



# INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2005

NÁRODNÍ KONFERENCE

s mezinárodní účastí

Svratka, Česká republika, 9. - 12. května 2005

---

## MULTIPROCESSOR CONTROL SYSTEM FOR MOBILE ROBOT

R.Knoflíček\*, S. Szabó\*\*, M. Vyšín\*\*\*

**Summary:** *Subtask number 3 of the project number 6 of the Research Centre for the Production Technique and Technology (co-operative project of ČVUT – BUT and SST) is to design, develop, produce and test (functionally and operationally) autonomous mobile robot named VUTBOT 2 which will be determined for the interoperational transport in a flexible production system – multiprofessional automatic manufacturing system with palletless workpiece manipulation. Subject manufacturing system is constructed in heavy laboratories of the Institute of Production Machines, Systems and Robotics, Faculty of Mechanical Engineering at Brno University of Technology. This paper summarizes partial results reached in the field of projection and construction of machineware, hardware, software and brainware till 15<sup>th</sup> of Decembre 2004. It focuses especially on kinematic model of four-wheel mobile robot, its control system (blocks), power system and communication systems. In following chapters designed and realized multiprocessor control system ALR – MR VUTBOT 2 is described.*

### 1. Úvod

Podúkolem číslo 3 projektu číslo 6 Výzkumného centra pro výrobní techniku a technologii (společný projekt ČVUT – VUT a SST) bylo navrhnout, vyvinout, vyrobit, funkčně a provozně odzkoušet autonomní mobilní robot s názvem VUTBOT 2, který bude určen pro mezioperační dopravu v pružném výrobním systému – multiprofesní automatické výrobní soustavě, s bezpaletovou manipulací s obrobky. Předmětná výrobní soustava je budována v těžkých laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky FSI VUT v Brně. Tento příspěvek shrnuje dosažené dílčí výsledky v oblasti projekce a konstrukce machineware, hardware, software a brainware, a to k 15. 12. 2004. Je zaměřen zejména na kinematický

---

\* Doc. Dr. Ing. Radek Knoflíček, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, Technická 2896/2, 616 69 Brno, tel: 541 142 474, email: [knoflicek@fme.vutbr.cz](mailto:knoflicek@fme.vutbr.cz)

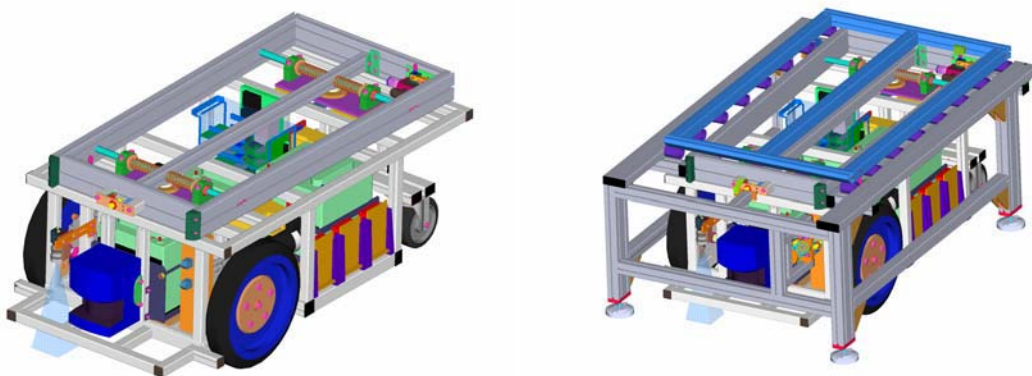
\*\* Ing. Štefan Szabó, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, Technická 2896/2, 616 69 Brno, tel: 541 143 418, email: [szabo@uvss.fme.vutbr.cz](mailto:szabo@uvss.fme.vutbr.cz)

\*\*\* Ing. Martin Vyšín, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, Technická 2896/2, 616 69 Brno, tel: 541 143 419, email: [vyšin@uvss.fme.vutbr.cz](mailto:vyšin@uvss.fme.vutbr.cz)

model čtyřkolového mobilního robotu, jeho řídicí systém (bloky), napájecí systém a systémy komunikační. V následujících kapitolách je tedy popsán navržený a realizovaný víceprocesorový řídicí systém ALR – MR VUTBOT 2.

## 2. Kinematický model robotu

Důležitým aspektem při navrhování koncepce lokomočního systému mobilních robotů je mimo jiné i charakter povrchu terénu, po kterém se pohybují. Na základě znalosti pracovního prostředí byla zvolena koncepce čtyřkolového podvozku (Obr. 1).



Obr. 1 Konstrukční návrh mobilního robotu VUTBOT 2

Sestavení kinematického modelu mobilního robotu má velký význam pro technicky správné řízení robotu. Matematický popis kinematického modelu je pak implementován do řídicího algoritmu což umožní pomocí dat z odometrických senzorů průběžný výpočet polohy a orientace mobilního robotu v uvažovaném 2-D okolním prostředí (technologické scéně).

## 3. Řídicí systém

„Inteligence“ resp. „uměle 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 a zabezpečit rychlou, spolehlivou a do určité míry i inteligentní komunikaci.

Správný výběr řídicího systému (ŘS) a komunikační sběrnice/protokolu proto tvoří důležitý předpoklad pro úspěšnou implementaci různých algoritmů a systémů do vlastního ŘS. Podle architektury je možné ŘS rozdělit do tří základních kategorií:

1. Deduktivní - Na základě všech dostupných informací důkladně naplánují, co je třeba udělat, a potom takto naplánovanou akci (posloupnost akcí) provedou.
2. Reaktivní - Akce odvozují přímo z nejnovějších stimulu ze senzoru.

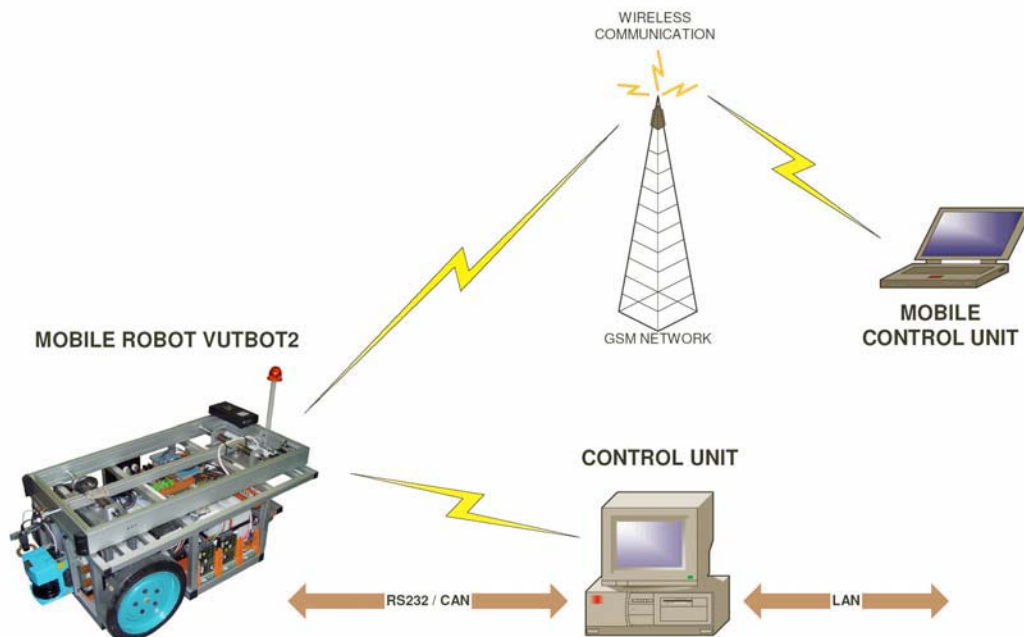
3. Kombinované - Reaktivní vrstva se stará o fyzické řízení robota a poskytuje vyšší vrstvě abstraktnější rozhraní pro ovládání činností robota. To ve svém důsledku znamená, že robot může vykonávat nějakou jednoduchou činnost, zatímco se vytváří plán dalších akcí.

Každý řídicí systém strojů a zařízení (a mobilní robot nevyjímaje) zahrnuje v sobě určitý druh kompromisních řešení v návaznosti na vstupní požadavky. Zde se projevuje vliv času na dobu řešení úloh řízení. Některé roboty proto „nepřemýšlejí vůbec“, zatímco jiné „přemýšlejí dlouho a důkladně“. V dostatečně jednoduchém prostředí lze bez problému implementovat systém, který řídí mobilní robot bez dlouhého plánování a přesto dosahuje daných cílů. Na druhou stranu ve statickém prostředí (bez dynamických překážek, tj. člověk v pohybu) má mobilní robot dostatek času na naplánování nejefektivnější cesty.

Řídicí systém mobilního robota VUTBOT 2, je tedy řešen jako víceprocesorový distribuovaný systém, složený z několika samostatných procesorových modulů. Tato koncepce umožňuje snadné připojení dalších modulů do vlastního systému bez zásahu do již existujících hardwareových a softwareových částí. Takový řídicí systém se hodí k implementaci výpočtově náročnějších metod navigace mobilního robota, kde globální plánování trasy a lokální navigace mohou probíhat nezávisle, tedy paralelně.

ŘS se skládá ze tří hlavních, vzájemně souvisejících částí (Obr. 2) :

- Lokomoční ústrojí (podvozek) mobilního robota s víceprocesorovým řídicím systémem
- Modul vyšší vrstvy řízení, který reprezentuje vstupní/výstupní komunikační bránu, a může sloužit ke specifikaci činnosti ALR – MR, 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 – MR



Obr. 2 Komunikační možnosti mobilního robota VUTBOT2

Řídicí systém mobilního robotu je rozčleněn do několika funkčních bloků. Každý blok vykonává specifickou funkci, přičemž rozčlenění probíhá na základě struktury navigačních a aplikačních metod (Obr. 3) :

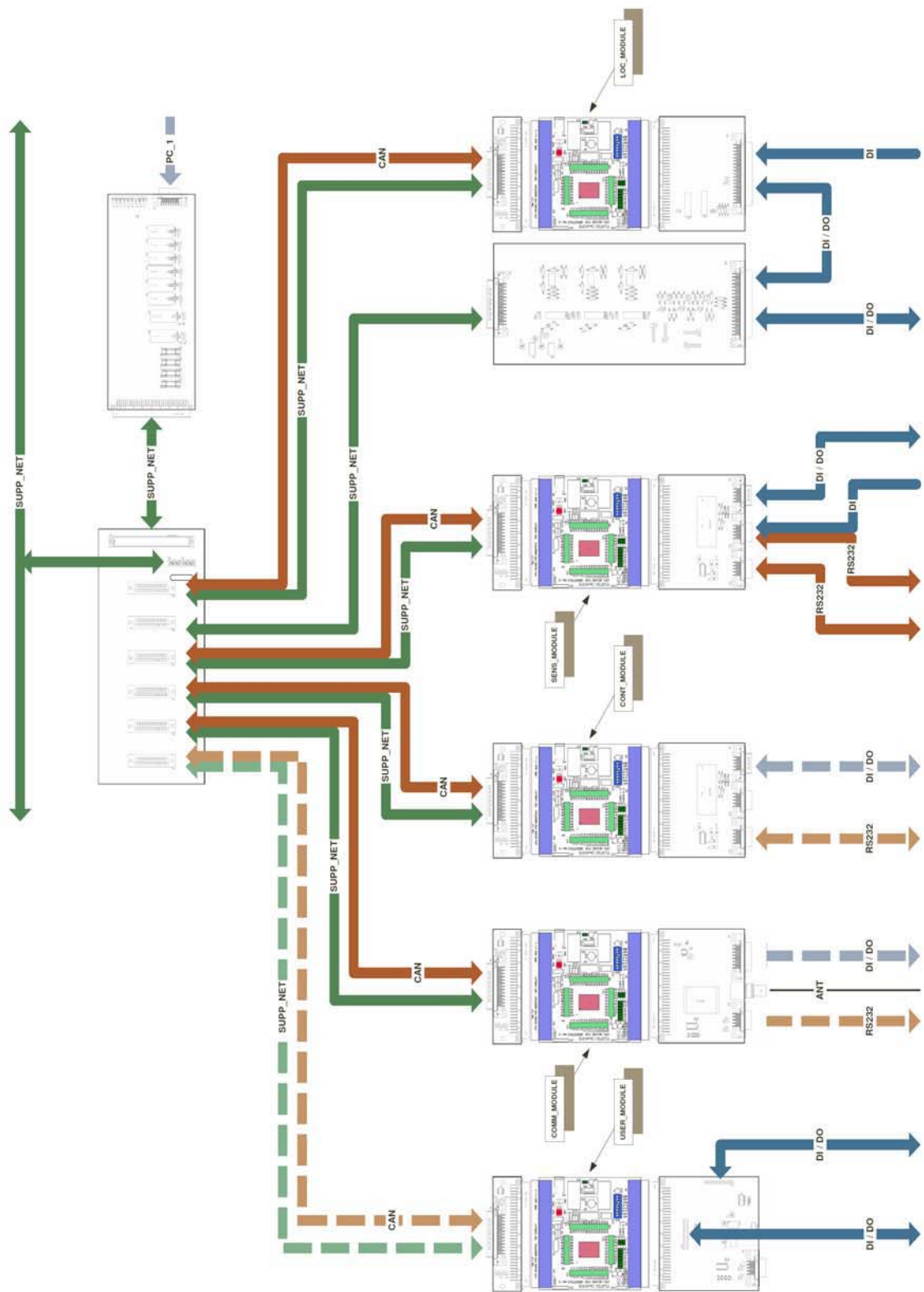
Komunikační modul – modul zajišťuje přenos informací mezi ALR – MR a pružným výrobním systémem. Komunikace je zajištěna jednak bezdrátovým přenosem informací pomocí radiofrekvenčních modulů a jednak pomocí standardního sériového přenosu dle specifikace rozhraní typ RS 232.

Senzorický modul – ALR – MR disponuje multisenzorickým systémem pro detekci kolizních situací a systémem pro získání a zpracování vizuálních informací. Modul obsluhuje infračervený laserový skener a bezdotykové antikolizní snímače, monitorující ochranné a varovné zóny. Zabezpečuje také komunikaci s jednotkou pro zpracování vizuální informace z CCD kamery.

Lokomoční modul – zajišťuje řízení pohybu ALR – MR. Na základě žádané hodnoty rychlosti podvozku a směru jízdy počítá žádané rychlosti hnaných kol. Současně počítá časovou změnu polohy a orientaci podvozku pro odhad lokální polohy.

Modul řízení – tento modul představuje řídicí systém vyšší vrstvy. Pokud je v paměti uložen symbolický popis trasy s daným počátečním a koncovým bodem, může modul řídit pohyb robotu dle uložených příkazů. Současně je kontrolována úspěšnost při vykonávání jednotlivých příkazů.

Modul uživatelského rozhraní – tímto modulem se zajišťuje komunikace mezi ALR – MR a uživatelem. Umožňuje provádět diagnostiku systému, přímé řízení pohybu robotu, start programu apod.



Obr. 3 Blokové schéma distribuovaného řídicího systému autonomního lokomočního – mobilního robota VUTBOT 2

#### 4. Napájecí systém

Napájecí systém mobilního robotu poskytuje řízení napájení jednotlivých, resp. bloků modulů systému (Obr. 4).

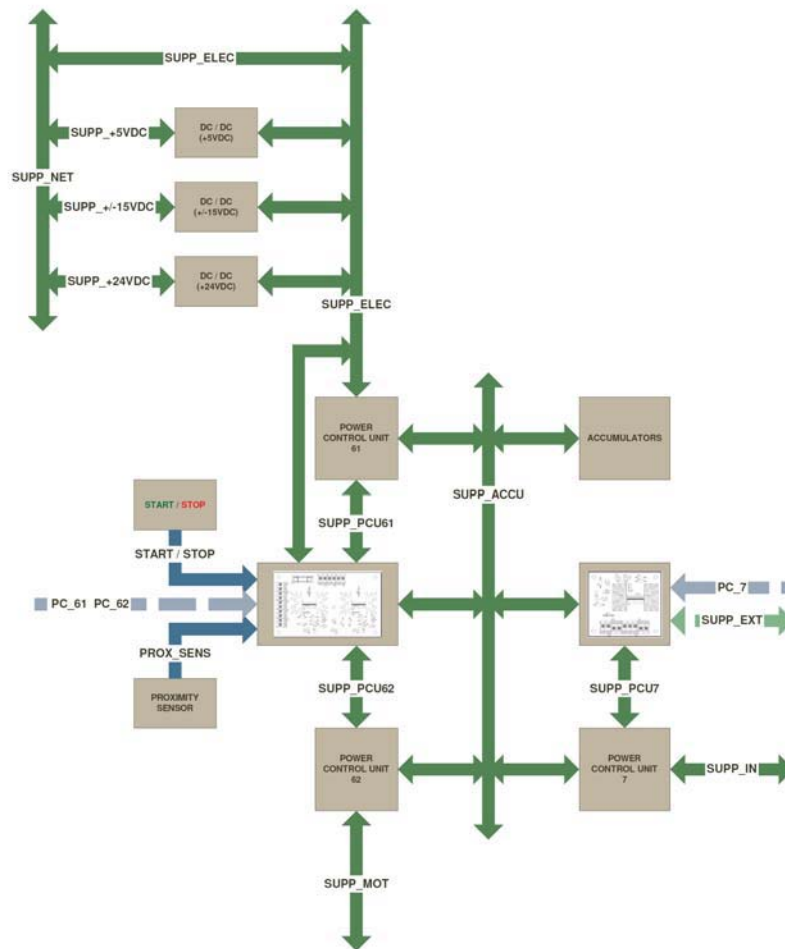
Napětí akumulátorů SUPP\_ACCU je veden přes PowerControlUnit7 (dále jen PCU7) na nabíjecí konektory, přes PCU61 na DC/DC měniče a přes PCU62 na motory pohonných jednotek.

Řídicí signál SUPP\_PCU7 může být v případě, když je napětí akumulátorů příliš nízké napojeno na externí zdroj napětí. Tímto způsobem lze připojit nabíjecí konektory k akumulátorům externě.

Signály SUPP\_PCU61 a SUPP\_PCU62 mohou být řízeny signály z MCU nebo z externích řídicích prvků (spínačů START, STOP).

Antikolizní snímač přiblížení v případě aktivace vypne signál SUPP\_PCU62 a tím i napájení pohonných jednotek. Přemostěním tohoto snímače pak lze opětovně zapnout napájení pohonných jednotek v kolizních situacích.

Síť napájecích napětí SUPP\_NET (+5V, ±15V, +24V a SUPP\_ELEC) je veden k modulům řídicího systému a řízen signálem PC\_1 (Obr. 3).

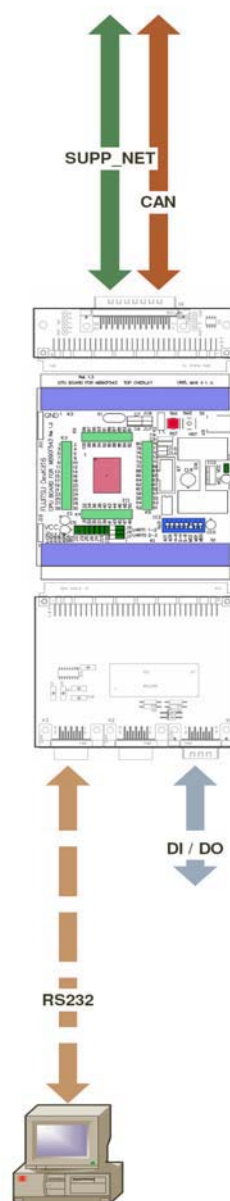


Obr. 4 Blokové schéma napájecího systému mobilního robotu VUTBOT 2

## 5. Řídicí modul – CONT\_MODULE

Řídicí modul je z hlediska autonomnosti mobilního robota nejdůležitějším modulem víceprocesorového řídicího systému. Disponuje externí pamětí pro uložení symbolických popisů cest. Cesty jsou popsány modulem podporovanými příkazy. Pomocí sériového rozhraní RS 232, nebo sběrnice CAN lze databázi cest kdykoliv editovat. Po spuštění programu je databáze cest prohledána, a v případě že je odpovídající cesta s odpovídajícím počátečním a koncovým bodem nalezena, jsou jednotlivé příkazy cesty postupně provedeny. Současně je kontrolováno korektní ukončení příkazů, jako např. minimální vzdálenost od koncového bodu apod.

Zápisem do registru *prikaz* a *prikaz\_param* se odstartuje vykonání příkazu. Stav procesu je indikován registrem *stav\_procesu*. Status ukončení příkazu je uložen do registru *prikaz*.



Obr. 5 Blokové schéma modulu CONT\_MODULE

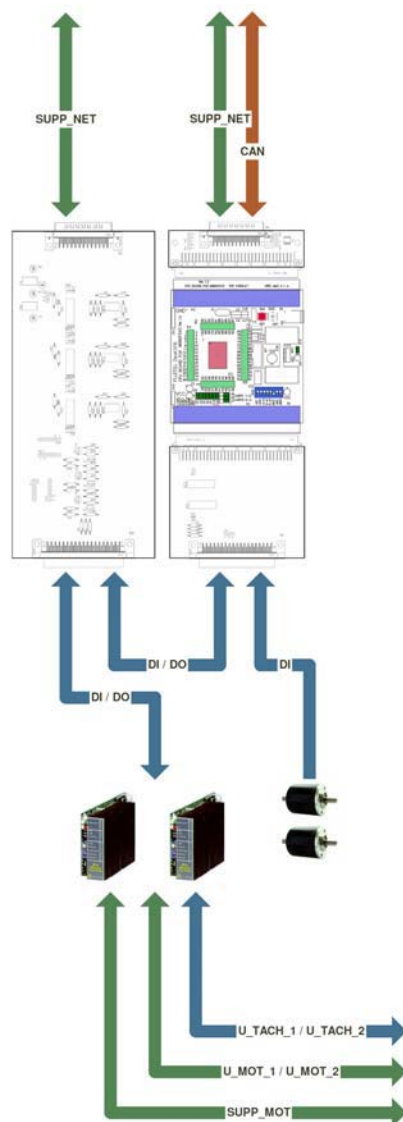
## 6. Lokomoční modul – LOC\_MODULE

Lokomoční modul provádí řízení pohonných jednotek podvozku mobilního robota a výpočet polohy a orientaci podvozku na základě informací z odometrických senzorů. Během řízení je kontrolován stav napájecích měničů jednotlivých motorů, a v případě výskytu chyb se pohyb zastaví. Rychlosti jednotlivých kol se počítají pomocí kinematického modelu a geometrických rozměrů daného typu podvozku. Rychlost pohybu je dále ovlivněn stavem ochranných a varovných zón. Přerušení varovné zóny způsobuje zpomalení pohybu na 50% žádané rychlosti v odpovídajícím směru pohybu. Ochranná zóna aktivuje zastavení robota.

Není-li žádaná hodnota rychlosti nebo inkrement rychlosti cyklicky aktualizována (přibližně 2 Hz), je předpokládána chyba komunikace a dojde k zastavení pohybu robota.

Univerzálnost řídicího systému z hlediska konfigurace podvozku je dána možnostmi lokomočního modulu. Pomocí konfiguračních registrů lze měnit jak geometrické rozměry robota tak i převodní a limitní parametry.

Rychlostní regulace kol je realizována pomocí měničů MINIMAESTRO. Rychlostní zpětná vazba je odvozena z výstupních signálů tachodynam. Řídicí signály rychlostí  $\pm 10$  V DC jsou generovány na přídatné desce. Prvotním předpokladem pro správné řízení rychlostí kol je korektní a přesné nastavení analogových měničů.



Obr. 6 Blokové schéma modulu LOC\_MODULE

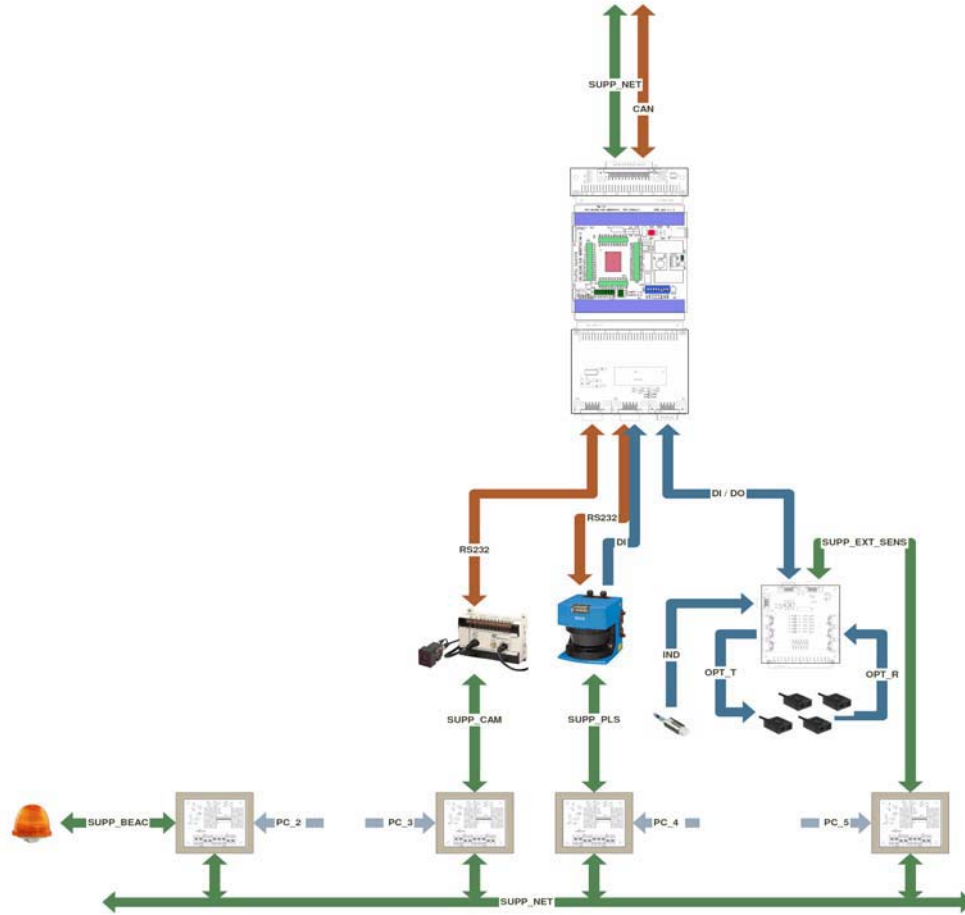
## 7. Senzorický modul – SENZ\_MODULE

Senzorický modul provádí obsluhu externích senzorických jednotek. Ochranné a varovné zóny jsou kontrolovány v přední části obilního robota infračerveným laserovým skenerem, v zadní části infračervenými antikolizními senzory. Jízda do doku je podporována jednotkou pro zpracování vizuální informace z CCD kamery. Pomocí vhodného vzoru lze robot zavést do doku s velkou přesností a následně provést aktualizaci polohy a orientaci podvozku. Status ochranných a varovných zón je uložen v registrech *warning\_zone* a *protection\_zone*. Hodnoty jednotlivých senzorů jsou k dispozici v registru *hodnoty\_registru*.



Hodnoty senzorů jsou cyklicky aktualizovány a v případě výskytu kontrolovaných událostí je vyslán paket (omezuující např. rychlost pohybu).

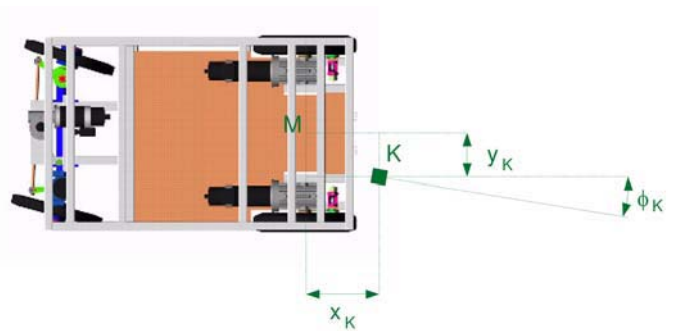
Kontrola senzorů může být také zakázána pomocí registru *enable\_senzor*.



Obr. 7 Blokové schéma modulu SENS\_MODULE

Při jízdě dle polohy a orientace vzoru se směr jízdy počítá na základě natočení a vzdálenosti vzoru od středu robotu v rovině předních kol. Hodnoty z jednotky vizuální kontroly se korigují dle vzájemné polohy a orientaci kamery  $K$  a středu  $M$  robotu.

Registr *směr\_uhel* obsahuje hodnotu vzájemného natočení vzoru a robotu a registr *směr\_vzdalenost* od kterého je odečtena hodnota *delta\_primka* vzdálenost vzoru od středu  $M$  robotu v rovině předních kol.



Obr. 8 Znáornění modelu robotu pro výpočet řídicí veličin při jízdě podle kamery

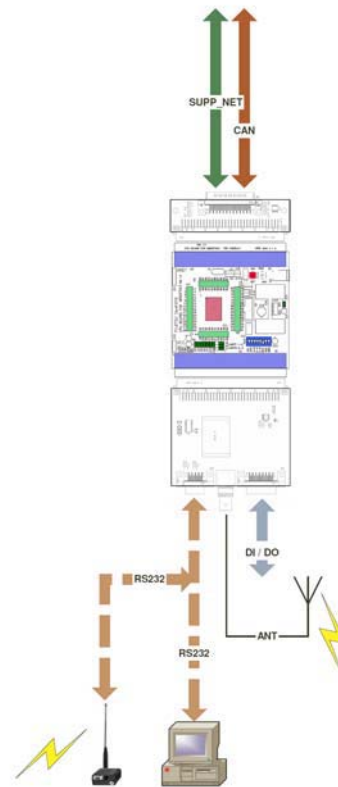
## 8. Komunikační modul – COMM\_MODULE

Komunikační modul zabezpečuje komunikaci mezi řídicím systémem robotu a externími jednotky. Komunikace může probíhat přes sériové rozhraní RS 232 s definovaným přenosovým protokolem. Tento protokol je shodný s komunikačním protokolem modulů ADAM-4525 (převodník RS 232 / CAN). Z toho plyne, že komunikační modul může také zastávat funkci převodníku RS 232 / CAN. Další možností komunikace je bezdrátový přenos informací. K tomu účelu byl na modul instalován rádiofrekvenční transceiver BiM2 firmy Radiometrix.

Modul disponuje třemi různými typy komunikačních rozhraní s duplexním přenosem ve všech směrech, tzn. že příchozí paket je automaticky předán na další dva rozhraní.

Při přenosu informací bezdrátově je potřeba korektní zapsání dat kontrolovat následním čtením dat z registru.

Modul disponuje osmi digitálními vstup/výstupními bity. Mohou být libovolně konfigurovány a sloužit např. pro spínání napájecích napětí externích periférií, nebo modulů.



Obr. 9 Blokové schéma modulu COMM\_MODULE

## 9. Modul uživatelského rozhraní – USER\_MODULE

Modul uživatelského rozhraní slouží především ke kontrole a diagnostice stavu modulů řídicího systému. Umožňuje:

- manuální řízení pohybu robotu,
- spuštění programů/cest v řídicím modulu,
- kontrolu a nulování polohy a orientace robotu,
- diagnostiku modulů – načtením jejich HW a SW čísel
- kontrolu stavu modulů LOC\_MODULE a CONT\_MODULE
- monitorování komunikační sběrnice CAN.

## 10. Závěr

Vývoj autonomního mobilního robotu VUTBOT2 je již dokončen. V současné době probíhá řada zkušebních a provozních testů řídicího systému robotu a mobilního robotu jako celku. Po nezbytném odladění všech jeho subsystémů bude začleněn do projektu Automatické manipulace a mezioperační dopravy mezi technologickými pracovišti výrobní soustavy jako reálné technické dílo. **Tento projekt probíhal na Ústavu výrobních strojů systémů a robotiky s podporou Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii (ČVUT Praha) – LN00B128.**

## 11. Literatura

Knoflíček R.: *Autonomní lokomoční robot jako prostředek automatické mezioperační dopravy*, Sborník 7. celostátní konference s mezinárodní účastí Automatizace - Robotika v teorii a praxi "ROBTEP 2004", Vyšné Ružbachy 19. - 21. 5. 2004 (na CD str. 287 - 294), ISBN 80-7099-826-1

Knoflíček R., Szabó, Š.: *VUTBOT 2 Mobile Robot Undercarriage Kinematics and Modules of this Control System*, Proceedengs od RAAD '04, 13 th International Workshop on Robotics in the Alpine-Adriatics-Danube Region, Brno, June 1 – 6, 2004, pages 376 – 378, ISBN 80-7204-341-2

Knoflíček, R.: *Problematika řešení autonomního lokomočního robotu VUTBOT 2*, VII. Mezinárodní vědecká konference Nové směry ve výrobních technologiích 2004, FVT TU Košice, Prešov 17. - 18. 6. 2004, str. 541 – 548, ISBN 80-8073-136-5

Knoflíček, R a kol.: *Současný stav ve vývoji mobilních robotů na ÚVSSaR*, sborník anotací a CD konference setkání ústavů a kateder oboru výrobní stroje a robotika, KR FS VŠB-TU Ostrava, 14. – 15. září 2004, ISBN 80 – 248 – 0645 – 2

Knoflíček, R.: *The develop results of new type mobile robot*, Proceedengs of sections 2, 3, 4 International Congres MATAR PRAHA 2004, pages 97 – 102, ISBN 80 – 903421 – 4 – 0

Synek M.: *Konstrukční řešení automatizovaných nabíjecích konektorů mobilního robotu VUTBOT 2*, Konference ROBTEP 2004, Vyšné Ružbachy, 19. - 21. května 2004

Synek M.: *AUTOMATED ACHIEVEMENT CHARGING OF MOBILE ROBOTS RESOURCES*, Konference RAAD'04, Brno, 1. - 6. června 2004

Synek M.: *MONITORING OF TRACTION BATTERIES FOR MOBILE APPLICATIONS*, II. konference PhD 2004, Srní, 8. - 10. listopadu 2004

Vyšín M.: *Mobilní robot VUTBOT 2*, I. Konference PhD studentů konstrukčních oborů s mezinárodní účastí PhD 2003, Srní, 10. – 12. listopadu 2003

Vyšín M., Knoflíček R., Szabó Š., *Koncepce mechanické konstrukce mobilního robotu VUTBOT 2*, seminář servisní robotika, Ostrava Česká republika, 19. listopadu 2003