

DESIGN CONCEPTION OF MULTIPROCESSOR CONTROL SYSTEM FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOT

Š. Szabó*, R. Knoflíček**

Summary: *The present technological trends in area of microelectronics and sensorics allow a rapid research and develop in many application regions. One of the regions is the research of the autonomous mobile robots. Recently, there is an effort to convert the academic development of the individual prototypes into the serially produced mobile systems, which are widely used in practice. These systems are more and more used in different areas of infrastructure (cleaning mobile systems, mobile systems in hospitals, etc.), in the civil engineering and the machine building.*

In connection with the intention of the project: Research Centre for Engineering Manufacturing Techniques and Technology, project No. 6: Automatic Manipulation in Technological Workplaces and Manufacturing Systems, is solved research, development and realisation of the autonomous mobile robot (with working name VUTBOT 2) and its integration into manufacturing system.

This paper deals with the multiprocessor control system design for experimental autonomous mobile robot for automatic attendance of manufacturing system, on which all of the experiments will be done for local and global navigation. The article summarizes achieved results in machineware, hardware and software research works, too.

1. Úvod

Vývoj ve světě dokazuje, že v technologických pracovištích a ve výrobních systémech se jako účelné jeví využití mobilních robotů (MR) – autonomních lokomočních robotů (ALR), s určitým stupněm autonomnosti chování. Proto byl zahájen vývoj a výroba další generace z rodiny robotů VUTBOT, který bude realizován z nově vyvinutých a vyrobených, ale i běžně dostupných stavebních prvků (komponent), funkčních bloků a montážních celků, jako maximálně otevřený aplikačně multifunkční a variabilní systém.

Na základě praktických zkušeností z prototypového vývoje mobilních robotů na ÚVSSaR FSI VUT v Brně, kdy se osvědčilo souběžně pracovat na zmenšeném fyzikálním modelu

* Dipl. Eng., Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Technická 2, 616 69, Brno, Czech Republic, tel: ++420 5 4114 3418, e-mail: szabo@uvss.fme.vutbr.cz

** Assoc. Prof. Dipl. Eng., PhD, Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Technická 2, 616 69, Brno, Czech Republic, tel: ++ 420 5 4114 2474, e-mail: knoflicek@uvss.fme.vutbr.cz

mobilního robotu, byl zvolen tento postup i projektu VUTBOT 2. Na tomto fyzikálním modelu byla především ověřena správnost a funkčnost, resp. provozuschopnost koncepce nejdůležitějších částí mobilního robotu, jmenovitě řídicího systému – hardware, software i brainware dříve, než bude vyroben podvozek vlastního mobilního robotu.

Pomocí fyzikálního modelu byl vybrán a otestován procesor, který bude tvořit jádro víceprocesorového řídicího systému. Byly odladěny dílčí metody řízení, komunikace pomocí radiového modulu a diskrétní regulace rychlosti a polohy maquineware.

Byla tedy vypracována koncepce řídicího systému fyzikálního modelu, v návaznosti na přijatou koncepci lokomočního ústrojí. Následně byl analyzován kinematický model tohoto podvozku, který je důležitý zejména pro odvození kinematických rovnic řízení.

2. Inteligentní robot

Inteligentním robotem se rozumí systém, který je schopen autonomní i cílově orientované interakce s reálným prostředím, je schopen vnímat a rozpoznávat prostředí, v něm se nachází, je schopen vytvářet si a průběžně modifikovat jeho model a především je schopen samostatně řešit i složitější úlohy podle instrukcí zadaných člověkem. Takový robot rozhoduje o vlastní činnosti na základě vnitřní reprezentace vnějšího prostředí, v souladu se zadanými cíli a obvykle je schopen ovlivňovat změny prostředí manipulováním s předměty vlastním pohybem. Musí být také schopen průběžné komunikace s člověkem, a to v přirozeném nebo umělém jazyce. To vše znamená, že inteligentní robot si musí na základě poznání cíle zadané úlohy sestavit vlastní plán řešení úlohy a tento následně také vykonat. Algoritmický systém inteligentního robotu, který je schopen automaticky generovat odpovídající plány na řešení úloh v daném prostředí, se obvykle nazývá plánovacím systémem nebo také generátorem plánu a vychází z poznatků teorie řešení úloh a automatického plánování a rozvrhování činností.

Každý autonomní robot by měl mít tyto dvě důležité vlastnosti:

- situovanost, robot musí být uzpůsoben podmínkám okolního prostředí, ve kterém má působit. Musí být schopen část toho prostředí vnímat a tak na své nejbližší okolí působit,
- autonomnost, znamená schopnost samostatně pracovat v prostředí v zájmu cílů, kterých má být dosaženo.

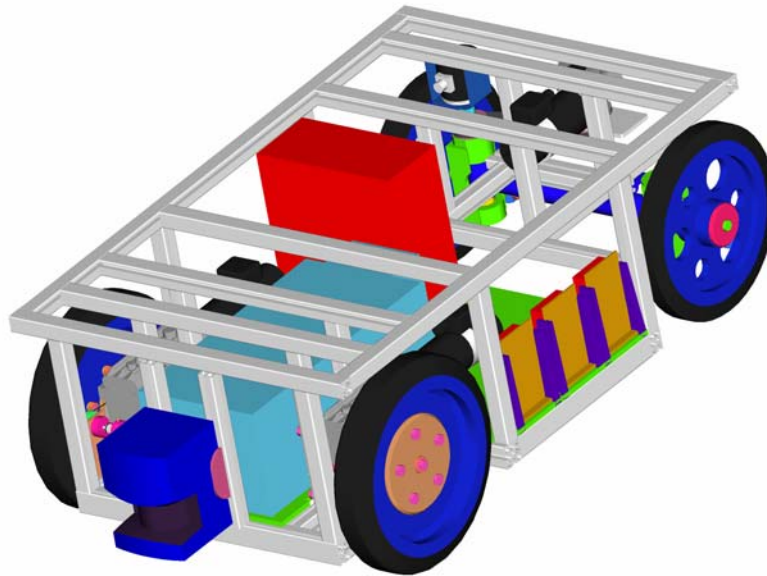
Hlavní požadavky na autonomní mobilní roboty tedy leží především v oblasti:

- lokomočního systému (podvozek) – pohyb, manévrovací schopnosti, atd.
- řídicího systému – plánovací a manévrovací algoritmy, sensorika, atd.

Intelligence“ resp. „inteligentní“ chování mobilních robotů je dáno jak řídicím algoritmem, tak i koncepcí celého řídicího systému, který musí umožnit snadné programové a hardwareové rozšíření „schopností“ ALR. Proto tvoří správný výběr řídicího systému důležitý předpoklad pro úspěšnou implementaci různých algoritmů a systémů do vlastního ŘS.

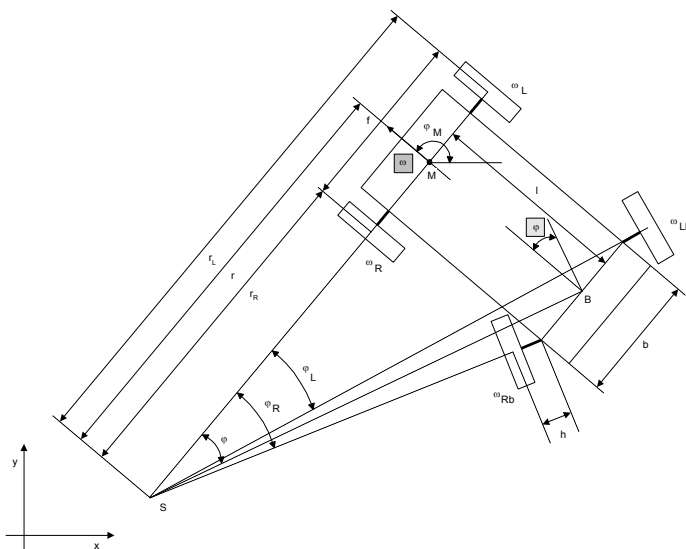
3. Kinematický model robotu

Důležitým aspektem při navrhování koncepce lokomočního systému mobilních robotů je charakter povrchu terénu, po kterém se pohybují. Na základě znalosti pracovního prostředí a povahy podložky, byla zvolena koncepce čtyřkolového podvozku, řízeného Ackermanovým způsobem (viz obr. 1).



Obr. 1: Konstrukční návrh mobilního robotu

Sestavení kinematického modelu, jehož schéma je uvedena na obr. 2, má velký význam pro technicky správné řízení robotu. Matematický popis kinematického modelu je pak implementován do řídicího algoritmu a tím umožní pomocí dat z odometrických senzorů průběžný výpočet polohy a orientace mobilního robotu v uvažovaném 2-D prostředí. Rovnice jsou především důležité při plánování trajektorie a při lokální navigaci, kde mohou sloužit jako další kriteriální funkce (max. poloměr dráhy, max. rychlost podvozku atd.).



Obr. 2: Schéma pro určení kinematických rovnic

Úhlové rychlosti předních kol se nastavují na základě požadované hodnoty rychlosti \underline{v} a úhlu $\underline{\varphi}$. Úhlový diferenciál pootočení zadních kol je zabezpečen vhodnou mechanickou konstrukcí.

Za předpokladu, že:

- pohyb modelu je rovinný,
- kontakt mezi koly a povrchem je bodový,
- robot je pevné těleso,
- spojení vazeb je bez tření,
- otáčení kol je bez prokluzů,

jsou rovnice čtyřkolového podvozku následující:

jsou-li vstupními hodnotami natočení kol $\underline{\varphi}$ a rychlost pohybu

v , pak v bodě M platí:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{l}{r} \Rightarrow r = \frac{l}{\operatorname{tg}(\varphi)} \quad (1)$$

potřebné úhlové rychlosti předních kol:

$$\omega_L = \frac{v}{r_F} \left(1 + \frac{f}{2r}\right), \quad \omega_R = \frac{v}{r_F} \left(1 - \frac{f}{2r}\right) \quad (2)$$

pootočení zadních kol:

$$\operatorname{tg}(\varphi_R) = \frac{l}{r_R + \frac{f-b}{2}} = \frac{l}{r - \frac{b}{2}}, \quad \operatorname{tg}(\varphi_L) = \frac{l}{r_L - \frac{f-b}{2}} = \frac{l}{r + \frac{b}{2}} \quad (3)$$

časová změna orientace robotu:

$$\frac{d\varphi_M}{dt} = \frac{\omega_L r_F}{r + \frac{f}{2}} = \frac{\omega_R r_F}{r - \frac{f}{2}} \Rightarrow \frac{d\varphi_M}{dt} = \frac{r_F}{f} (\omega_L - \omega_R) \quad (4)$$

časová změna polohy robotu:

$$\frac{dx_M}{dt} = r_F \frac{\omega_L + \omega_R}{2} \cos(\varphi_M) \quad (5)$$

$$\frac{dy_M}{dt} = r_F \frac{\omega_L + \omega_R}{2} \sin(\varphi_M) \quad (6)$$

kde:

φ	je žádaná hodnota pootočení zadních kol,
v	je žádaná hodnota rychlosti bodu M,
r	poloměr dráhy bodu M,
f, l, b, h	geometrické rozměry robotu,
r_F	poloměr předních kol,
ω_L, ω_R	úhlové rychlosti předních kol,
φ_L, φ_R	úhly pootočení zadních kol,
φ_M	orientace podvozku v souřadném systému,
x_M, y_M	poloha bodu M.

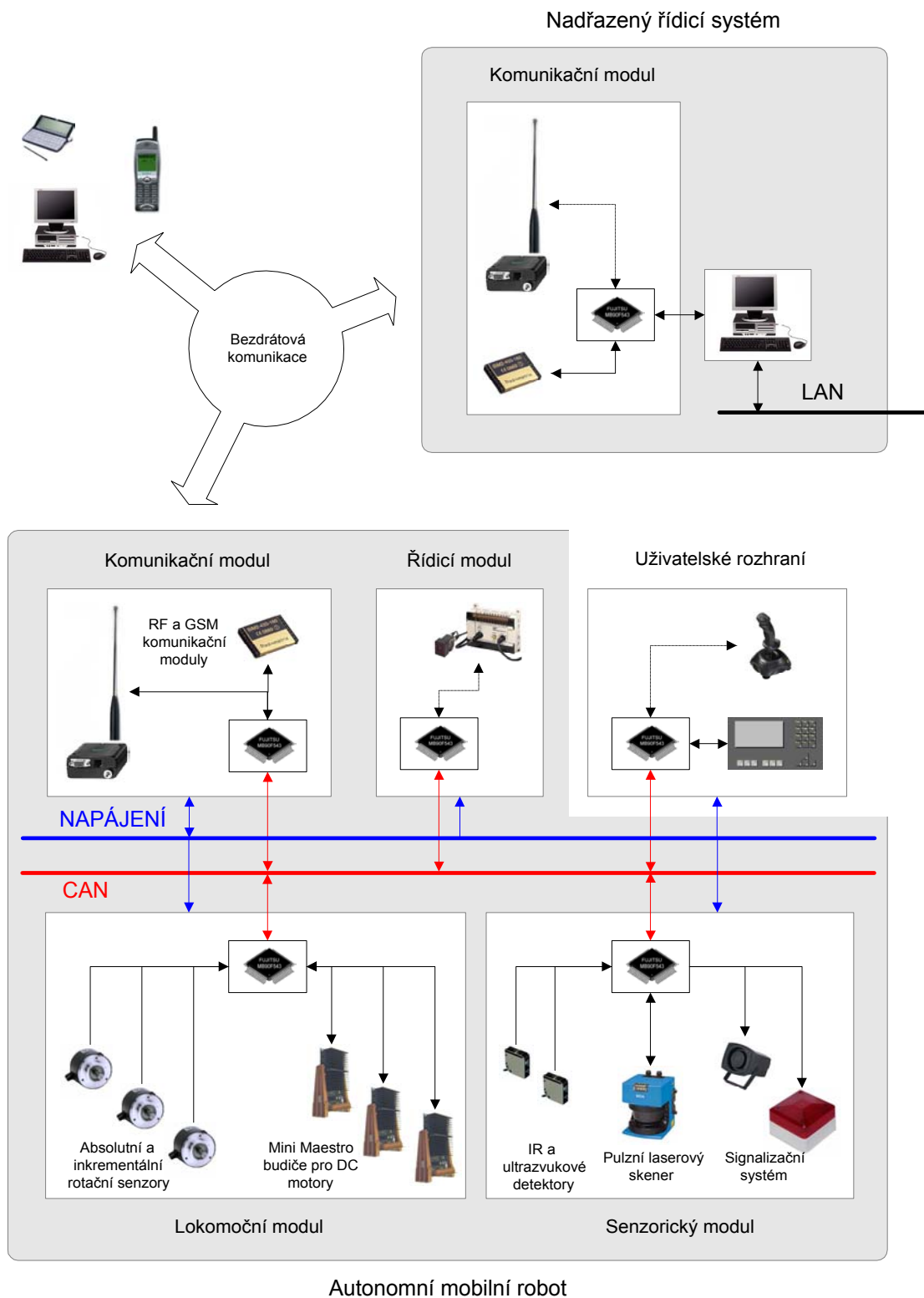
4. Koncepce řídicího systému

ŘS je řešen jako víceprocesorový distribuovaný systém složený z několika samostatných procesorových modulů (viz obr. 3).

ŘS se skládá ze tří hlavních, vzájemně souvisejících částí:

- mobilní podvozek s víceprocesorovým řídicím systémem,
- modul vyšší vrstvy řízení, který reprezentuje vstupní/výstupní komunikační bránu, a může sloužit ke specifikaci činnosti ALR, zadávání globální mapy a monitorování činnosti.

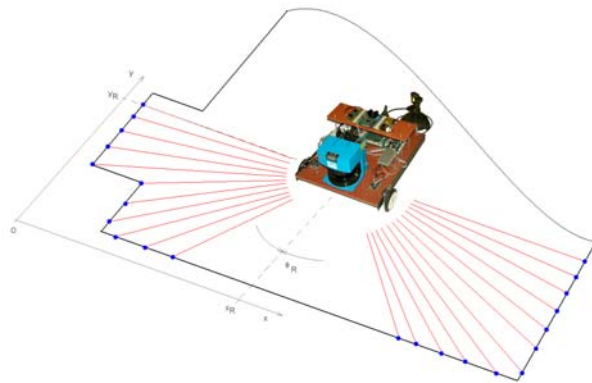
Další, neméně důležitou částí řídicího systému, mohou být mobilní řídicí systémy, sloužící k monitorování a případně k řízení činnosti ALR.



Obr. 3: Blokové schéma distribuovaného řídicího systému

Řídicí systém mobilního robotu je rozčleněn do několika funkčních bloků:

- **Komunikační modul** - Modul obsahuje radiofrekvenční transceiver pro bezdrátovou komunikaci s pružným výrobním systémem a další komunikační moduly pracujících na různých principech (GSM komunikační modul pro komunikaci formou SMS zpráv). Zajišťuje doručení zpráv mezi robotem a výrobním systémem, resp. operátorem. Přijmuté zprávy jsou zasílány po sběrnici CAN příslušným modulům.
- **Senzorický modul** - Vnímání prostředí je nejdůležitějším požadavkem, který na autonomní systémy klademe. Bez vnímání bezprostřední situace i vlivů okolí si vlastně inteligentního robota nelze ani představit. Podle charakteru vnímání, pak hovoříme o vizuálním vnímání a analýze scény, resp. o počítačovém vidění, akustickém vnímání či zpracování informace z taktilních senzorů. Všechny druhy vnímání prostředí využívají k dosažení požadovaných závěrů různých metod a prostředků rozpoznávání. Navržený autonomní robot bude disponovat multisenzorickou soustavou, pod která je autory představována jako soustava několika typů senzorů, pracujících na různých fyzikálních principech:
 - laserový skenovací systém, který pracuje v IR vlnění oblasti, a na výstupu dává dva typy signálů, které umožní monitorovat a vyhodnocovat okamžité kolizní stavy (LLSS) a zároveň vytvářet globální a lokální mapy prostředí, v němž má ALR vykonávat svoji činnost,
 - sada infračervených snímačů pro redundantní monitoring synchronizačních znaků,
 - havarijní taktilní antikolizní snímače.
- **Lokomoční modul** - Tento modul zajišťuje řízení a regulaci DC motorů poháněných kol a výpočet polohy a orientace robotu na základě měřených veličin (odometrické senzory). V závislosti na žádané hodnotě rychlosti a směru jízdy, se vypočítávají rychlosti předních hnaných kol (elektrický diferenciál). Nepřesnost odometrických senzorů způsobuje časově narůstající odchylku mezi vypočtenou a přesnou polohou a orientací robotu. Tuto chybu lze eliminovat pomocí dalších senzorů a metod, jako např. metoda „map matching“ – tedy porovnání map. Metoda porovnává globální mapu s mapou získanou ze senzorického systému. Přibližná poloha a orientace robotu pak urychluje proces a zmenší časovou náročnost metody (nemusí se prohledávat celé 2-D prostředí (viz obr. 4).
- **Modul řízení** - Modul bude zajišťovat vyšší stupeň řízení robotu (navigace, plánování, analýza tras, řešení kolizních stavů apod.). Zabezpečuje výpočet žádaných veličin pomocí plánovacího algoritmu pro dosažení určité cílové polohy a orientace. K modulu může být připojen kamerový rozpoznávací systém pro detekci kódových znaků a pro další rozšíření o možnost manipulace s prostorově neorientovanými součástmi,



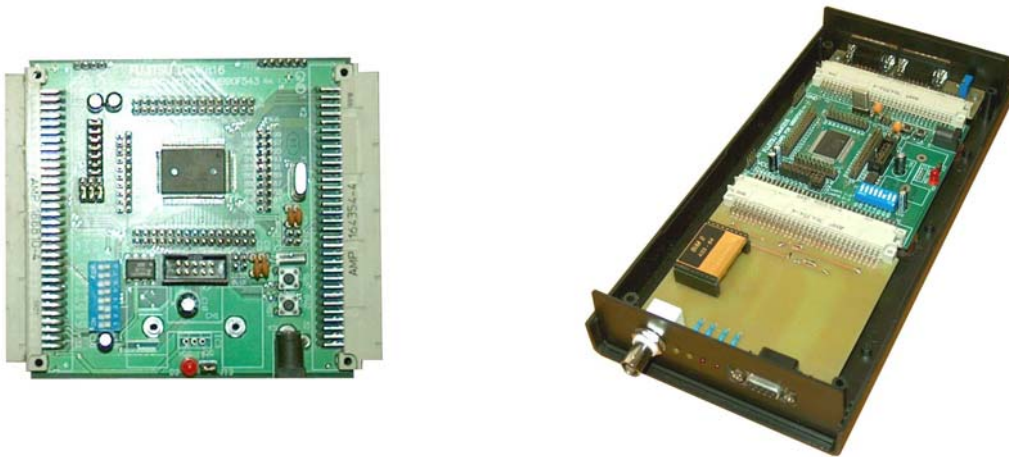
Obr. 4: Stanovení lokální/globální polohy mobilního robotu

- **Modul uživatelského rozhraní** – umožňuje monitoring stavu ALR a manuální řízení lokomoce.

ŘS umožňuje snadné připojení dalších modulů do systému. Tímto způsobem lze jednoduše rozšířit interval schopností o další možnosti, jako např. inteligentní monitoring akumulátorů a řízení nabíjecí stanice AKB.

5. Jádru sub-modulů

Každý blok systému musí být vybaven mikrořadičem, který je jednak schopen zajistit komunikaci s libovolným připojeným účastníkem, jednak vykonávat danou funkci. Jádro těchto sub-modulů tvoří velice výkonné 16-ti bitové mikrokontroléry MB90543 firmy FUJITSU [3]. Série MB90540/545 je speciálně navržena pro automobilové a průmyslové aplikace.



Obr. 5: Pohled na procesorový modul a na realizovaný komunikační modul

Procesorový modul umožňuje pomocí rozšiřujících konektorů připojení dalších elektronických obvodů. Každý modul řídicího systému obsahuje jednu komunikační desku pro komunikaci přes CAN nebo RS232 a jednu aplikační desku připojenou k druhému konektoru, která je speciálně určena pro danou aplikaci. Tato část byla vyvinuta autorem příspěvku (viz obr. 5).

6. Komunikační systém

Řídicí systém umožňuje časově nedeterministické řízení v reálném čase a proto vyžaduje výkonnou a spolehlivou komunikační sběrnici, která zajišťuje jak náhodný přístup k síti, tak řeší kolizní situace.

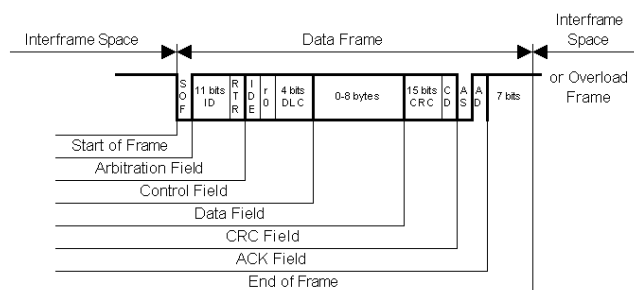
Na základě těchto požadavků byla zvolena pro komunikaci sběrnice CAN (Controller Area Network) [1]. CAN je sériový komunikační protokol s max. přenosovou rychlostí do 1Mbit/s, který byl původně vyvinut firmou Bosch pro nasazení v automobilech. Vzhledem k tomu, že přední výrobci integrovaných obvodů implementovali podporu protokolu CAN do svých produktů, dochází k stále častějšímu využívání i v různých průmyslových aplikacích. Důvodem je především nízká cena, snadné nasazení, spolehlivost, vysoká přenosová rychlost,

snadná rozšiřitelnost a dostupnost potřebné součástkové základny. V současné době má protokol CAN své pevné místo mezi ostatními fieldbusy a je definován normou ISO 11898.

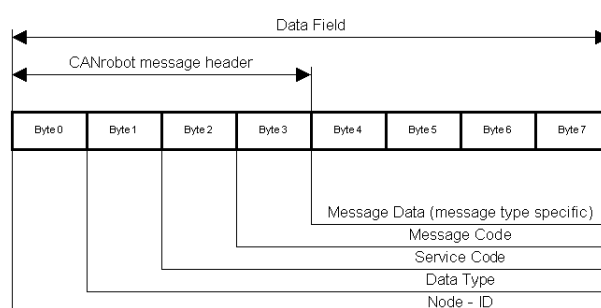
Jednotlivé rámce CAN-u jsou označeny identifikátorem, který identifikuje obsah rámce (viz obr. 6). Vyslaný rámec tedy mohou přijmout všechny uzly systému současně. Takto sestavený řídicí systém je snadno SW i HW rozšiřitelný. Identifikátor má však ještě jednu funkci, definuje totiž prioritu jednotlivých rámců a řeší tak kolizní situace při současném vysílání více moduly.

Pro tento komunikační protokol existuje několik vzájemně si konkurujících standardů aplikační vrstvy a také mnoho protokolů firemních. Na základě předchozích zkušeností byla zvolena jako aplikační vrstva CANAerospace [2], která byla speciálně vyvinuta pro letecké aplikace. Standard definuje pomocné kódy obsažené v komunikačním paketu, které zvyšují bezpečnost a řídí správný přenos dat (viz obr. 7).

Rozsáhlost této prezentace však neumožňuje detailní popis komunikačního protokolu a standardu. Zájemci o detailnější informace je naleznou přímo v jednotlivých standardech uvedených na závěr.



Obr. 6: Standardní datový rámec CAN protokolu



Obr. 7: Základní struktura CANAerospace zprávy

7. Závěr

Sestavený a odzkoušený řídicí systém pro nově vyvíjený ALR VUTBOT 2 splňuje všechny stanovené požadavky a nároky na spolehlivost přenosu dat a následné rozšíření systému. Může také sloužit jako směrodatný projekt pro sestavení dalších řídicích systémů podobného typu pro různé aplikace, nejen z oblasti mobilních robotů.

Poděkování

Výzkumné a vývojové práce probíhají s podporou Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii - LN 00B128 „Automatická manipulace a mezioperační doprava mezi technologickými pracovišti výrobní soustavy“.

Literatura

- [1] Bosch : CAN Specification, Version 2.0, Stuttgart, 1991.
- [2] Michael Stock, Flight Systems : CAN Aerospace, 2001.
- [3] Fujitsu Semiconductor, Data Sheet : MB90540/545 Series, 1994.
- [4] Szabó Š., Opluštil V.: Distributed CAN Based Control System for Robotic and Airborne Applications, 7th International Conference, ICARCV 2002 - Singapore, 2002.
- [5] Kárník, L., Knoflíček, R., Novák-Marcinčin, J.: Mobilní roboty, vyšlo v nakladatelství MÁRFY SLEZSKO Opava, výtiskl Vladimír Pravda Opatisk Opava, 1. Vydání, 500 ks, 212 stran, 254 obrázků, listopad 2000, ISBN 80-902746-2-5