



CONTROLS AND SENSORIC SYSTEM THE MOBILE ROBOT OMR III

Pavel Houška¹⁾, Oto Lojek²⁾, Vladislav Singule³⁾, Tomáš Březina⁴⁾

Summary: *The robot is able to make plane movements in the surroundings using a locomotive mechanism including planned interaction with the variable surrounding environment. The OMR III control system has been divided into three levels. The external process subsystem represents the top level of control. The operator can control the robot though it in case of the artificial intelligence algorithms not to be able to solve the given situation. The planning subsystem creates a higher level of control and it solves localisation of the mobile robot during global navigation.. The sensorial subsystem consists of two functionally different groups of sensors. The internal sensors provide information about changes of inner conditions of the robot..*

1. Úvod

Příspěvek se zabývá oživením autonomního lokomočního robotu (ALR) OMR III. Dalším úkolem bylo vytvořením navigačních modulů pro pohyb v částečně známém prostředí a zpřesňováním polohy robotu. Pojem autonomní znamená, že robot bude schopen samostatného pohybu (bez lidského zásahu) ve svém pracovním prostředí. Pracovní prostředí robotu může být známé (např. navigace pomocí majákových soustav), částečně známé (např. navigace pomocí pasivních značek) nebo neznámé (robot se musí pohybovat a získávat informace o svém okolí pomocí scénových senzorických soustav). K odečítání ujeté dráhy se u robotů používá tzv. odometrických senzorických soustav. Tyto soustavy jsou ale zatíženy chybami, způsobenými prokluzem kol, akcelerací a bržděním atd. Z těchto důvodů je nutné lokomoční (robot s pojezdem) vybavit scénovou senzorickou soustavou. Pomocí scénových senzorů dokáže robot rozeznávat překážky v cestě a na základě získaných dat různými metodami zpřesňovat svoji polohu, získanou z odometrické senzorické soustavy. Mezi scénové senzory patří hlavně dálkoměry a to laserový nebo ultrazvukový a CCD kamery. K nevýhodám ultrazvukového dálkoměru patří delší odezva (rychlost šíření zvuku) a závislost na vnějších podmínkách (teplota, tlak a vlhkost). Jejich cena je poměrně nízká. Opačně je tomu u laserových dálkoměrů, které jsou velmi rychlé a přesné a v podstatě poskytují jedno z nejlepších řešení v těchto aplikacích. Nevýhodou je ale vysoká cena. Další možností je použití CCD kamer, u kterých je největším problémem zpracování dat. V této práci bylo použito rovinného laserového dálkoměru PLS 200 německé firmy SICK.

¹⁾ Ing. Pavel Houška, UMT, FSI-VUT v Brně, Technická 2, 616 69, Brno, ČR
e-mail: PavlikH@seznam.cz

²⁾ Ing. Oto Lojek, UMT, FSI-VUT v Brně, Technická 2, 616 69, Brno, ČR
e-mail: oto.lojek@centrum.cz

³⁾ Doc. Ing. Vladislav Singule, CSc, UVSSaR, FSI-VUT v Brně, Technická 2, 616 69, Brno, ČR
e-mail: singule@zam.fme.vutbr.cz

⁴⁾ RNDr. Ing. Tomáš Březina, CSc, ÚAI FSI VUT v Brně, Technická 2, 616 69, Brno, ČR,
e-mail: tom@kinf.fme.vutbr.cz

2. POPIS ALR OMR III

Robot ALR OMR III [1, 2] je postaven na koncepci tzv. všesměrového podvozku. Všeměrnost je umožněna trojicí kol, vybavených po obvodě valivými členy. Takto navržený podvozek se může pohybovat po jakékoliv rovinné křivce. Hlavní činností tohoto autonomního lokomočního robotu je samostatný přejezd z bodu A do bodu B. Robot tedy musí mít představu o svém okolí a o překážkách na svojí trase, kterým se rovněž musí dokázat vyhnout. U robota se předpokládá použití u tzv. IN-DOOR aplikací. Dosah laserového dálkoměru je omezen a pokud by se v dostatečné vzdálenosti nenacházel žádný objekt, podle kterého by se robot mohl orientovat, je jeho navigace prakticky nemožná. Těmto předpokladům je přizpůsobena i celá konstrukce ALR OMR III.

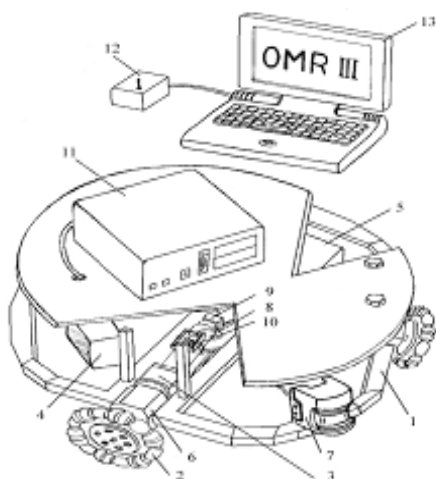
Konstrukce je koncepčně rozdělena do dvou vrstev:

Spodní vrstva:

- podvozek
- akumulátory
- motory + převodovky + kodéry
- výkonová elektronika (regulace otáček motorů)
- laserový dálkoměr PLS 200

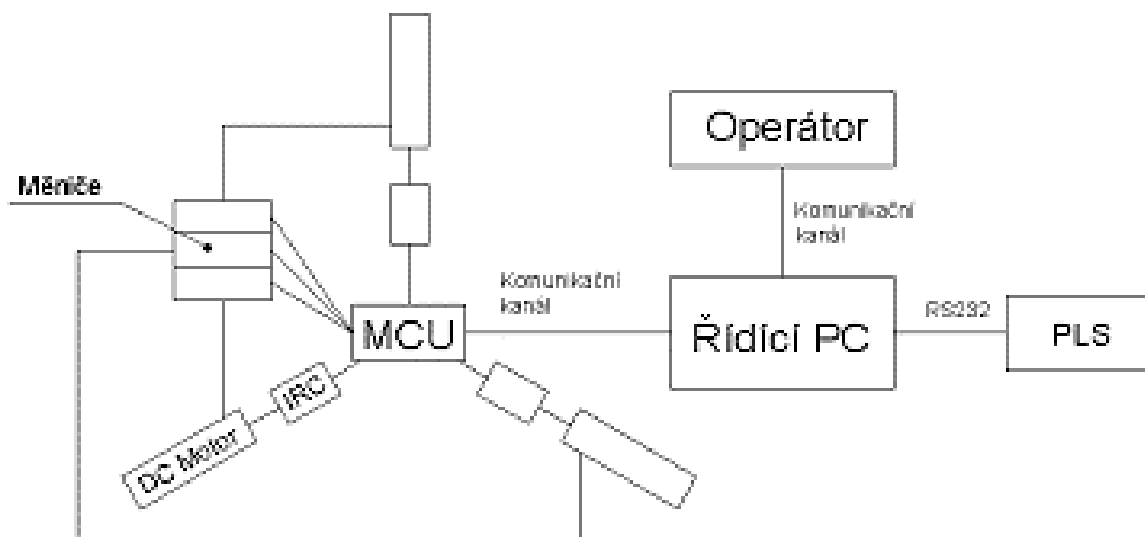
Horní vrstva:

- deska PC
- mikroprocesorový modul TOS-CPU-3.0
- rádiový modul (komunikace operátor-robot)



- 1-rám,
- 2-všesměrové kolo,
- 3-převodovka,
- 4-stabilizovaný zdroj,
- 5-baterie,
- 6-ložiskový domeček,
- 7-laserový dálkoměr PLS,
- 8-stejnsměrný motor,
- 9-IRC snímač,
- 10-PWM modul,
- 11-řídící počítač + rádiový přijímač a vysílač + mikroprocesorový modul,
- 12-rádiový přijímač a vysílač,
- 13-notebook operátora

Obr. 1: Rozmístění jednotlivých prvků na ALR OMR III



Obr. 2 Schéma struktury propojení úrovně OMR III

3. ROZDĚLENÍ JEDNOTLIVÝCH ÚROVNÍ ŘÍZENÍ:

Řídicí soustava OMR III byla rozdělena do tří úrovní. Každá úroveň má svou úlohu a navzájem jsou propojeny do distribuované sítě – viz. obr. 2. Jednotlivé úrovně jsou tyto a mají následující úlohy:

- nižší úroveň řízení, která zajišťuje lokomoci podvozku
- vyšší úroveň řízení, která zajišťuje sběr dat ze snímačů polohy a určování dráhy lokomoce
- externí úroveň řízení – operátor – umožňuje zadávání úkolů, případně ruční zásah obsluhy

Pro snímání polohy byl původně navržen laserový scanner PLS, který byl použit i u projektu MOBIL II. V současnosti je robot pro snímání polohy vybaven soustavou dvou kamer pro stereovizi. Dalšími použitými snímači jsou tři IRC čidla, použita jednak jako odometrické senzory, jednak jako rychlostní zpětná vazba pro řízení motorů.

4. KOMUNIKACE MEZI JEDNOTLIVÝMI ÚROVNĚMI ŘÍDICÍ SOUSTAVY OMR III

Základním požadavkem na komunikaci mezi jednotlivými úrovněmi řídicí soustavy je přenos řádově desítky až stovky bytů za sekundu. U komunikace klademe hlavní důraz na jednoduchost, spolehlivost, nízkou spotřebu výpočetního výkonu a nízkou cenu. Proto bylo pro propojení jednotlivých úrovní použita sériová komunikace. Propojení nižší a vyšší úrovně řízení provedeno přes rozhraní RS232C, propojení vyšší a externí úrovně je realizováno rádiovým přenosem s půlduplexním přenosem. Komunikační protokol je realizován s ohledem na maximální efektivitu komunikace.

5. NIŽŠÍ ÚROVEŇ

Řídicí systém nižší úrovně používá mikroprocesorový modul TOS-CPU-3.0 firmy UNIS, spol. s r.o., Brno. Modul tvoří 16-bitový procesor Toshiba TMP96C141AF, který má 512KB paměti typu FLASH, 32 KB paměti typu SDRAM a dvěmi sériové (UART) kanály. TOS-CPU-3.0 řídí pojezd robotu na základě povelů vyšších úrovní, komunikuje s vyššími úrovněmi po sériové lince a provádí diagnostiku funkčnosti a stavu zařízení.

Řízení rychlosti otáčení kol

Vyšší úroveň posílá požadovanou rychlost a směr lokomoce. Tyto údaje jsou přepočítány na rychlosti otáčení jednotlivých pohonných jednotek. Rychlosti otáčení pohonné jednotky jsou řízeny pomocí pulzně šířkové modulace (PWM). Signál zpětné vazby pro řízení rychlosti otáčení vytvářejí IRC snímače. Pro regulaci rychlosti pohybu robotu jako celku je využíván kinematický model robotu. Rovnice pro rychlost pohybu těžiště robotu jsou:

$$v_{tx} = \frac{2}{3} \cdot (r \cdot \cos(30^\circ) \cdot (\omega_1 - \omega_2)) , \quad v_{ty} = \frac{2 \cdot r}{3} \cdot ((\omega_1 + \omega_2) \cdot \sin(30^\circ) - \omega_3)$$

kde:

- v_{tx}, v_{ty} jsou rychlosti těžiště robotu v osách x a y
- r je poloměr robotu (vzdálenost mezi těžištěm robotu a středem kola)
- $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ jsou úhlové rychlosti jednotlivých kol

Komunikace s vyššími úrovněmi

Ke komunikaci je použita již zmíněná sériové rozhraní RS232C. Rychlost komunikace je libovolně nastavitelná, základní rychlost je 9600 baudů. Zařízení poskytuje zprávu pro zjištění možných komunikačních rychlostí a zprávu pro přepnutí na libovolnou možnou komunikační rychlost.

6. VYŠŠÍ ÚROVEŇ

Řídicí systém vyšší úrovně používá osobní počítač kompatibilní s IBM PC (dále jen PC). Vyšší úroveň provádí plánování dráhy a řízení lokomoce. Struktura řídicího systému vyšší úrovně je na obr. 5.1. Systém je vytvořen objektově a jednotlivé podtřídy jsou jednoduše nahraditelné a modifikovatelné. Pro plánování dráhy získává systém data z odometrických a scénových senzorů – původně laserový scanner, v současnosti se připravuje použití soustavy dvou kamer pro stereovizi. Vlastní řízení lokomoce je prováděno předáváním určených údajů o směru a rychlosti pohybu ALR nižší úrovni. Zároveň systém vyšší úrovně kontroluje činnost a stav nižší úrovně, v případě výskytu libovolné poruchy na ní reaguje. Vyšší úroveň je navrhována jako plně autonomní s možností případného zásahu do chování ALR pomocí operátoru.

7. OPERÁTOR – EXTERNÍ ÚROVEŇ

Operátor je tvořen osobním počítačem s operačním systémem Microsoft Windows 9x/ME/NT/2000 nebo novějším a jedním volným sériovým portem.

Operátor uvádí ALR do chodu, provádí jeho odstavení a v případě potřeby umožňuje ruční ovládání ALR. Operátor lze použít jako sběrnou jednotku dat z ALR. Uchovávaná data je pak možno poskytnout v případě použití více robotů ostatním. To může být zvláště výhodné při průzkumu neznámého prostředí, sestavování map prozkoumaných prostor a jejich následném zpřesňování. Struktura řídicího systému je znázorněna na obr. 6.1. Systém je vytvořen objektově a jednotlivé podtřídy jsou jednoduše nahraditelné a modifikovatelné.

8. ŘÍZENÍ LOKOMOCE ALR

Lokomoci ALR zajišťují 3 stejnosměrné motory s permanentními magnety osazené jednokanálovými přírůstkovými snímači otáčení. Rychlost otáčení každého motoru je řízena 4-kvadrantovým pulsním měničem L6203 firmy SGS-THOMSON. Řízení měniče se provádí pulsní šířkovou modulací (PWM). Pro generování PWM byl použit TOS-CPU-3.0, který zároveň čítá impulsy z přírůstkových snímačů, které využívá pro zpětnou vazbu.

Princip PWM modulace pro řízení rychlosti ss. motorů

Princip modulace spočívá v rychlém spínání a vypínání tranzistorů v můstku tak, aby střední hodnota napětí odpovídala požadovaným otáčkám hřídele motoru. Pro řízení se používají dva základní způsoby PWM modulace - bipolární a unipolární.

Bipolární řízení

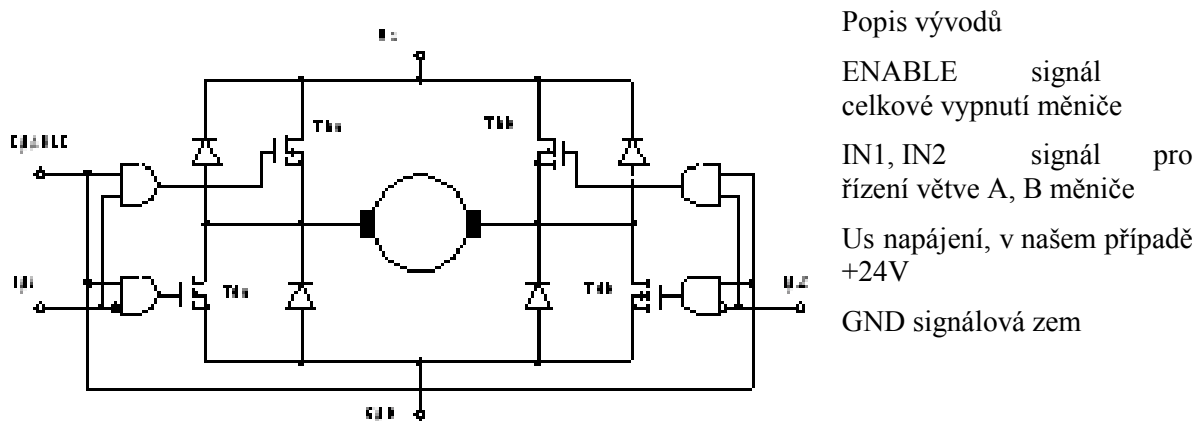
Tranzistory jsou přepínány tak, aby na jedné diagonále můstku byly oba sepnuty a na druhé vypnuty. Nulové otáčky motoru dosáhneme při poměru zapínání 1:1. Krouticí moment motoru je velký i při nulových otáčkách, to je výhoda pro zařízení bez regulátoru otáček. Motorem protéká stále přibližně stejný proud, což je nevýhodné po energetické stránce.

Unipolární řízení

Tranzistory jsou přepínány tak, aby na diagonále můstku tranzistory vždy vedly jen po dobu odpovídající poměru otáček maximálních ku požadovaným. Motorem protéká pouze proud odpovídající jeho zatížení a otáčkám. Řízení je tedy energeticky výhodnější.

Realizace řízení motorů

Měnič L6203 je ovládán pomocí tří logických signálů ENABLE, IN1, IN2 zakreslených ve schématu. Měnič má interní tepelnou ochranu, která v případě přehřátí měniče odpojí jeho silovou část. Stav odpojení tepelnou ochranou není obvodem měniče signalizován.



Obr. 3 Schéma zapojení měniče L6203

9. ŘÍZENÍ MĚNIČŮ

Po zkouškách s jednotlivými druhy modulace přímo na motoru jsme se jednoznačně rozhodli pro použití unipolárního řízení. TOS-CPU-3.0 použitý pro řízení měničů je digitální zařízení, proto je řízení měničů trochu odlišné od spojitěho řízení pomocí analogových obvodů. Základním požadavkem na řízení je maximální jednoduchost, aby množství spotřebovaného strojového času TOS-CPU-3.0 bylo co nejmenší a ten mohl provádět i další činnosti, jako je snímání otáček, regulace rychlosti pojezdu a sériová komunikace. Pro řízení měničů jsme použili unipolární řízení modulace, které snižuje problémy s protékajícím proudem, ale je náročnější na generování. Analogově se tato modulace generuje porovnáváním konstantních úrovní napětí s pilovým signálem o nosné frekvenci. Výsledný modulovaný signál je složitější a znamená rozdělení periody T na 4 úseky symetrické podle poloviny délky periody. Takto složitý průběh signálu znamená rozdělit periodu na pět částí (viz obr. a.8) a pro každou provést nastavení portu. Narozdíl od bipolární modulace, kde se perioda T dělí pouze na dva úseky. Uvážíme-li, že každý motor má jiné otáčky, znamená to téměř 100% zatížení TOS-CPU-3.0.

Proto bylo provedeno zjednodušení řídicích signálů (obr a.9) tak, že se perioda dělí pouze na dvě části a zatížení TOS-CPU-3.0 pak je srovnatelné s bipolárním řízením.

Řídíme-li měnič takto, protéká jím pouze tolik proudu, kolik je potřeba a tepelné zatížení měniče je pak funkcí rychlosti otáčení motoru a jeho zatížení. Protože motorem protéká menší proud, je i úroveň akustického hluku podstatně nižší i při modulační frekvenci 2kHz, při větších frekvencích modulace začíná motor ztrácet výkon. Proto jsme použily tento způsob modulace pro řízení motorů OMR III.

10. URČOVÁNÍ ABSOLUTNÍ POLOHY ALR OMR III

Pro určování polohy ALR OMR III byla zvolena metoda ztotožňování globální mapy s mapou lokální tzv. MATCHING. Přibližnou polohu ALR OMR III určuje odometrická senzorická soustava. Tuto přibližnou polohu je nutné pro další správnou orientaci ALR OMR III zpřesnit. Protože aplikační oblast ALR OMR III je směřována na tzv. INDOOR aplikace [3], je výhodné využít pro zpřesnění přirozených značek prostředí. V našem případě se jedná o hranové příznaky. Prvním úkolem ALR OMR III je získat globální model prostředí. Ten může být buď uměle vložen do paměti, nebo zjištěn pomocí scénové senzorické soustavy ALR OMR III a pomocí různých strategií činnosti [2].

11. METODA ZTOTOŽŇOVÁNÍ GLOBÁLNÍ A LOKÁLNÍ MAPY PROSTŘEDÍ

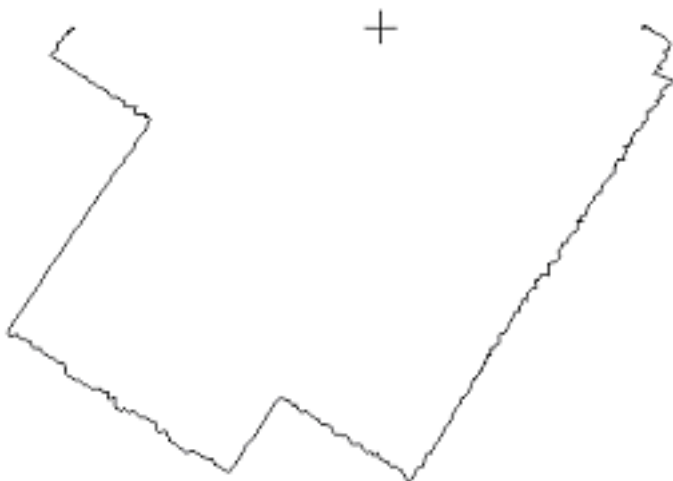
Při vlastním ztotožňování se porovnává lokální model prostředí získaný v reálném čase pomocí scénové senzorické soustavy (Obr. 4) s globálním modelem prostředí uloženým v paměti ALR OMR III. Jestliže existují dvě mapy, které mohou být ztotožněny, pak lze snadno vypočítat aktuální odchylku vzdálenosti a natočení, získanou pomocí odometrické senzorické soustavy.

Lokální mapa prostředí vznikne jako rovinný řez okolního prostředí ve výšce umístění laserového dálkoměru PLS v úhlovém rozsahu 180°. Mapa vznikne spojením jednotlivých koncových bodů naměřených vzdáleností a jejich aproximací.

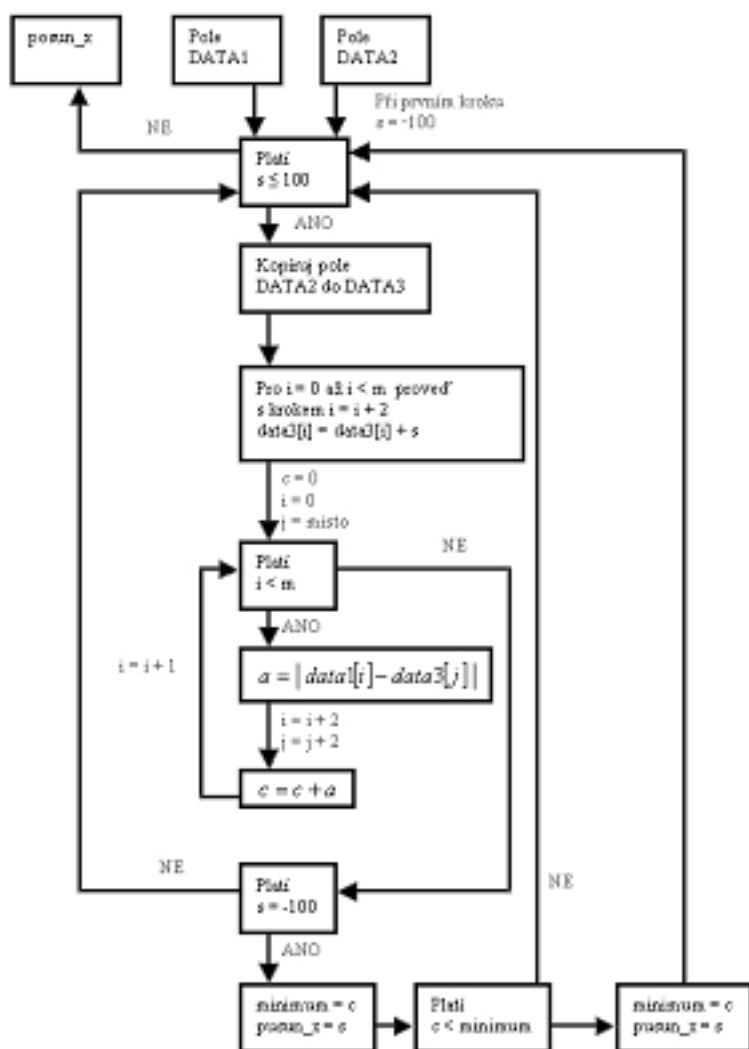
Aby bylo možné uskutečnit vlastní zpřesnění, je nutné nalézt takovou část globální mapy, která je shodná s lokální mapou. Pro správnou funkci algoritmu je nutné, aby odchylka natočení a polohy nebyla příliš velká.

Po nalezení shodných částí map, můžeme přistoupit k jejich úhlovému ztotožnění. Lokální mapu postupně natáčíme a porovnáváme se shodnou částí globální mapy. Hledaný úhel natočení je ten, kde absolutní hodnota rozdílu součtu směrnic úseček lokální mapy a globální mapy je minimální.

Dalším krokem je posuvové sjednocení. Nejprve sjednocujeme v ose x. Posunujeme mapou po x-ové souřadnici a jako hledaný posuv bereme ten, jehož absolutní rozdíl x-ových souřadnic lokální mapy s mapou globální je minimální. U y-ové souřadnice je postup analogický. Výsledkem je pak zpřesněná poloha ALR OMR III. Příklad algoritmu pro ztotožnění x-ové souřadnice je na Obr. 5.



Obr. 4 Příklad lokální mapy získané pomocí laserového dálkoměru PLS 200



Obr. 5: Algoritmus pro ztotožnění v x-ové ose

12. ZÁVĚR

Pro odzkoušení funkčnosti byla vytvořena modelová místnost za účelem získání reálných dat. V této místnosti bylo provedeno snímání v šesti různých bodech s natočením laserového dálkoměru PLS o 60°. Při simulaci algoritmu na PC byly zjišťovány statické odchylky při ztotožňování map polohy u x-ové a y-ové souřadnice. Ta nepřekročila $\pm 180\text{mm}$ a velikost úhlové odchylky se pohybovala v rozsahu $\pm 6,8^\circ$. Tyto odchylky jsou srovnatelné s jinými metodami (MOBIL II, Kaiserslautern) a jsou vhodné pro použití na robot ALR OMR III.

Architektury řídicích systémů jednotlivých úrovní mobilního robotu OMR III byly navrhovány s ohledem na maximalizaci využití výkonu a prostředků použitých počítačů a maximální spolehlivost robotu jako celku. Zároveň je architektura řešena maximálně otevřeně. Jednotlivé úrovně jsou na sobě nezávislé. Probíhá mezi nimi pouze výměna požadovaných dat přesně definovanými způsoby. Otevřenost soustavy OMR III představuje např. možnost řídit pomocí operátoru libovolnou jinou úroveň.

Řídicí systémy vyšší úrovně a operátora jsou napsány pomocí objektové technologie. To nám umožňuje jednoduché doplňování nových vlastností systému pomocí mechanismů dědičnosti. Důsledně je využíváno mechanismu zapouzdření pro oddělení dat jednotlivých objektů a výměna dat mezi objekty probíhá přes definovaná rozhraní. Tím je zajištěna nezávislost jednotlivých tříd a podstatně zvýšena robustnost a spolehlivost systému.

Výzkumné a vývojové práce na mobilním robotu probíhají za podpory projektu Fondu rozvoje vysokých škol MŠMT č. VS 96122

„Laboratoř pro výzkum a vývoj mechatronických systémů“ a výzkumného záměru č. CZ J22/96:260000013 „Automatizace technologií výrobních procesů“.

13. REFERENCE

- [1] Houška P.: Návrh architektury řídicího systému mobilního robotu OMR III, [Diplomová práce], VUT FS, Brno 1999
- [2] Lojek O.: Tvorba globální mapy, pro navigaci ALR, [Diplomová práce], VUT FS, Brno 1999
- [3] Houška P., Lojek O., Malý A., Singule V., Březina T.: Architecture of the mobile robot OMR III, “Diagnostika a aktivní řízení 2000”, Třešť 2000, p.19-20
- [4] Singule, V., Šimeček, K., Malý, A., Houška, P., Lojek, O.: Design and Some of Realisation of the Omnidirectional Mobile Robot. Proceedings of International Conference „Mechatronics 2000“. Warsaw 2000, 71-74