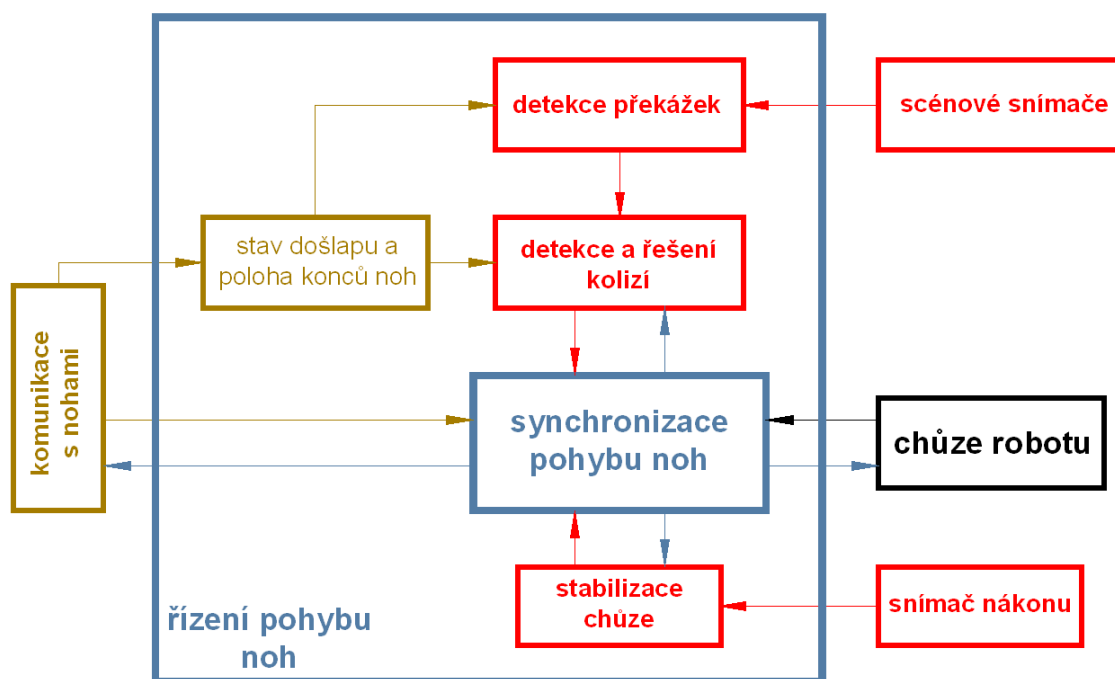
Věž je v této práci uvedena, protože představuje důležitou část sensorické soustavy robotu.

3.4.4 Moduly řídicího systému nižší úrovně

Řídicí systém nižší úrovně (obr. 7) je tvoří modul komunikace s nohami, modul generování lokální mapy prostředí a modul řízení pohybu.

Modul řízení pohybu noh

Modul řízení pohybu noh tvoří několik bloků (obr. 11), z nichž nejdůležitější je blok synchronizace pohybu chůze.



Obr. 11 Zjednodušené schéma modulu řízení pohybu noh

Blok detekce překážek

Tento blok je součástí jak modulu generování lokální mapy, tak modulu řízení pohybu. Zařazení tohoto bloku do dvou modulů je způsobeno odlišnými požadavky na data z tohoto bloku. Pro řízení pohybu noh je nutná co nejpřesnější znalost prostředí ve kterém se nachází pracovní prostor jednotlivých noh, pro generování lokální mapy se předpokládá zjednodušení informace o překážkách, ale v co největším okolí robotu.

Blok detekuje přítomnost překážek v pracovním prostředí jednotlivých noh a celého robotu. K detekci překážek je využíváno dat ze scénových snímačů a informace o poloze koncových bodů jednotlivých noh. Na základě těchto dat je tvořena okamžitá mapa nejbližšího pracovního prostoru robotu.

Blok detekce a řešení kolizí

Blok používá okamžitou mapu nejbližšího pracovního prostoru robotu (MNPP). Provádí kontrolu polohy překážek v MNPP na základě a informací o poloze, rychlosti a stavu došlapu jednotlivých konců noh.

Blok synchronizace pohybu noh předává tomuto modulu určené polohy a rychlosti jednotlivých konců noh. Ty jsou srovnány s MNPP a v případě detekce překážky je tento stav signalizován a je navržena nová poloha, která je předána bloku synchronizace pohybu noh.

Blok stabilizace chůze

Blok shromažďuje informace o náklonu, získané ze snímače náklonu. Je-li detekován náklon mimo povolený interval, předává modul synchronizace pohybu noh polohy koncových bodů robotu ke korekci náklonu.

Korekce náklonu se provádí geometrickým přepočtem poloh konců noh robotu s využitím informace o náklonu tak, aby při zachování požadované polohy byl vyrovnán náklon. Nově určené polohy koncových bodů jsou vráceny zpět bloku synchronizace pohybu noh.

Blok synchronizace pohybu noh

Blok převádí parametry chůze robotu získané z generátoru chůze podle aktuálního stavu robotu a geometrie robotu na polohy a rychlosti koncových bodů jednotlivých noh.

Aktuální stav robotu modul získává z jednotlivých noh přes modul komunikace, náklon z bloku stabilizace chůze. Po určení nových poloh koncových bodů noh, jsou tyto předloženy modulu detekce překážek na kontrolu. V případě detekce překážky, jsou určeny nové polohy na základě doporučení modulu detekce a řešení kolizí. Po získání platných souřadnic poloh konců noh je kontrolován náklon robotu a je provedena korekce náklonu modulem stabilizace chůze. Nakonec jsou nové polohy distribuovány odpovídajícím nohám.

Blok je zodpovědný za kontrolu stavu chůze, v případě výskytu chybového stavu, zastaví pohyb robotu a o vzniklém stavu informuje úroveň generování chůze, která na základě těchto informací změní parametry chůze nebo signalizuje chybový stav.

3.4.5 Modul komunikace s nohami

Zajišťuje distribuci požadovaných parametrů na jednotlivé nohy a zpětně zajišťuje sběr dat. Požadované parametry pro nohy jsou získávány z modulu synchronizace pohybu noh. Získaná data z jednotlivých noh obsahují aktuální polohu a rychlost koncového bodu nohy, polohu těžiště nohy a stav došlapu. Jednotlivé moduly a bloky získávají požadované informace o nohách robotu prostřednictvím tohoto modulu.

3.4.6 Modul generování lokálních map

Modul využívá bloku detekce překážek, který je součástí modulu řízení pohybu noh. Ze získaných informací generuje lokální mapu pracovního okolí robotu. Mapa je distribuována nadřazeným úrovním navigace robotu.

4 ZÁVĚR

Předložená práce se zabývá návrhem distribuovaného řídicího systému kráčivého robotu. Řešení problému zahrnuje současný návrh mechanické, elektrické a softwarové úrovně kráčivého robotu jako mechatronické soustavy (objektu). Z důvodu přílišné obsáhlosti problému jsou v práci řešeny pouze nižší vrstvy systému řízení až po modul generování způsobu chůze; tento již není součástí práce.

Jádro práce spočívá v kapitole 3 - Dosažené výsledky.

Mechanická konstrukce robotu je tvořena konstrukcí těla robotu a jednotlivých pantografických noh. Výhodou zvolené pantografické konstrukce je jednoduchá konstrukce, dobré rozložení sil a jednoduchý přímý i inverzní kinematický model. Realizovaný prototyp jedné nohy umožnil experimentální ověření funkčnosti nohy včetně příslušných řídicích systémů. Z výsledky experimentů byly vyvozeny závěry a na jejich základě bylo rozhodnuto o provedení změn v konstrukci nohy, volbě a doplnění sensorického systému a řídicího systému pohonů. Navržené změny je nutno simulačně ověřit a po ověření dokončit konstrukci těla robotu s následnou realizací jednotlivých noh. Některé změny vycházejí také z možnosti použít modernější komponenty (zejména elektronické), které nebyly v době návrhu prototypu na trhu.

Soustava řízení jednotlivých pohonných jednotek nohy je tvořena motorem, výkonovým členem, řídicím systémem pohonné jednotky, sensorickou soustavou pohonu a komunikačním blokem. Výkonovým členem je hybridní integrovaný obvod TLE 6209 R, jehož výhodou je integrovaná diagnostika činnosti, přístupná přes SPI rozhraní. Navrženou a částečně ověřenou sensorickou soustavou pohonu tvoří inkrementální snímač otáček HEDS 5540A, digitální teploměr DS18B20, modul měření proudu pohonem a modul pro měření napětí napájecího akupaku. Dále jsou definovány diagnostické prvky, které kontrolují a řeší odpovídající chybové stavy pohonu a je rovněž definována množina komunikačních příkazů pro tento modul.

Noha robotu je tvořena mechanickou konstrukcí se třemi pohony včetně jejich řídicích jednotek a dále elektronikou řídicího systému nohy a snímačem došlapu koncového bodu nohy. Řídicí jednotka nohy zajišťuje transformaci zadaných souřadnic a rychlostí z nadřazených úrovní do souřadného systému nohy a určování velikosti a směru síly působící v koncovém bodě nohy (došlap). Velmi důležitou částí práce je rozbor principu činnosti a návrh snímače došlapu. Citlivou část snímače tvoří odporová pryž CS57-7RSC, která mění při různém zatížení svůj odpor. Výhodou takového snímače je jednoduchost konstrukce i vyhodnocovací elektroniky. Nevýhodou je nelinearita a hystereze použitého materiálu. Proto je součástí práce algoritmus, který umožňuje věrohodný odhad skutečně působící síly. Snímač je ve stádiu přípravy výroby prototypu. Řídicí systém nohy robotu je realizován a je schopen polohového i rychlostního řízení konce nohy. Využití informací o došlapu v současné době není do řídicího systému nohy implementováno.

Řízení pohybu robotu tvoří modul řízení pohybu noh, modul komunikace s nohami a modul generování lokální mapy z dat příslušné sensorické soustavy. Modul řízení pohybu noh je rozčleněn na bloky. Hlavním blokem tohoto modulu je blok synchronizace pohybu noh, který parametry chůze, získané z úrovně generování stylu chůze, převádí na polohy koncových bodů noh. Polohy koncových bodů jsou předány ke kontrole bloku detekce překážek, ten v případě, že některá poloha koliduje s překážkou vygeneruje novou polohu konce (která nekoliduje), a vrátí polohy zpět. Je ověřena realizovatelnost polohy a případně dojde ke vrácení generované polohy. Platné polohy koncových bodů jsou poté předány bloku stabilizace chůze, který provede kompenzaci náklonu plošiny robotu. Poté jsou tyto polohy distribuovány pomocí komunikačního bloku jednotlivým nohám.

Blok detekce překážek používá informace z navržené soustavy scénových a kolizních snímačů, umístěných na tzv. „sensorické věži“. Prvotní návrh sensorické věže předpokládá použití pěti navržených infračervených kolizních snímačů a dvou ultrazvukových snímačů. Výstupem snímače bude okamžitá mapa vzdáleností od překážek.

Blok stabilizace chůze využívá informace o náklonu získávané snímačem náklonu. Snímač náklonu byl navržen jako soustava dvou dvouosých akcelerometrů a dvou jednoosých gyroskopů. Výhodou navrženého snímače jsou malé rozměry a nízká spotřeba. Nevýhodou je jeho nižší přesnost. Statické ověření přesnosti bylo provedeno měřením. Bylo zjištěno, že přesnost měření snímače je na hranici použitelnosti, rozptyl naměřených hodnot snímače je však o několik řádů nižší. Z toho vyplývá, že přesnost snímače lze zvýšit použitím přesnějšího způsobu interpolace měřených hodnot.

Navržený a částečně realizovaný distribuovaný řídicí systém kráčivého robotu je možno považovat za základní část složité mechatronické soustavy – čtyřnohého kráčivého robotu.

4.1 PŘÍNOS PRÁCE V TEORETICKÉ OBLASTI

Přínos práce v teoretické oblasti je možno spatřovat v kritickém rozboru problematiky a specifikaci nejdůležitějších podsystémů nižší úrovně řízení čtyřnohého kráčivého robotu.

Jmenovitě se jedná zejména o:

- specifikaci úrovně řídicího systému robotu,
- specifikaci komunikace úrovně řídicího systému robotu,
- návrh sensorické soustavy robotu,
- návrh originálního řešení snímače došlapu nohy a originálního řešení hardware snímače náklonu robotu.

Další přínos je možno vidět ve formulaci závěrů pro další výzkumné a vývojové práce na základě vyhodnocení praktických experimentů, a to jak pro systémy nižší úrovně řízení, tak pro systémy vyšších úrovní řízení.

4.2 PŘÍNOS PRÁCE V PRAKTICKÉ OBLASTI

Přínos práce v praktické oblasti je možno spatřovat v experimentálním ověření funkčnosti mechanické konstrukce, hardware a software jednotlivých částí a celého systému nižší úrovně řízení čtyřnohého kráčivého robotu. Byly realizovány a funkčně ověřeny následující dílčí části fyzikálního modelu čtyřnohého kráčivého robotu:

- mechanická konstrukce prototypu jedné nohy robotu s jednotlivými pohony,
- hardware a software řízení pohonných jednotek jedné nohy včetně senzorické soustavy a komunikací,
- hardware a software akcelerometrické části snímače náklonu.

Realizované a funkčně ověřené komponenty ukazují, že zvolená koncepce mechanické konstrukce a distribuovaného systému řízení robotu může vést k úspěšnému řešení celé problematiky konstrukce a řízení chůze čtyřnohého kráčivého robotu.

Výsledky praktických experimentů rovněž potvrdily otevřenost zvolené struktury řídicího systému pro aplikaci různých metod řízení včetně algoritmů umělé inteligence a schopnost robotu být vhodnou platformou pro jejich implementaci.

Výsledky práce byly získány v rámci projektů MSM 262100024 „Výzkum a vývoj mechatronických soustav“, pilotního projektu ÚT AV ČR č. 52020 „Řízení kráčivého robotu s využitím metod umělé inteligence“, projektu navazujícího č. 52022 „Realizace základních řídicích členů kráčivého robotu“. A za podpory výzkumného záměru CEZ: J22/98: 261100009 „Netradiční metody studia komplexních a neurčitých systémů“.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Paulík, K.: Návrh a realizace řídicí soustavy nohy kráčivého robotu, Diplomová práce, ÚMT FSI VUT v Brně, 2003
- [2] Hadaš, Z.: Vytvoření modelu nohy robota pro optimalizaci hmotnosti mechanismu, Diplomová práce, ÚMT FSI VUT v Brně, 2003
- [3] Sajfirt, L.: Návrh inverzního kinematického řízení pohybu pantografické nohy kráčivého robotu, Diplomová práce, ÚMT FSI VUT v Brně, 2003
- [4] Rýznar, J.: Mechanická konstrukce nohy kráčivého robotu, Diplomová práce, ÚMT FSI VUT v Brně, 2003
- [5] Houška, P., Březina, T., Singule, V.: Koncepce mechatronické soustavy nohy kráčivého robotu, Inženýrská mechanika 2002, Svatka, 2002, str. 87-88
- [6] Maxon 2001, Katalog, Maxon Motor ag., 2001
- [7] Cell Type RC-3300HV Specifications, Sanyo, 2003
- [9] ADuC814 - MicroConverter®, Small Package 12-Bit ADC with Embedded FLASH MCU, data sheet, Analog Devices, Inc., 2002
- [11] Quick Assembly Two and Three Channel Optical Encoders, data sheet, Agilent Technologies, 2002
- [8] TLE 6209 R - 7A H-Bridge for DC-Motor Applications, data sheet, Version 3.0, Infineon Technologies, 2001
- [10] ATtiny15L - 8-bit AVR Microcontroller with 1K Byte Flash, data sheet, Atmel, 2002
- [16] ADXRS150 –Single Chip Yaw Rate Gyro with Signal Conditioning, data sheet, Analog Devices, Inc., 2003
- [12] Volf, J., Holý, S., Vlček, J.: Using of tactile transducer for pressure-distribution measurement on the sole of the foot, Sensors and Actuators, Elsevier, 1997, pp. 556-561
- [13] C8051F000/1/2/5/6/7, C8051F010/1/2/5/6/7 Mixed-Signal 32KB ISP FLASH MCU Family, data sheet, Cygnal Integrated Products, 2002
- [14] Baerveldt A. J., Klang R.: A low cost and low weight attitude estimation system for an autonomous Helicopter, Halmstad University
- [15] ADXL202/ADXL210 –Low Cost Dual Axis iMEMS Accelerometers with Digital Output, data sheet, Analog Devices, Inc., 1999

SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ AUTORA

1. Singule, V., Šimeček, K., Malý, A., Houška, P., Lojek, O.: Design and Some Results of Realisation of the Omnidirectional Mobile Robot, International Conference Mechatronics 2000, Waršava – Polsko, pp. 71-74
2. Lojek, O., Houška, P., Malý, A., Singule, V.: Sensorické Systémy A Jejich Využití Pro Navigaci Autonomního Lokomočního Robotu OMR III, Kolokvium – diagnostika a aktivní řízení, Třešť – ČR, 2000
3. Houška, P., Lojek, O., Malý, A., Singule, V.: Architecture of the Mobile Robot OMR III, Kolokvium – diagnostika a aktivní řízení, Třešť – ČR, 2000, pp. 19-20
4. Singule, V., Šimeček, K., Malý, A., Houška, P., Lojek, O.: The Autonomous Omnidirectional Mobile Robot as Mechatronic System, Elektrické pohony a výkonová elektronika Epve2000, Brno – ČR, 2000
5. Houška, P., Lojek, O., Singule, V.: Struktura Úrovní Mobilního Robotu OMR III, Soutěž vědeckých nebo výzkumných prací doktorandů FSI, Brno – ČR, 2000, str. 87-90
6. Lojek, O., Houška, P., Singule, V.: Ztotožňování globální a lokální mapy pro navigaci ALR OMR III, Soutěž vědeckých nebo výzkumných prací doktorandů FSI, Brno – ČR, 2000
7. Houška, P., Lojek, O., Singule, V., Březina, T.: Controls and Sensoric System the Mobile Robot OMR III, ENGINEERING MECHANICS 2001, Svatka, ČR, 2001, str. 104-105
8. Houška, P., Lojek, O., Singule, V., Březina, T.: Řídící a sesorický system autonomního všesměrového robotu OMR III, XXVII. Celostátní Konference o Elektrických Pohonech, Plzeň, ČR, 2001, str. 197-202
9. Singule, V., Houška, P., Lojek, O.: Structure of Levels of Control System and Creation and Matching of Maps on Autonomous Omnidirectional Mobile Robot OMR III, Mechatronika 2001, Trenčanské Teplice, Slovakia, 2001, pp. 129-134
10. Singule, V., Houška, P., Lojek, O.: Structure of Sensoric and Control System of Autonomous Omnidirectional Mobile Robot OMR III, ICPR - 16, Praha, ČR, 2001, pp. 197
11. Singule, V., Houška, P., Lojek, O.: Function of Control and Sensoric System of Autonomous Omnidirectional Mobile Robot OMR III, EDPE 2001, The High Tatras, Slovakia, 2001, pp. 413-418
12. Singule, V., Lojek, O., Houška, P.: Control and Sensoric Subsystem of Mechatronics System OMR III, Zeszyty Naukowe Politechniki Slaskej - Elektryka, Ustron, 2001, pp. 195-202
13. Houška, P., Lojek, o., Březina, T., Singule, V.: Analýza a Simulace Řízení Lokomoce Všesměrového Podvozku Autonomního Lokomočního Robotu, FSI Junior konference 2001, Brno, ČR, pp. 64-65
14. Ehrenberger, Z., Březina, T., Houška, P.: Quaternion Applications for Robot, INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002, Svatka, ČR, 2002, str. 45-46

15. Houška, P., Březina, T., Singule, V.: Koncepce mechatronické soustavy nohy kráčivého robotu, INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002, Svratka, ČR, 2002, str. 87-88
16. Březina, T., Houška, P., Singule, V.: Learning based control system of four-legged robot, INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002, Svratka, ČR, 2002, str. 9-10
17. Lojek, O., Houška, P., Singule, V.: Aplikace algoritmů ztotožňování lokální a globální mapy prostředí pro lokalizaci mobilního robotu, INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002, Svratka, ČR, 2002, str. 163-164
18. Březina, T., Houška, P., Singule, V.: Usage of Learning in Four-Legged Robot Control, SEKEL 2002, Trenčín, SK, 2002, pp. 87-90
19. Houška, P., Březina, T., Singule, V.: Control and synchronization drive unit of leg of walking robot, Mechatronics, Robotics and Biomechanics 2003, Hrotovice, ČR, 2003, pp. 111-112
20. Březina, T., Ehrenberger, Z., Houška, P., Singule, V.: Extended Architecture For Autonomous Robots, Mechatronics, Robotics and Biomechanics 2003, Hrotovice, ČR, 2003, pp. 101-102
21. Březina, T., Houška, P., Singule, V.: Using Q-learning for four-legged robot walking control, Mechatronics, Robotics and Biomechanics 2003, Hrotovice, ČR, 2003, pp. 103-104
22. Houška, P., Ehrenberger, Z., Březina, T., Singule, V.: The Use of Leg Landing Information for Walking Robot Control, Engineering Mechanics 2003, Svratka, ČR, 2003, str. 118-119
23. Březina, T., Houška, P., Singule, V., Sedlák, P.: Walking Gait of Four-Legged Robot Obtained Throug Q Learning, Engineering Mechanics 2003, Svratka, ČR, 2003, str. 36-37
24. Březina, T., Houška, P., Singule, V.: Q-LEARNING APPLICATION ON FOUR-LEGGED ROBOT WALKING CONTROL, Mechatronics, Trenčanské Teplice, SK, 2003
25. Březina, T., Houška, P., Singule, V.: THE LEG CONTROL OF WALKING ROBOT BY MINIMIZATION PROCESS, EDPE 2003, High Tatras, SK, 2003, cd-rom
26. Houška, P., Singule, V., Březina, T., Ehrenberger, Z.: CONTROL OF DYNAMIC STABILITY OF MOVING THE FOUR-LEGGED WALKING ROBOT, Engineering Mechanics 2004, Svratka, ČR, 2004
27. URČOVÁNÍ ODKLONU TĚLA KRÁČIVÉHO ROBOTU
28. Houška, P., Kopinec, M., Liška, M., Singule, V.: SENSING OF THE PLATFORM POSITION OF THE WALKING ROBOT, ICM 2004, Praha, ČR, 2004, cd-rom
29. Houška, P., Singule, V., Březina, T., Ehrenberger, Z.: Control of Dynamic Stability of the Four-Legged Walking Robot Movement, Mechatronics 2004, Warsaw, PL, 2004, str. 39-43

CURRICULUM VITAE

Jméno: Ing. Pavel Houška
Narozen: 26.9.1973, Počátky
Národnost: česká
Občanství: ČR
Rodinný stav: svobodný

Vzdělání

1988-1991

SOU Strojírenské, Soběslav,
vyučen v oboru „Mechanik pro stroje a zařízení“

1991-1994

SPŠ Strojní, České Budějovice,
ukončeno maturitou

1994-1999

FSI VUT v Brně, Ústav mechaniky těles,
magisterské studium, obor Mechatronika, ukončeno „státní závěrečnou
zkouškou“

1999-2004

FSI VUT v Brně, Ústav mechaniky těles mechatroniky a biomechaniky,
doktorské studium

Pedagogická činnost

V rámci doktorského studia výuka předmětů Kinematika, Fuzzy systémy a
neuronové sítě

Praxe

1991-1994

Obráběč kovů, Lada, a.s. pobočka Jindřichův Hradec

1998-2004

Vývojový pracovník - programátor, SMART spol. s r.o.
oblasti činnosti - vývoj softwaerových aplikací pro mikrořadiče a PC-
regulace, měření, docházkové systémy;
reference: Ing. Vlastimil Jaroš,
web: www.smartbrno.cz – sekce „Programovatelné regulátory pro
elektrotepelná zařízení“ a „Měřiče a regulátory pro teplotní a energetiku“
web: www.technopark.cz – sekce „Přístupové systémy, docházka, turnikety“

2002-2004

Technický pracovník, ÚMTMB FSI VUT v Brně;
oblasti činnosti – vývoj mechatronických soustav.
reference: Doc. RNDr. Ing. Tomáš Březina, CSc.

Jazykové znalosti

angličtina - aktivní znalost;
ruština - aktivní znalost.

Jiné znalosti

řidičské oprávnění pro skupiny A, B

Zájmy

Mechatronika, počítače, programování, programovací jazyky, mikroprocesorová technika a počítačový hardware, elektronika, robotika, modelářství, strojírenství – konstrukce a CAD systémy, kultura.

ABSTRACT

Presented thesis deals with the proposal of distributed control system of four-legged walking robot. Problem solving includes current design of mechanical, electrical and software level of walking robot as mechatronic system (object). Due to high complexity of the problem the thesis deals only the problem of lower layers of the system up to the gait generation module, which is not the part of this work.

Analytical section of thesis shows the analysis of present state in walking robots research worldwide and defines the most important basic terms for problems solved in thesis, e.g. definition of robot stability or landing of robot's leg end point. Subsequently the basic structure of control system of walking robot is defined as well as definition of layers connection and its communication protocol.

The core part of thesis deals with proposal of mechanical design, hardware including the sensor system and software for lower levels of robot control.

Proposed sensor system of the robot consists of scene and collision sensors, leg end point landing sensor and robot's body inclination sensor.

Mechanical design of given robot consists of robot's body and four pantographic legs. The leg of the robot is equipped with three drives. A prototype of the single leg was build to experimentally verify its function. Robot leg consists of three geared drives, position sensor and control modules, leg control system with electronics and sensor of leg endpoint landing sensor.

Robot movement control is performed by module of legs control, module for communication with legs, module of local map generation and those modules process data from sensor system. Sensor system of scene and collision sensors is put in sensor tower. Inclination sensor is proposed as the system of two two-axis accelerometers and two single-axis gyroscopes and is located as close to the robot body CG as possible. Proposed sensor is of small dimension s and has low power requirements. Its disadvantage is lower precision, but a method to improve inclination measurements precision is proposed.

Proposed and partially implemented distributed control system of walking robot can be considered the basic part of complex mechatronic system – four-legged walking robot.