

Sborník Robotour 2007

Občanské sdružení Robonika

1/2/2008

Úvod

Soutěž Robotour 2007 již skončila, ale bylo by škoda nezanechat nějaký souhrnný dokument, jak to všechno bylo, co fungovalo, co ne. . . Z tohoto důvodu se účastníci dohodli na vzniku sborníku, který je k dispozici ve dvou podobách: jednak jako články na webu <http://robotika.cz/> a dále jako toto PDFko volně ke stažení a tisku. Přejeme pěkné počtení.

Obsah

1	Pravidla v kostce	5
2	FoG – <i>Head</i>	7
2.1	Úvod	7
2.1.1	Představení týmu FoG	7
2.2	Hardwareové vybavení	8
2.2.1	Podvozek	8
2.2.2	Kamerový systém	9
2.2.3	Palubní počítač	9
2.3	Programové vybavení a algoritmy	10
2.3.1	Sledování cesty - GeNav	10
2.3.2	Navigace podle známých objektů - SURFNav	13
2.4	Závěr	15
3	FoG – <i>Body & Tail</i>	18
3.1	Úvod	18
3.1.1	Představení týmu FoG	18
3.2	Roboty	20
3.2.1	Robot - <i>Body</i>	20
3.2.2	Robot - <i>Tail</i>	23
3.3	Programové vybavení a algoritmy	25
3.3.1	<i>Body</i> navigace	25
3.3.2	Vzájemná komunikace mezi <i>Head</i> a <i>Body</i>	27
3.3.3	<i>Tail</i> navigace	28
3.4	Závěr	29

4	R-team	31
4.1	Úvod	31
4.2	Mechanické řešení	31
4.2.1	Pohon	32
4.3	Elektronika	33
4.3.1	Řízení pohonu	33
4.3.2	Senzory	33
4.3.3	Hlavní řídicí jednotka	33
4.4	Popis použitého software	34
4.4.1	Software modulu pro řízení motoru	34
4.4.2	Software řídicího modulu	35
4.5	Závěr	37
5	Short Circuits Prague	39
5.1	Úvod	39
5.2	Architektura robota	40
5.2.1	Hardware	40
5.2.2	Software	41
5.3	Průběh soutěže	43
5.4	Závěr	44
5.4.1	Zhodnocení	45
5.4.2	Výhled	45
6	URPI FEI STU Bratislava	46
6.1	Úvod	46
6.2	Vybavenie robota MRVK-01	47
6.3	Implementácia riadenia	49
6.4	Súťaž Robotour 2007	52
6.5	Záver	53
7	Výsledky	55
7.1	Homologace	55
7.2	Soutěž	56

Kapitola 1

Pravidla v kostce

Úkol

Úkolem robotů je v zadaném časovém limitu 1h projet dráhu cca 1km dlouhou. Roboti musí být plně samostatní, nesjíždět z cesty a správně se rozhodovat na křižovatkách podle zadané mapy. Přesné zadání trasy bude týmům k dispozici až den před soutěží.

Trasa

Trasa bude zadána pomocí sítě cest (RNDF - Road Network Definition File) a kontrolními body (MDF - Mission Definition File) stejným způsobem jako ve specifikaci trasy DARPA Urban Challenge. Síť cest bude k dispozici nejméně měsíc před soutěží a bude obsahovat všechny potenciální dovolené trasy. Kontrolní body dostanou týmy den před soutěží. Přestože trasa bude zadána v absolutních WGS84 souřadnicích, robot nemusí být vybaven GPS přijímačem. Z RNDF souboru lze snadno vygenerovat hrubý plánek Stromovky a cesta může být manuálně překódována do formátu *po cca 25m zahni doprava, na další křižovatce rovně, . . .* Navíc si tým může trasu i s roboty projít den předem.

Roboti

Tým může nasadit nejvýše tři roboty s kódovým označením: HEAD, BODY a TAIL. Roboti se na trati nesmí dotýkat a vzdálenost HEAD-BODY a BODY-TAIL nesmí přesáhnout 2m. Každý robot musí mít tlačítko PAUSE, které dočasně pozastaví jeho pohyb. Toto tlačítko bude použito při startu a při vyjetí z trasy.

Bodování

Vyhrává tým, jehož roboti budou trasu nejlépe zdolávat. Trasa bude rozdělena na úseky 20m až 40m dlouhé s tím, že pevně budou dány křižovatkové úseky (5m před a 5m po) a vnitřní segmenty se pravidelně dorozdělí. Za zcela autonomní projetí úseku (tj. bez vracení na cestu) získává tým 1 bod (tzv. „bod za inteligenci“). Za dovezení jednoho kusu nákladu na konec segmentu získává tým „bod za náklad“. Každý robot může vézt jeden „náklad“. Celkem tedy může tým za jeden úsek získat až 4 body. Pokud robot v úseku vyjede z cesty, nezíská za něj žádný bod a je tedy jedno zda veze náklad či ne.

Vyjetí z cesty

Trasa povede po asfaltových parkových cestičkách. Při prvním vyjetí z cesty v rámci jednoho úseku, bude robot resp. kolona robotů pozastaven(a), navracen(a) na cestu a pokus může pokračovat. Při druhém vyjetí v jednom úseku končí robot, který vyjede a všichni za ním. Pokud např. vyjede robot HEAD, tak roboti BODY a TAIL nejsou už vraceni. Pokud vyjedou, nemohou dále pokračovat. Pokud v úseku na podruhé vyjede BODY, automaticky končí i TAIL. O jejich včasné odklizení se musí postarat soutěžící tým.

Organizace

Soutěž bude mít 5 kol, kdy na trase mohou být současně i roboti několika týmů (časový odstup mezi jednotlivými starty bude minimálně 5 minut). Rychlost v této soutěži nehraje roli (je omezena na 2.5m/s). Do celkového výsledku se sčítají body za úspěšně projaté úseky za všechna kola. Navíc pokud se robot nebude 60s pohybovat, bude aktuální pokus zastaven.

Kapitola 2

FoG – *Head*

2.1 Úvod

Tento článek popisuje vedoucí robot mechanizovaného konvoje univerzitního týmu *FoG* z Českého Vysokého Učení Technického v Praze, který se účastnil robotického klání RoboTour 2007 konaného v pražské Stromovce v září roku 2007. Robotická soutěž RoboTour 2007 byla zaměřena na autonomní převoz užitečného nákladu. Úkolem bylo postavit kolonu až tří robotů schopných vézt náklad a autonomně projet trasu délky cca 1 km. Roboty v koloně nesměly být mechanicky spojené a jejich rozstup neměl přesahovat 2 metry.

Obsah článku je rozdělen do několika oddílů. V následujícím je v krátkosti představena soutěž RoboTour 2007 a tým FoG, který se soutěže RoboTour 2007 jako jediný zúčastnil s více roboty. Popis hardware robotické platformy a jejích senzorů je uveden v následujícím oddíle. Další oddíl se zabývá algoritmy navigačního systému robotu. V závěru je hodnocena úspěšnost navigačního systému a jsou navržena jeho vylepšení.

2.1.1 Představení týmu FoG

Jméno týmu FoG je tvořeno počátečními písmeny anglického *Forces of Gerstner*, neboť zakládající členové tohoto týmu jsou nebo byli studenti působící ve skupině Inteligentní a Mobilní Robotiky [1] (IMR), která je jednou z vědeckovýzkumných skupin Gerstnerovy Laboratoře [2]. Gerstnerova Laboratoř je částí katedry kybernetiky [3] při Fakultě elektrotechnické [4] Českého Vysokého Učení Technického v Praze [5]. Hlavním oborovým zaměřením této laboratoře je studium umělé inteligence a to jak na úrovni základního výzkumu, tak na úrovni aplikací.

Motivací k účasti v soutěži je především možnost získání zkušeností s vývojem outdoorového mobilního robotu, zkouška práce v týmu ve stresujících podmínkách pevně daného termínu ukončení práce a experimentální ověření vyvinutých navigačních algoritmů.

Tým FoG plánoval nasazení tří robotů jedoucích v koloně. První robot se měl orientovat ve venkovním prostředí a samostatně projet zadanou cestu a zbylé dva měly sledovat robot před sebou.

První a druhý robot je ve skupině IMR používán pro experimentální ověření vyvíjených algoritmů ve venkovním prostředí. Třetí robot byl postaven z podvozku jednoduché konstrukce, zhotovitelné v domácích podmínkách. Robot byl vybaven senzory z vybavení skupiny IMR.

2.2 Hardwareové vybavení

2.2.1 Podvozek

Hlavní část robotu tvoří mobilní platforma Pioneer 3 AT (P3AT). Specifikace této platformy lze nalézt na stránkách společnosti ActivMedia Robotics [6], proto zde uvedeme především informace o použitém přístrojovém vybavení neseném platformou.

P3AT je diferenciální podvozek se samostatně řízeným levým a pravým pohonem, který zatáčí smykem. Základní řízení motorů a vyčítání senzorů je realizováno samostatnou procesorovou deskou. Nadřazený palubní počítač je připojen k procesorové desce rozhraním RS232.

Součástí platformy P3AT jsou přední a zadní taktilní nárazníky, které po aktivaci pohony na hardwarové úrovni. Modul řízení robotu využívá odometrické informace fúzované s daty z vnitřního gyroskopu. K robotické platformě je připojen modul kompasu TCM2, který je umístěn přibližně 0.7 m nad tělem robotu, aby jeho měření nebylo příliš ovlivněno elektromagnetickým polem pohonů.

Robot je napájen ze samostatného bezúdržbového olověného akumulátoru o kapacitě přibližně 20Ah.

Na robotu je také během jízdy v koloně uchycena červená plocha dostatečné velikosti¹, která slouží následujícímu robotu jako vizuální maják. Dalším zařízením potřebným k vedení následujícího robotu je ultrazvukový maják vyvinutý skupinou IMR [7]. Robot udržoval se zbytkem kolony spojení bezdrátovým komunikačním modulem [7] založeným na technologii ZigBee.

¹Pro tyto účely byla na robotu umístěno tričko červené barvy.



Obrázek 2.1: Robot *Head*.

2.2.2 Kameraný systém

Hlavním senzorem robotu je kamera, která slouží k získání obrazu oblasti před robotem. Je použita barevná jednočipová průmyslová kamera Fire-i 400 [8] s rozlišením 640×480 . Při rozlišení 640×480 v barevném prostoru RGB kamera poskytuje až 15 snímků za sekundu. Kamera je připojena k palubnímu počítači rozhraním IEEE 1394 (FireWire). Její hlavní výhodou oproti běžným webovým kamerám je uzávěrka a manuálně nastavitelná clona. Přenos snímku do počítače probíhá až po kompletním osvětlení snímacího čipu, takže obrázky poskytované kamerou nejsou deformované v důsledku jejího pohybu. S použitým objektivem byl zorný úhel kamery přibližně 45 stupňů. Normála obrazové roviny kamery byla shodná se směrem pohybu robotu.

2.2.3 Palubní počítač

Vzhledem k použité metodě zpracování obrazu vyžadující značný výpočetní výkon je palubním počítačem notebook s procesorem Intel Core2 Duo taktovaným na 2GHz. Notebook je upevněn na nosné konstrukci z hliníkových profilů stavebnice Item, která je umístěna na vrchní straně robotu.

Nižší spotřeba dnešních procesorů v porovnání s předchozími generacemi je dosažena především úspornými režimy, které se při intenzivních výpočtech neuplatní. Při dlouhodobém testování je tedy jednou z klíčových otázek napájení palubního

počítače. Kromě interního akumulátoru notebooku jsou použity dva externí univerzální akumulátory, každý o kapacitě 88VAh. Výhodou tohoto řešení je možná výměna akumulátorů za chodu v terénu bez nutnosti dalšího externího napájení nebo restartu počítače. Během provozu na externí akumulátor dochází také k nabíjení akumulátoru vnitřního. Druhý externí akumulátor je navíc možné během používání prvního akumulátoru nabíjet.

K palubnímu počítači je připojen bezdrátový joystick, kterým lze robot ovládat.

2.3 Programové vybavení a algoritmy

Palubní počítač robotu byl vybaven operačním systémem Linux, konkrétně distribucí OpenSuse. Použité algoritmy byly implementovány v jazyce C a C++.

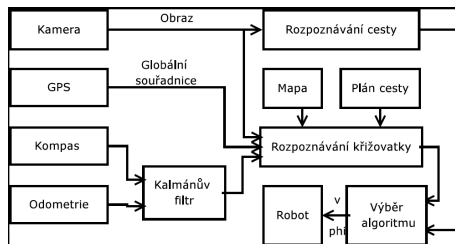
Vedoucí robot používá k navigaci ve venkovním prostředí dva algoritmy. První algoritmus je založen na rozpoznávání význačných objektů v obrazu kamery. Robot nejprve během teleoperované jízdy prostředím identifikuje význačné objekty a zapamatuje si jejich pozice. Při autonomní jízdě jsou aktuálně rozpoznané objekty porovnávány s již zapamatovanými a na základě porovnání jejich rozpoznání a uložené pozice jsou prováděny korekce směru jízdy. V případě, že robot žádné známé objekty nevidí, aktivuje algoritmus rozpoznávání cesty.

Následující oddíl popisuje algoritmus navigace robotu sledování cesty - GeNav, který byl použit při navigaci robotu v minulém ročníku soutěže RoboTour v roce 2006. Druhý algoritmus, který se snaží ošetřit chování robotu v případech selhání algoritmu GeNav, je popsán v oddíle [2.3.2](#).

2.3.1 Sledování cesty - GeNav

Algoritmus GeNav (Gerstner Navigation) byl vytvořen pro rozpoznávání cest a křižovatek z obrazu kamery snímající povrch, po kterém robot jede ve vzdálenosti 1 až 5 m ve směru jízdy. Předpokládá se, že barva cesty je určena jiným algoritmem či senzorem, nebo je známa předem. Barvu cesty může také při běhu algoritmu zadat operátor. Pro specifikaci barvy je použit barevný prostor HSV [9], kde je informace o jasnosti oddělena od informace o tónu barvy. V tomto barevném prostoru je snadnější dosáhnout vyšší robustnosti algoritmu vůči změně osvětlení prostředí.

Navigačním algoritmus GeNav lze rozdělit na dvě části, vlastní rozpoznávání cesty, oddíl [2.3.1](#) a rozpoznávání křižovatky, oddíl [2.3.1](#).



Obrázek 2.2: Blokové schéma systému GeNav.

Rozpoznávání cesty

Algoritmus rozpoznávání cesty se skládá ze dvou kroků. Prvním krokem algoritmu je výpočet střední hodnoty horizontální souřadnice pixelů barvy cesty posledního řádku. Ve druhém kroku algoritmus pokračuje procházením pixelů od této pozice v posledním řádku v obou směrech a hledá hranice cesty, t.j. ve směru procházení je identifikována posloupnost pixelů jiné barvy než je barva cesty. Z takto detekovaných okrajů cesty je vypočtena její šířka a střed.

Pokud je šířka větší než definovaná mez, začnou se hledat hranice cesty na vyšším řádku, přičemž střed je použit jako výchozí bod hledání. Při poklesu detekované šířky cesty pod tuto mez je algoritmus ukončen.

Dopředná rychlost robotu je úměrná řádku, při kterém byl algoritmus zastaven. Rychlost otáčení robotu je určena ze součtu odchylek středů cesty od středu obrázku. Obraz je často zatížen šumem, proto jsou hodnoty odpovídající středu a šířce cesty vyhlazovány adaptivními lineárními filtry druhého řádu.

Rozpoznávání křižovatky

Pokud se hodnota predikovaná filtrem šířky cesty liší od měřené hodnoty vícekrát za sebou, je aktivována rutina detekce křižovatky. Ta vyhledá souvislé oblasti barvy cesty na okrajích snímaného obrazu. Z okrajů těchto oblastí, detekovaného středu křižovatky a dat z kompasu je pak odvozen její popis ve formě množiny úhlů odpovídajících azimutům výstupních cest. Popis cesty tak může být zadán posloupností úhlů udávajících směry otočení robotu na projížděných křižovatkách. Detekce křižovatky může být podpořena její známou polohou a použitím GPS nebo jiného systému globální lokalizace.



Obrázek 2.3: Cesta s detekovanými okraji a středem



Obrázek 2.4: Rozpoznávaná křižovatka

Chování algoritmu

Algoritmus GeNav byl základem navigace robotu, která byla použita v minulém ročníku soutěže. Pracoval spolehlivě a robustně na úzkých cestičkách a jednoduchých křižovatkách, robot se dokázal vyhýbat i pohybujícím se objektům. Na místech, kde byla cesta širší než oblast přehlížená kamerou, rozlehlých křižovatkách a volných prostranstvích nebyl GeNav schopen spolehlivě určit směr jízdy a robot často zbloudil. Tyto omezení se snaží eliminovat nový algoritmus navigace, který dokáže rozpoznávat a orientovat se podle širší škály objektů než pouze podle cesty dané barvou.

2.3.2 Navigace podle známých objektů - SURFNav

Systém SURFNav (Speeded Up Robust Features Navigation) rozpoznává v obraze již známé objekty a provádí korekce směru robotu tak, aby se obrazové souřadnice rozpoznávaných objektů blížily souřadnicím naučeným. Kromě dat z kamery jsou při běhu systému jsou využívány údaje z odometrie a kompasu. Systém pracuje ve dvou režimech - učení a navigace. Rozpoznávání objektů v je realizováno algoritmem počítačového vidění. Základní principy tohoto algoritmu jsou popsány v oddíle 2.3.2. Fáze učení je popsána v oddíle 2.3.2, popisu vlastní navigace je věnován oddíl 2.3.2.

Rozpoznávání objektů

Z množiny algoritmů realizujících rozpoznávání objektů v obraze byl jako nejvhodnější vybrán algoritmus SURF (Speed-Up Robust Features)[10], jehož robustnost i rychlost převyšuje ostatní známé metody. Tento algoritmus ve dvou fázích zpracovává šedotónový obraz. V první fázi je na snímek aplikován detektor lokálních extrémů jasů. Další výpočet prohledává okolí těchto extrémů a počítá jejich charakteristický vektor, který je invariantem homografického zobrazení. Předpoklad lokální rovinnosti umožňuje vytvořit popis dané oblasti, který je robustní vzhledem k jejímu zvětšení, rotaci a náklonu. Výstupem algoritmu jsou obrazové souřadnice význačných oblastí spolu s jejich 64 složkovým deskriptorem.

Vzhledem k výpočetní náročnosti zpracování je obrázek horizontálně rozdělen a obě jeho části jsou zpracovávány paralelně na obou jádrech použitého procesoru. Vzhledem k tomu, že spodní a horní část získaného snímku typicky obsahuje různý počet detekovatelných objektů, byl vyvinut adaptivní algoritmus, která rozděluje obraz na různě velké části s přibližně stejnou dobou zpracování.

Z výše uvedeného popisu vyplývá, že algoritmus nerozpoznává obdobné objekty jako člověk. Jedná se spíše o oblasti obrazu, které jsou dobře identifikovatelné a jejichž popis je dostatečně odlišitelný od ostatních oblastí. Nevýhody vyplývající z faktu, že detekované objekty jsou často nestacionární (spadané listí, nečistoty, stíny, kolemjdoucí), jsou vyrovnány jeho rychlostí (přibližně 3 FPS). Množství detekovaných oblastí (typicky 250) umožňující jejich statistické zpracování zmíněnou nevýhodu téměř eliminuje.

Mód učení cesty

Při režimu učení je robot proveden trajektorií ve tvaru lomené čáry. Na počátku každého segmentu si robot nastaví čítač ujeté vzdálenosti na nulu, vyčte data z kompasu a pořídí sérii snímků. Z této sekvence si vybere stacionární a stabilní objekty a uloží si jejich pozice a popis. Za stabilní objekty jsou prohlášeny takové objekty, které

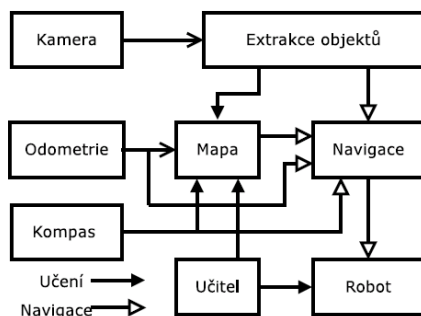


Obrázek 2.5: Snímek s objekty zájmu.

byly detekovány opakovaně v 50-ti po sobě jdoucích snímcích. Poté se začne pohybovat přímo vpřed, během toho stále snímá obraz kamerou, rozpoznává objekty a zaznamenává odometrická data. Při první detekci některého stabilního objektu si algoritmus uloží jeho deskriptor a pozici v sejmutém obraze spolu se vzdáleností robotu od počátku segmentu. Již zapamatované objekty se snaží nalézat i v následujících snímcích, přičemž k jejich aktuálním obrazovým souřadnicím si přiřazuje informaci o ujeté vzdálenosti. Tracking objektu končí ve chvíli, kdy není rozpoznán ve třech bezprostředně následujících snímcích. Deskriptor objektu, jeho obrazové souřadnice a odometrická data v okamžicích prvního a posledního rozpoznání jsou poté zařazeny do množiny dat popisujících daný segment. Učení daného segmentu je přerušeno operátorem, který robot zastaví (délka segmentu se uloží) a natočí jej ve směru další jízdy. Poté je algoritmus spuštěn pro další segment nebo ukončen.

Mód navigace

Po spuštění navigačního módu si robot nejprve načte popis příslušného segmentu a podle kompasu se otočí definovaným směrem. Poté nastaví čítač ujeté vzdálenosti na nulovou hodnotu, začne se pohybovat vpřed a snímat obrázky kamerou. Z naučené množiny objektů vybere ty, které může vidět v daném úseku aktuálního segmentu, tj. ty, jejichž vzdálenost první a poslední detekce je menší resp. větší než aktuální vzdálenost robotu od počátku segmentu. Ze zmíněných vzdáleností, počátečních a koncových obrazových souřadnic se lineární interpolací vypočte očekávaná pozice objektů v aktuálním snímku. Tyto objekty jsou ohodnoceny počtem snímků, ve kterých byly detekovány a je vybráno 50 nejlépe ohodnocených kandidátů. Pro každý takto vybraný kandidát je v množině aktuálně rozpoznávaných objektů nalezen nejpodobnější



Obrázek 2.6: Blokové schéma systému SurfNav.

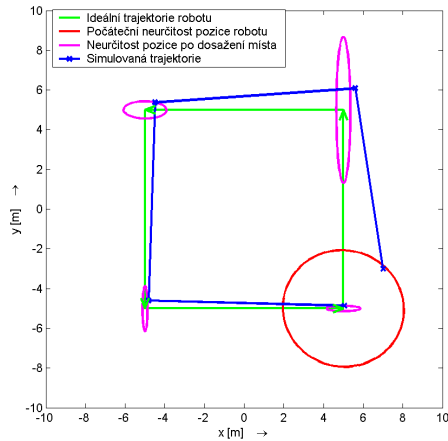
objekt. Podobnost je vypočtena z Eukleidovské vzdálenosti deskriptorů obou objektů. Pro každou takovou dvojici je vypočten rozdíl v horizontálních souřadnicích obrazu. Z modu těchto rozdílů je spočtena hodnota korekce směru robotu. Po ujetí vzdálenosti větší nebo rovné délce daného segmentu robot zastaví, načte popis dalšího úseku a činnost opakuje.

Důležitým aspektem navigačního algoritmu je jeho funkčnost i bez nutnosti robot lokalizovat nebo vytvářet třírozměrnou mapu detekovaných objektů. Přesto, že podle kamery je udáván pouze směr a pro odměřování vzdálenosti je použita ne zcela přesná odometrie, lze ukázat [11], že při dostatečně časté změně směru pohybu se robot při navigaci příliš nevzdálí od naučené cesty. Obrázek 2.7 ilustruje vývoj pozice robotu spolu její neurčitostí pro uzavřenou trajektorii. Chyba odometrie se modeluje jako multiplikační neurčitost o velikosti 5%, délka trajektorie je 40 m. V modelu pohybu je zahrnut fakt, že robot není navigován přímo do místa konce segmentu, ale přibližně 5 m za toto místo.

2.4 Závěr

Při vlastní soutěži byl robot schopen bezchybně absolvovat více než 150 metrů dlouhou dráhu, což stačilo na obsazení 3. místa.

K vyjíždění z dané cesty docházelo v okolí jednoho konkrétního místa. Ukázalo se, že přesnost navigace podle rozpoznávaných objektů rapidně klesá se stoupající rozlehlostí prostředí, což je v souladu s teoretickými předpoklady vyplývajícími z matematického modelu navigačního systému. Pokud se robot orientoval podle objektů vzdálených přibližně 50 metrů, přesnost navigace poklesla pod hodnotu nutnou



Obrázek 2.7: Trajektorie robotu navigovaného SURFNavem s vyznačenou neurčitostí polohy.

k udržení se na 2 metry široké cestě. Odvážná hypotéza, že při navrženém způsobu navigace se nejistota v určení polohy robotu drží v jistých mezích, se přesto potvrdila.

Horizontálně položená kamera byla často „oslepena“ přímým slunečním světlem. Trajektorie tvaru lomené čáry se také ukázala jako nevhodná. V místech přechodu na další segment se robot často zbytečně zdržoval, neboť se nemohl na příliš přilnavém povrchu otočit do požadovaného směru. Ačkoliv algoritmus GeNav nepočítal s pohledem kamery přímo ve směru pohybu robotu, byl schopen spolehlivě navigovat robot na asfaltových a dlážděných cestičkách. Bohužel, na první rozlehlejší projížděné křižovatce se podle očekávání nedokázal správně zorientovat.

V dalším vývoji se zaměříme na rozšíření systému SurfNav pro rozsáhlejší třídu trajektorií. Algoritmus bude také doplněn rutinami zpracovávající informace o geometrických vztazích mezi detekovanými objekty, čímž je očekáváno zvýšení robustnosti navigace. Dále bude vypracována koncepce umožňující efektivně kombinovat systémy GeNav a SURFNav. Neméně významným úkolem je také testování metod potlačení negativních vlivů okolního osvětlení, především saturace snímacího čipu přímým slunečním světlem.

Poděkování

Závěrem chceme vyjádřit uznání organizátorům soutěže, poděkovat členům týmů a všem, kteří podpořili soutěž. Tato práce byla podpořena výzkumným grantem ČVUT CTU0706113.

Reference

- [1] <http://imr.felk.cvut.cz>.
- [2] <http://gerstner.felk.cvut.cz>.
- [3] <http://cyber.felk.cvut.cz>.
- [4] <http://www.fel.cvut.cz>.
- [5] <http://www.cvut.cz>.
- [6] <http://www.activrobots.com/index.html>.
- [7] Košnar K, Faigl J., Krajník T. Team fog - popis nákladních robotů. In *Robo-tour07*, 2008.
- [8] http://www.unibrain.com/Products/VisionImg/Fire_i_400_Industrial.htm.
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/HSV_color_space.
- [10] Gool L, Bay H., Tuytelaars T. Surf: speeded up robust features. In *ECCV06*, 2006.
- [11] Košnar K, Krajník T. Visual navigation system. In *EUROS 08, (To appear)*, 2008.

Kapitola 3

FoG – *Body & Tail*

3.1 Úvod

Tento článek blíže představuje část univerzitního týmu *FoG* z Českého Vysokého Učení Technického v Praze, který se účastnil robotického klání RoboTour 2007, konaného v pražské Stromovce v září roku 2007. Robotická soutěž RoboTour 2007 byla zaměřena na autonomní převoz užitečného nákladu. Úkolem bylo postavit kolonu až tří robotů schopných vézt náklad a autonomně projet trasu délky cca 1 km. Roboty v koloně nesměly být mechanicky spojené a jejich rozestup neměl přesahovat 2 metry. Tým FoG nastoupil se třemi roboty. Pouze první byl schopen autonomní navigace ve venkovním prostředí, ostatní roboty jej postupně v koloně následovaly. V tomto textu je uveden popis zejména dvou robotů sledujících robot před sebou.

Obsah článku je rozdělen do několika oddílů. V následujícím jsou představeni živí i neživí členové týmu FoG. Popis hardware je uveden v dalším oddíle, přičemž každému robotu je věnováno několik odstavců. Programové vybavení robotů je uvedeno v samostatné části. Oba roboty používají pro navigaci sledování barevného objektu, avšak každý využívá odlišného způsobu detekce vzdálenosti od sledovaného robotu, proto je popisu každého přístupu věnován samostatný oddíl. V závěru jsou shrnuty získané zkušenosti a plány pro další ročníky robotické soutěže autonomních robotů RoboTour.

3.1.1 Představení týmu FoG

Jméno týmu FoG je tvořeno počátečními písmeny anglického *Forces of Gerstner*, neboť zakládající členové tohoto týmu jsou (byli) studenti působící ve skupině Inte-

ligetní a Mobilní Robotiky [1] (IMR), která je jednou z vědeckovýzkumných skupin Gerstnerovy Laboratoře [2]. Gerstnerova Laboratoř je částí katedry kybernetiky [3] při Fakultě elektrotechnické [4] Českého Vysokého Učení Technického v Praze [5]. Hlavním oborovým zaměřením této laboratoře je studium umělé inteligence a to jak na úrovni základního výzkumu, tak na úrovni aplikací.

Úspěšná účast v samotné soutěži RoboTour není přímo cílem vědecko-výzkumných aktivit skupiny IMR, koreluje spíše s jedním z dlouhodobých záměrů výzkumu v mobilní robotice, kterým je sestavení autonomního inteligentního vozidla. Z tohoto důvodu je RoboTour využíván především jako testovací platforma pro ověření některé nově vyvinuté metody nebo přístupu. Přizpůsobování robotu pro konkrétní pravidla soutěže s cílem vyhrát je tedy spíše druhořadou aktivitou. Velmi důležitým argumentem pro účast v soutěži je také možnost získání praktických zkušeností s vývojem autonomního mobilního robotu pro studenty bakalářských a magisterských oborů ČVUT v Praze, neboť přesně definovaný den konání soutěže je vhodnou omezující podmínkou pro vytvoření správného pracovního nasazení.

V roce 2007 tým FoG plánoval nasazení 3 robotů:

1. "Cowley" P3AT - experimentální robotická platforma (vedoucí robot),
2. "Bodie" P3AT - experimentální robotická platforma (sledující robot),
3. "Doyle" robotický podvozek vlastní konstrukce (sledující robot).

V souladu s pravidly pro rok 2007 [6] je hlavní (vůdčí) robot označován *Head*, robot následující označován *Body* a poslední robot *Tail*. První a druhý robot je ve skupině IMR používán pro experimentální ověření vyvíjených algoritmů ve venkovním prostředí. Základem podvozku je mobilní robot Pioneer 3 AT společnosti ActivMedia Robotics [7]. Robot *Head* a robot *Body* při soutěži RoboTour 2007 jsou zobrazeny na obrázku 3.1. Navigace robotu *Head* je založena na rozpoznávání cesty a význačných objektů v obrazu kamery. Robot *Body* stejně jako *Tail* sleduje kamerou objekt výrazné barvy na robotu *Head* resp. *Body*.



Obrázek 3.1: Roboty *Head* a *Body* v koloně.

Členové týmu FoG spolu s jejich převládající úlohou jsou uvedeni v tabulce 3.1. Ačkoliv je ve třetím sloupci uveden robot na jehož konstrukci se tento člen nejvíce podílel, kompletní realizace autonomního mechanizovaného konvoje je výsledkem práce všech členů týmu.

Jméno	Zařazení	Robot
Krajník Tomáš	vedoucí týmu	<i>Head</i>
Fišer Ondřej	hardware	<i>Head</i>
Faigl Jan	hospodář	<i>Body</i>
Košnar Karel	implementace	<i>Body</i>
Chudoba Jan	hospodář	<i>Tail</i>
Grimmer Vladimír	Hardware	<i>Tail</i>
Szücsová Hana	Hardware	<i>Tail</i>
Vonásek Vojtěch	Software	<i>Tail</i>
Jan Sova	Sudí	

Tabulka 3.1: Členové týmu FoG.

3.2 Roboty

3.2.1 Robot - *Body*

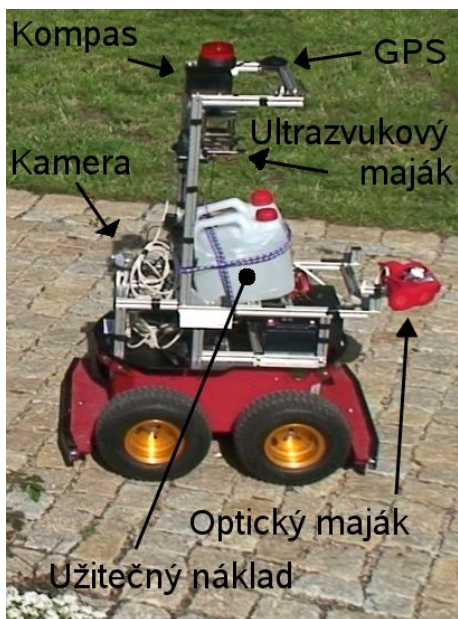
Podvozek

Hlavní část robotu tvoří mobilní platforma Pioneer 3 AT (P3AT). Specifikace této platformy lze nalézt na stránkách společnosti ActivMedia Robotics [7], proto zde uvedeme především informace o použitém přístrojovém vybavení neseném platformou, obrázek 3.2.

P3AT je diferenciální podvozek se samostatně řízeným levým a pravým pohonem, který zatáčí smykem. Základní řízení motorů a vyčítání senzorů je realizováno samostatnou procesorovou deskou. Nadřazený palubní počítač je připojen k procesorové desce rozhraním RS232.

Součástí platformy P3AT jsou přední a zadní taktilní nárazníky, které po aktivaci zastaví pohony na hardwarové úrovni. Modul řízení robotu využívá odometrické informace fúzované s daty z vnitřního gyroskopu.

Robot je napájen ze samostatného bezúdržbového olověného akumulátoru o kapacitě přibližně 20Ah. Nástavba podvozku, na které jsou uchyceny senzory robotu a další vybavení, je vytvořena z hliníkových profilů stavebnice Item.



Obrázek 3.2: Robot *Body*.

Na zadní části robotu je uchycen optický maják červené barvy s vlastním osvětlením, který slouží pro navigaci robotu *Tail*. Robot je vybaven magnetickým kompasem TCM2, který byl používán při složitějším průjezdu křižovatkou. Systém GPS slouží k monitorování polohy pro účely posouzení jeho přesnosti a k řízení robotu není nijak využit.

Kamera

Kamera použitá na robotu *Body* je běžná USB webová kamera s plastovou optikou a čipem ov518+. Použitý čip ukládá obraz ve formátu JPEG, který je následně přenášen do palubního počítače. Kamera pracuje až do rozlišení 640x480, avšak ztrátová komprese snímků znesnadňuje sofistikovanější zpracování obrazu.

Palubní počítač

Součástí platformy P3AT je průmyslový počítač s procesorem Intel Pentium III, který je taktován na 900MHz a osazen 256MB operační pamětí. Základní deska obsahuje 4 sériové porty RS232, ty však nelze použít zcela nezávisle, neboť porty sdílejí přerušení, experimentálně bylo ověřeno bezproblémové použití pouze 3 portů současně.

V základní konfiguraci platformy P3AT jsou pohony a palubní počítač napájeny z jediného zdroje, což není příliš šťastné řešení, neboť při záběru motorů může krátkodobě klesnout napětí akumulátoru, což způsobí restart palubního počítače. Z tohoto důvodu bylo použito dvou oddělených napájecích zdrojů. Palubní počítač je napájen ze samostatného bezúdržbového oloveného akumulátoru přes obvod nabíjecí desky. Ta umožňuje plynulý přechod na režim napájení a současného nabíjení ze sítě bez restartu počítače.

Podvozek je připojen k palubnímu počítači rozhraním RS232.

Ultrazvukové majáky

Vzhledem pravidlu definujícím maximální vzdálenost robotů v koloně je nutné také určit vzdálenost robotu *Body* od robotu *Head*. Pro měření vzdálenosti *Head* a *Body* je použito systému ultrazvukových majáků. Maják se skládá z osmibitového mikrořadiče (MCU Atmel ATtiny2313), ultrazvukového měniče, radiového modulu (Radiocraft 433MHz) a obvodů rozhraní RS232. Při měření vzdálenosti vyšle měřící maják radiový povel s příslušnou adresou. Adresovaný maják odpálí po přijetí tohoto příkazu ultrazvukový puls. Pokud je tento puls zachycen v definovaném časovém intervalu měřícím majákem, je z doby letu zvuku určena vzdálenost majáku adresovaného. Adresovaný maják je umístěn na robotu *Head*, jeho ovládání probíhá z robotu *Body*.

Přesnost měření vzdálenosti se pohybuje v řádu jednotek cm. Dosah je v reálných podmínkách 5 až 10 m. Rychlost měření vzdálenosti závisí na počtu obsluhovaných majáků, pro jediný maják je perioda vyčítání 200 ms.

Komunikační modul

Kromě reaktivního sledování robotu *Head* může robot *Body* realizovat komplexnější průjezd křížovatkou, o kterém je informován řídicím software robotu *Head*. Komplexnější kooperativní chování robotů *Head* a *Body* však vyžaduje explicitní komunikační kanál, který je realizován radiovou přenosovou soustavou založenou na technologii ZigBee. Komunikační deska je osazena rádiovým modulem RC2200AT SPPIO [8]. Modul obsahuje kromě vlastního radiového čipu s anténou také MCU AVR ATmega 128 [9]. Tento mikrokontrolér obsahuje implementaci ZigBee síťové vrstvy spolu s implementací vrstvy 802.15.4 MAC. Komunikační modul je možné připojit k pa-

lubnímu počítači rozhraním RS232 nebo USB, neboť komunikační deska obsahuje převodníky logických úrovní 0,1 z rozsahu 3,3 V na rozhraní RS232 a USB.

Pro vlastní komunikaci je však v podstatě využito pouze MAC vrstvy 802.15.4, nad kterou běží vlastní aplikační komunikační protokol, Radiový přenos je realizován v pásmu 2,4GHz. Komunikační deska je připojena k palubnímu počítači sériovým rozhraním o rychlosti 57600 bps. Maximální dosažená obousměrná přenosová rychlost je přibližně 12000 bitů za sekundu, komunikační dosah je v řádu desítek metrů.

3.2.2 Robot - *Tail*

Robot *Tail* představuje robotickou platformu, kterou je možné vyrobit i za velmi skromných podmínek. Architektura demonstruje možnost řízení robotu jednoduchými mikrořadiči na základě dat z kamery.

Podvozek

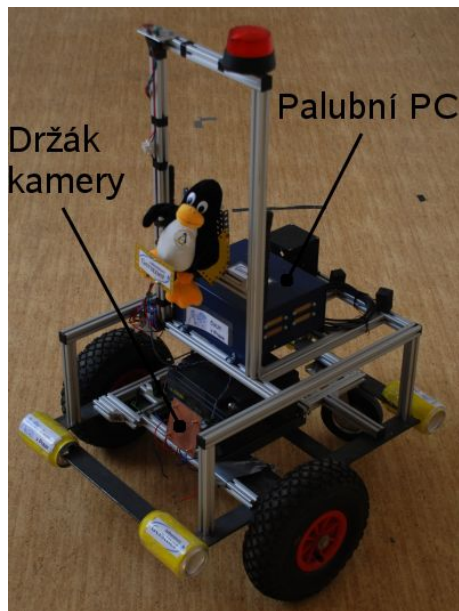
Podvozek je tvořen rámem o rozměru 0,45 m × 0,55 m, který je vyroben z ocelového plechu tloušťky 5 mm. Platforma představuje diferenciální dvoukolový robot s opěrným kolem. Pohony jsou realizovány dvěma nezávislými motory včetně převodovky z běžných akumulátorových vrtaček. Motory jsou řízeny můstkem osazenými na desce MD22 [10] komunikující prostřednictvím rozhraní I²C. Tato řídicí deska je připojena k procesorové desce s MCU ATmega168.

Kamera

Robot *Tail* je vybaven jednou z nejjednodušších inteligentních kamer, tj. kamer, které kromě snímání obrazu umožňují také obraz zpracovávat přímo na desce se senzorem. Použitá kamera CMUcam2 [11], obrázek 3.4, pracuje v režimu 15 barevných snímků o rozlišení 160 × 85 za sekundu, přičemž disponuje dostatečným výpočetním výkonem pro jeho jednoduché zpracování v reálném čase. Hlavní výhodou této kamery oproti běžným webovým kamerám je její sériové rozhraní s úrovní TTL (UART), připojení této kamery k běžným mikrořadičům tak nevyžaduje převodníky napěťových úrovní nebo další obvody.

Kameru je také možno provozovat v režimu sledování, kdy přímo řídí dva servomotory tak, aby sledovaný objekt setrval ve středu jejího zorného pole. V tomto režimu by tak mělo být možné řídit robot přímo signály z její procesorové desky.

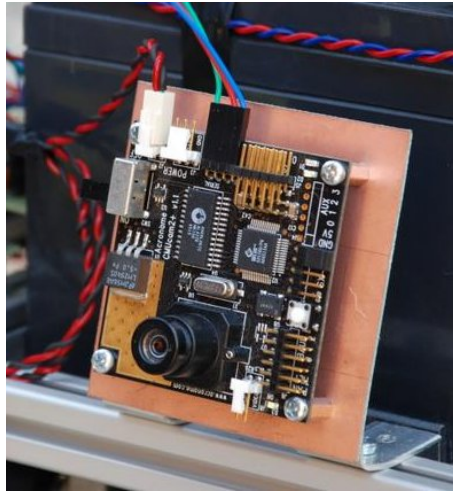
Algoritmy kamery pracují v barevném prostoru citlivém na okolní osvětlení, měl sledovaný předmět (maják) připevněný na zádi na robotu *Body*, který robot *Tail* sledoval, své vlastní osvětlení.



Obrázek 3.3: Robot *Tail*.

Palubní počítač

Přestože použité komponenty pro řízení a snímání lze přímo připojit k jednoduchému MCU, byl na robot *Tail* umístěn palubní počítač s plnohodnotným operačním systémem, především z důvodu zrychlení ladění a vývoje hlavní řídicí aplikace. Procesorová deska s ATmega168 je tak použita pouze jako inteligentní převodník RS232 na I²C. Palubní počítač je tvořen deskou VIPER společnosti Arcom [12], která je osazena procesorem XScale PXA255 taktovaném na 400MHz. Deska je osazena 64MB operační pamětí a 32MB pamětí typu Flash, další rozšíření úložného prostoru je možné prostřednictvím Compact Flash slotu. Na robotu je umístěn VIPER ve verzi vývojového kitu, který obsahuje desku v plechové skříni spolu s pěti vyvedenými RS232 porty. Kit obsahuje zálohovaný zdroj (UPS) napětí desky, který kompenzuje případné krátkodobé poklesy napětí. Robotickou platformu je tak možno napájet z jediného zdroje napětí, kterým je bezúdržbový olovený akumulátor s výstupním napětím 12V a kapacitě 26Ah.



Obrázek 3.4: Inteligentní kamera CMUcam2.

3.3 Programové vybavení a algoritmy

Všechny roboty byly vybaveny palubním počítačem s operačním systémem unixového typu. Použité aplikace byly implementovány v jazyce C nebo C++.

Základem navigace všech robotů nasazených týmem *FoG* je fúze dat získaných metodami počítačového a informací z dalších senzorů. Sledující roboty využívají jednoduché formy analýzy obrazu, sofistikovanější metody používá *Head*. Fúze algoritmů navigace robotů *Body* a *Tail* je realizována reaktivní subsumption architekturou [13].

3.3.1 *Body* navigace

Robot *Body* používá kameru k určení směru a ultrazvukový maják k určení vzdálenosti od vedoucího robotu *Head*. Tyto dva údaje jsou využity k určení dopředné a úhlové rychlosti robotu *Body*.

Segmentační algoritmus v HSV barevném prostoru. Snímek je procházen po řádcích, přičemž posloupnosti pixelů zadané barvy jsou seskupovány. Poté, co jsou pixely na všech řádcích seskupeny, vytvoří se graf sousednosti těchto skupin. V grafu se pak vyhledají komponenty souvislosti a tím jsou segmenty pospojovány do souvislých, ale navzájem se nedotýkajících oblastí. Spočte se těžiště největší oblasti a z rozdílu

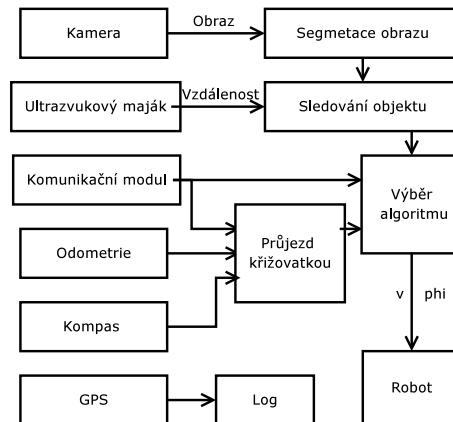
její horizontální souřadnice a středu obrazu je odvozena rychlost otáčení robotu.



Obrázek 3.5: Segmentovaný obraz.

Ultrasvukový maják se pravidelně dotazuje majáku umístěném na robotu *Head* na vzdálenost. Rychlost robotu *Body* je přímo úměrná rozdílu této vzdálenosti a vzdálenosti požadované.

Pomalá řídicí smyčka dopředné rychlosti způsobovala časté, ale bezpečné a vratné kolize robotů *Body* a *Head*.

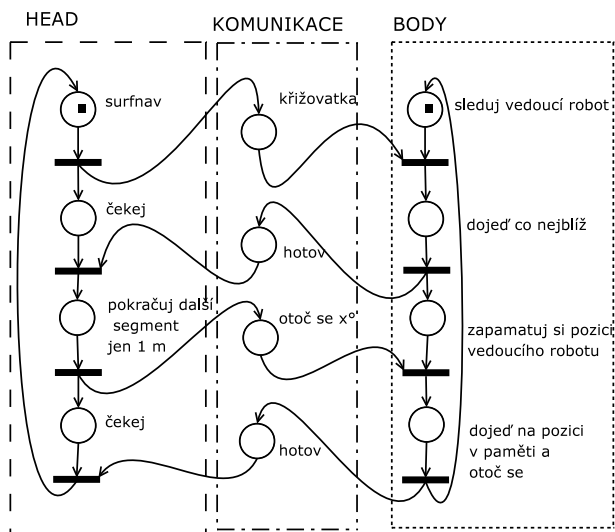


Obrázek 3.6: Blokové schéma navigace robotu *Body*.

3.3.2 Vzájemná komunikace mezi *Head* a *Body*

Vzájemná komunikace mezi roboty slouží k minimalizaci odchylky sledovací trajektorie při průjezdu zatáčkou. Tato odchylka je způsobena tím, že robot nesleduje vlastní trajektorii vedoucího robotu, ale aproximuje toto chování sledováním aktuální polohy robotu.

Petriho síť na obrázku 3.7 popisuje průběh vzájemné komunikace mezi roboty *Head* a *Body*. Vedoucí robot se pohybuje přibližně po trajektorii tvořené lomenou čarou, k odchylce od této trajektorie tedy může docházet v místech změny směru. V těchto kritických místech (obvykle kritických i z pohledu pravidel) je vypínáno reaktivní chování a je nahrazeno specifickým chováním pro průjezd křižovatkou.



Obrázek 3.7: Petriho síť znázorňující komunikaci a chování robotů.

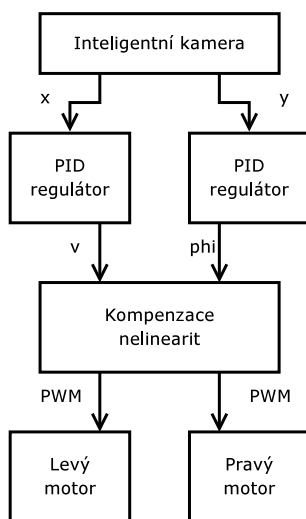
Průjezd křižovatkou vyžaduje spolupráci obou robotů. Vedoucí robot *Head* při detekci ostrého zlomu na trajektorii (typický případ je průjezd křižovatkou cestiček), zastaví a ohlásí sledujícímu robotu *Body* zprávu *křižovatka*. Následně čeká na odezvu *hotov*. Sledující robot po přijetí této zprávy zahájí chování *průjezd křižovatkou*. Robot *Body* dojede co nejbliž k vedoucímu robotu, ohlásí *hotov* a zapamatuje si vzdálenost od vedoucího robotu.

Vedoucí robot po přijetí odezvy *hotov* pokračuje v navigaci v dalším segmentu, ale pouze tak daleko, aby uvolnil místo v „křižovatce“. Poté oznámí sledujícímu robotu

azimut, kterým místo opustil a čeká na odezvu. Sledující robot rovněž pokračuje v jízdě o zapamatovanou vzdálenost a otočí se do udaného azimutu. Ohlásí *hotov* a pokračuje v reaktivním chování sledování vedoucího robotu. Vedoucí robot po přijetí zprávy *hotov* pokračuje v navigaci, jako by k žádnému přerušení nedošlo.

3.3.3 Tail navigace

Algoritmus inteligentní kamery robotu *Tail* počítá souřadnice těžiště pixelů vymezené barvy. Jednoduchým sériovým protokolem je kamera nastavena do módu, kdy jsou v sejmutém obrazu hledány pixely definované barvy a vypočítávány souřadnice jejich těžiště.



Obrázek 3.8: Blokové schéma navigace robotu *Tail*.

Kamera na robotu *Tail* je uchycena v jiné výšce než sledovaný objekt na robotu *Body*, zároveň je rozdíl výšek přibližně konstantní, proto lze ze souřadnic těžiště odhadovat nejen úhel natočení robotu *Tail* vůči *Body*, ale i jejich vzájemnou vzdálenost [14]. Z těchto odhadů je pak dvěma nezávislými PID regulátory vypočtena požadovaná dopředná a úhlová rychlost. Požadované rychlosti jsou převedeny na PWM signál pro pohony robotu. Samotný převod souřadnic těžiště na PWM signál motorů není zcela jednoduchý, je potřeba kompenzovat nelineární charakteristiku dynamiky robotu, která se navíc značně mění s různým povrchem po kterém se robot

pohybuje.

3.4 Závěr

Presnost navigačního systému vedoucího robotu se nakonec ukázala jako nedostatečná k bezchybnému absolvování celé zadané trasy, tým FoG se tak v soutěži umístil na třetím místě.

Sledování robotu *Head* robotem *Body* pracovalo uspokojivě a roboty byly schopny udržovat předepsanou formaci. Občasná selhání byla způsobena radiovým rušením a následnými výpadky komunikace mezi jejich ultrazvukovými majáky. To se projevilo zejména při delším stání robotu *Head*, kdy do něj *Body* opakovaně narážel. Tímto nečekaným „agresivním“ chováním *Body* pomáhal vedoucímu robotu v situacích, kdy se nemohl otočit správným směrem. Chování robotů během průjezdu křižovatkou popsané v 3.3.2 nebylo během soutěže využito. Při praktických experimentech v prostředí Stromovky, nebylo vzhledem k navigaci robotu *Head* vzájemné komunikace zapotřebí. Průjezd křižovatkami nevyžadoval prudké změny směru a reaktivní sledování bylo dostačující.

Robot *Tail* byl testován na rovném povrchu, kde byl schopen sledovat a udržovat se v dané vzdálenosti od robotu *Body*. Před dokončením testů ve venkovním prostředí bohužel došlo k závadě na jeho řídicí jednotce a robot *Tail* se soutěže aktivně nezúčastnil.

Průběh a výsledek soutěže nicméně prokázal nejen správnost koncepce jednoho „chytrého“ vedoucího a dvou následujících reaktivních robotů, ale i použitelnost implementovaných metod a algoritmů. Očekáváme, že v příštím ročníku soutěže bude možnost použití více robotů zachována a zaměříme se na odstranění dílčích nedostatků. Bude provedena hardwarová úprava ultrazvukových majáčků, která zvýší odolnost proti rušení. Na robot *Body* bude umístěn infračervený senzor vzdálenosti zabraňující kolizím s robotem *Head*. Pohony robotu *Tail* budou doplněny IRC čidly, což umožní přímo řídit rychlost jeho kol a zlepšit tak jeho chování v hůře prostupném terénu. Bude zdokonalen navigační systém robotu *Head*.

Poděkování

Závěrem chceme vyjádřit uznání organizátorům soutěže, poděkovat členům týmů a všem, kteří podpořili soutěž. Tato práce byla podpořena výzkumným grantem ČVUT CTU0706113.

Reference

- [1] <http://imr.felk.cvut.cz>.
- [2] <http://gerstner.felk.cvut.cz>.
- [3] <http://cyber.felk.cvut.cz>.
- [4] <http://www.fel.cvut.cz>.
- [5] <http://www.cvut.cz>.
- [6] <http://robotika.cz/competitions/robotour2007/>.
- [7] <http://www.activrobots.com/index.html>.
- [8] http://www.radiocrafts.com/RF_Module_ZigBee_Module_2.html.
- [9] <http://www.atmel.com>.
- [10] <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/md22tech.htm>.
- [11] <http://www.cs.cmu.edu/~cmucam2>.
- [12] <http://www.arcom.com/pc104-xscale-viper.htm>.
- [13] Ronald C. Arkin. *Behavior-Based Robotics*. The MIT Press, 1998.
- [14] Hlaváč Václav and Šonka Milan. *Počítačové vidění*. Grada, 1988. ISBN 80-85424-67-3.

Kapitola 4

R-team

Martin Locker

Klub robotiky VOŠ a SPŠ Rychnov n. Kn.

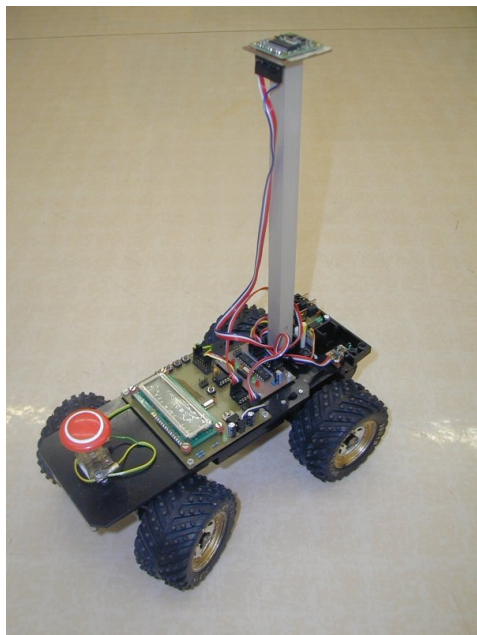
4.1 Úvod

Robot *RoboCar07* byl stavěn, stejně jako robot pro minulý ročník, s ohledem na maximální jednoduchost a minimální náklady. Po poměrně dobré zkušenosti z loňského roku s použitím odometrie a kompasu, bylo použito stejných prostředků i pro tento ročník. Zásadní nedostatek minulého robota byl jeho malý podvozek bez odpružení, který se ukázal na venkovní použití jako nevhodný. Proto byl nový robot postaven na novém podvozku z hračky malého terénního automobilu.

4.2 Mechanické řešení

Jako základ robota je použit podvozek z terénního autíčka. Tento podvozek, i když je poměrně malý, má několik zásadních výhod. Má náhon všech čtyř kol, přičemž jen na přední nápravě je diferenciál. Díky tomu je určení ujeté vzdálenosti z otáčení kol poměrně přesné, i když dojde k prokluzu některého kola. Další výhodou je vysoké zpřevodování motoru, i tím i poměrně nízká rychlost autíčka, tj. vhodná pro robotické aplikace.

Pro použití podvozku jako základu robota, byl doplněn inkrementální enkodér pro regulaci rychlosti otáčení elektromotoru a měření ujeté vzdálenosti. Dále bylo původní řízení typu „doraz-doraz“ nahrazeno modelářským servem pro proporcionální řízení zatáčení.



Obrázek 4.1: *RoboCar07*

Na podvozek byla namontována plastová deska pro montáž všech elektronických částí robota a pro kompas byl instalován stojánek, aby nebyla ovlivňována jeho funkce magnetickým polem pohonného elektromotoru. Poslední úpravou byla montáž držáku pro akumulátory, které nahrazují původní s nedostatečnou kapacitou.

4.2.1 Pohon

Pohon je realizován stejnosměrným elektromotorem třídy 280 s maximálními otáčkami 12 000 ot/min při napětí 7,2V s odběrem 2A při režimu maximální účinnosti.

Pro regulaci otáček je přímo na hřídel elektromotoru instalován optický inkrementální enkodér. Clonka se 40 štěrbinami na otáčku je použita z počítačové myši. Snímání realizuje dvojice optických závor Sharp GP1S56, jejich signál je následně upraven do úrovně CMOS komparátory s hysterezí. Tyto optické závor byly vybrány z důvodu jejich malých rozměrů, bohužel ne zcela vyhovují rychlostí (frekvence při maximálních otáčkách motoru je více než 8 kHz).

Napájení robota zajišťují 2 bloky LiON akumulátorů o 2 článcích s kapacitou 2000 mAh, jeden napájí pohon a druhý elektroniku robota.

4.3 Elektronika

Veškeré elektronické části robota tvoří osvědčené moduly použité na robotech pro soutěž Eurobot.

4.3.1 Řízení pohonu

Výkonové řízení elektromotoru je zajištěno jednoduchým galvanicky odděleným H-můstkem [1].

Řízení elektromotoru realizuje modul s mikrokontrolerem AVR ATmega8 běžícím na frekvenci 16 MHz. Můstek je ovládán PWM výstupem s 8 bitovým rozlišením a frekvencí 2 kHz. Stavů enkodéru je čten a pohyb je dekódován v přerušování s frekvencí 50kHz (max. frekvence impulsů při vyhodnocování všech čtyř hran je 32 kHz).

4.3.2 Senzory

Jediným použitým senzorem pro navigaci je kromě enkodéru pro zjištění ujeté vzdálenosti kompas. Je použit modul elektronického kompasu CMPS03 připojený přes sběrnici I²C.

Ve fázi testování byly zkoušeny také modelářské rate-gyro a GPS modul, které však nakonec nebyly použity.

4.3.3 Hlavní řídicí jednotka

Funkci nadřazeného systému zajišťuje modul s mikrokontrolerem AVR ATmega 128 taktovaným frekvencí 16 MHz. Mimo mikrokontroleru obsahuje informační LCD displej, paměť EEPROM připojenou přes sběrnici I²C o kapacitě 64kB, rozhraní pro připojení dalších modulů přes sběrnici RS485 a konektor s vyvedenými I/O piny procesoru včetně PWM výstupů a vstupů A/D převodníku.

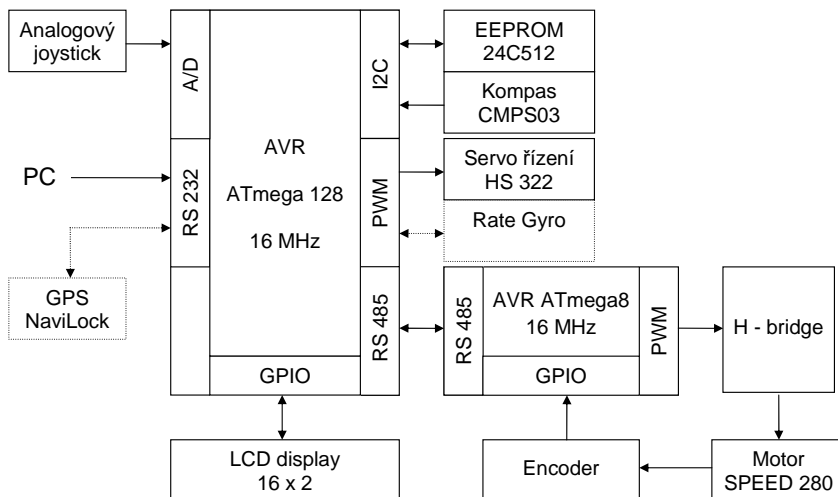
Parametry robotického podvozku:

Hmotnost: cca 1 kg

Maximální rychlost: 1,6 m/s

Rozlišení měření ujeté vzdálenosti: cca 0,05 mm/impuls

Rozměry délka x šířka x výška: 300 x 160 x 250 mm



Obrázek 4.2: Blokové schéma elektroniky robota

4.4 Popis použitého software

4.4.1 Software modulu pro řízení motoru

Modul řízení motoru pracuje nezávisle na nadřazeném systému. Vlastní software je tvořen třemi samostatnými procesy.

Proces 1, který je vyvoláván časovým přerušením s frekvencí 50kHz zajišťuje skenování stavu enkodéru, jeho dekodování a čítání impulsů. Je použito vyhodnocení všech čtyř hran kvadrurního signálu enkodéru, čemuž odpovídá frekvence impulsů při maximální rychlosti 32 kHz. Tento způsob snímání, je oproti použití přerušení od vstupních signálů, odolnější proti zákmitům, které mohou na signálech z enkodéru vznikat. Počet impulsů z enkodéru je uchováván ve 32 bitové proměnné, jejíž hodnota je používána pro určení ujeté vzdálenosti.

Proces 2 zajišťuje regulaci otáček elektromotoru PI regulátorem rychlosti, jehož výpočet probíhá s frekvencí 500 Hz. Tomu odpovídá rozsah rychlostí 0 - 64 tiků/-

periodu, což je dostatečné pro kvalitní regulaci rychlosti. Kromě regulace rychlosti regulátor realizuje i plynulé zrychlování a brždění při skokové změně požadované hodnoty rychlosti. Výstup pro řízení H-můstku je řízen PWM výstupem s 8 bitovým rozlišením a frekvencí 2 kHz.

Proces 3 realizuje komunikaci s nadřazeným systémem. Komunikace je realizována fyzickou vrstvou RS485. Použitý je paketově orientovaný komunikační protokol [2]. Modul přijímá požadavky na rychlost pohybu a zpětně zasílá hodnoty aktuální polohy dané čítačem impulsů enkodéru.

4.4.2 Software řídicího modulu

Celý řídicí algoritmus probíhá ve smyčce s periodou 25 Hz, která je dána nejpomalejším zařízením — modulem kompasu. Cyklus se sestává z několika částí:

- získání hodnot ze všech modulů a senzorů (čtení směru z kompasu, hodnoty čítače enkodéru, v případě ručního řízení čtení vstupů A/D převodníku, na který jsou připojeny výstupy analogového joysticku)
- výpočet odhadu aktuální pozice robota
- určení „cílové“ bodu pro další pohyb
- výpočet regulačního zásahu pro řízení směru a rychlosti
- nastavení akčních veličin, tj. polohy serva řízení a požadované rychlosti motoru

Popis algoritmu řízení robota

Robot používá jednoduchý algoritmus jízdy po předem určené trajektorii. Tzn. že robot nereaguje na prostředí a pouze "slepě" vykonává svůj úkol. Trajektorie je dána množinou souřadnic bodů, které definují lomenou čáru. Souřadnice bodů trajektorie je možné zadat ručně nebo získat záznamem při ručním řízení robota.

Tímto způsobem byla připravena data pro soutěž RoboTour 2007. Data získaná při ručním projetí trasy byla ručně upravena a zredukován jejich počet, protože vnitřní EEPROM paměť mikrokontroleru má velikost pouze 4kB, a může tak pojmout pouze 200 bodů definujících trajektorii.

Výpočet aktuální polohy robota používá znalosti ujeté vzdálenosti z enkodéru a směru, získaného z elektronického kompasu. Nová pozice robota je určována pomocí metody Dead Reckoning, tj. připočítávání změny polohy na základě znalosti délky a směru pohybu. Poloha robota je definována záznamem tvořeným dvojicí souřadnic v mm a směrem natočení robota v $1/100^\circ$.

Listing 4.1: Část kódu výpočtu nové pozice robota

```
// vypocet zmeny smeru s omezenim na max. 90 stupnu
Zmena_smeru = Limit((Kompas - Kompas_stary)/2)
// vypocet ujete vzdalenessi v mm
Zmena_polohy = (Enkoder - Enkoder_stary)/Tick_mm

// zmena aktualniho smeru natoceni o polovinu zmeny smeru
Pozice.a += Zmena_smeru
// vypocet X souradnice
Pozice.x += Zmena_polohy * sin (Pozice.a * RAD)
// vypocet Y souradnice
Pozice.y += Zmena_polohy * cos (Pozice.a * RAD)
// uprava smeru o druhou polovinu zmeny smeru
Pozice.a += Zmena_smeru

// uschova aktualnich hodnot snimacu
Kompas_stary = Kompas
Enkoder_stary = Enkoder
```

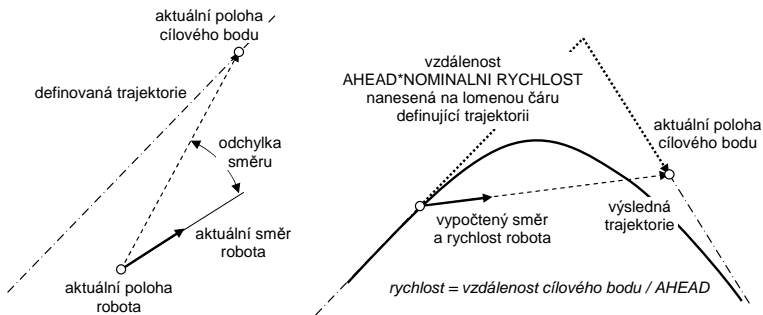
Cílová pozice robota je v každém kroku výpočtu určena posunutím po lomené čáře definující trajektorii o hodnotu rychlosti pohybu. Tento bod "předbíhá" robota o několikánásobek dráhy, kterou robot v každém kroku ujede. Tím je zajištěno, že robot nepojede po lomené čáře, ale po trajektorii, která se jí pouze přibližuje. Díky tomu lze řídit i robota, který není schopen měnit směr pohybu na místě, což je právě případ automobilového podvozku s Ackermannovým řízením.

Vlastní řízení robota je realizováno dvěma proporcionálními regulátory. Jeden zajišťuje regulaci směru a druhý výpočet požadované rychlosti pohybu.

Regulační odchylka pro regulaci směru je určena jako rozdíl mezi azimutem daným spojnicí aktuální pozice robota a vypočteným cílovým bodem a aktuálním směrem robota (získaným z kompasu).

Základem pro výpočet požadované rychlosti je vzdálenost robota do vypočteného cílového bodu. V ideálním případě je tato vzdálenost rovna součinu hodnoty „předbíhání“ cílového bodu (konstanta AHEAD) a nominální rychlosti robota. Potom je vypočtená rychlost rovna nominální. Pokud je vzdálenost do cílového bodu větší, tj. robot se opožďuje, je vypočtená rychlost úměrně vyšší s omezením na maximální povolenou rychlost (tzn. robot postupně dohání cílový bod). Pokud je vzdálenost menší, tak výsledná rychlost úměrně nižší. Toto nastane v případě, že se robot přebíhá nebo v případě lomení na předepsané trajektorii. Díky tomu robot v zatáčkách automaticky

zpomaluje, a to úměrně „ostrosti” zatáčky (viz. obr. 4.3).



Obrázek 4.3: Řízení pohybu

4.5 Závěr

Realizované řešení robota předčilo očekávání. Výsledek v prvním kole soutěže, kdy robot ujel více než 200 m bez opuštění cesty, bylo více než jsem doufal. Ale již v tomto kole se projevila závada, která znemožnila tento výkon v dalších kolech opakovat. Byla to nedostatečná odolnost optického enkodéru proti vibracím, které při jízdě po kostkách vznikaly. Při testování na asfaltu se tato závada neprojevila. Důsledkem byly náhodné výpadky kroků enkodéru, se kterými si software pro jeho dekódování neporadil. Vzhledem k tomu, že mi vždy hardware fungoval na 100%, jsem nepovažoval toto za nutné v softwaru ošetřit. Výsledek byla nefunkční regulace pohonu a ztráta informace o ujeté vzdálenosti. Z toho plyne ponaučení, i když hardware funguje, v softwaru počítat s možností, že za některých okolností fungovat nebude.

Dalším připravovaným rozšířením robota je přidání čidel na detekci překážek (sonar). A následné vyřešení problému objetí překážky a návratu na definovanou trajektorii.

Listing 4.2: Část kódu regulátorů rychlosti a směru

```
dx = CilovyBod.x - Pozice.x;      // x složka vektoru smeru
dy = CilovyBod.y - Pozice.y;      // y složka vektoru smeru
d = sqrt(dx * dx + dy * dy);      // vzdalenost do ciloveho bodu

if (d > MAX_VELOCITY * AHEAD)      // pokud je vetsi nez ...
    d = MAX_VELOCITY * AHEAD;      // tak omezit

a = atan2(dx, dy)*18000 / M_PI;    // pozadovany smer
a -= Pozice.a;                     // vypocet reg. odchylky smeru

if (a > 18000) a -= 36000;         // uprava do rozsahu +-180
if (a < -18000) a += 36000;

Speed = d * SPEED_GAIN / AHEAD;    // reg. zasah pro rychlost
Ride = -a * RIDE_GAIN;              // reg. zasah pro smer
```

Reference

- [1] <http://www.micer.wz.cz/clanky/c007/regser.html>
- [2] <http://robotika.cz/wiki/KomunikacniProtokol>

Kapitola 5

Short Circuits Prague

Členové týmu: Pavel Jiroutek*, Jiří Iša*, Dan Polák, Tomáš Staněk
Text: Pavel Jiroutek

*Matematicko-fyzikální fakulta,
Univerzita Karlova, Malostranské nám. 25, 118 00 Praha 1, Česká republika,
pavel.jiroutek@seznam.cz

Abstrakt

Tento text popisuje softwarovou a hardwarovou architekturu robota týmu Short Circuits Prague určeného pro soutěž outdoorových autonomních mobilních robotů Robotour 2007. Hardwarovým základem robota je podvozek z hračky auta velikosti 1:6. Řídicí algoritmus využívá informací z kamery, kompasu, GPS a odometrie a metodou Monte Carlo lokalizace z nich určuje předpokládanou polohu robota. Robot pak na základě znalosti aktuální pozice sleduje předem zadanou trasu.

5.1 Úvod

Robotický tým Short Circuits Prague (SCP) se do roku 2006 soustředil na tvorbu malých indoorových robotů pro soutěž Eurobot[2]. V následujícím textu je popsán první outdoorový robot SCP – robot pro soutěž Robotour[3]. Cílem projektu bylo získat zkušenosti s řízením robota v reálném prostředí v úloze, která je velmi blízká skutečným aplikacím autonomních mobilních robotů, a v neposlední řadě získat robotickou platformu, která bude nadále vylepšována pro další ročníky této soutěže. Text je členěn do tří hlavních částí. Sekce 5.2 popisuje hardwarový a softwarový

návrh robota, sekce 5.3 stručně shrnuje průběh soutěže, která proběhla 22. září 2007, z pohledu SCP a poslední sekce 5.4 shrnuje hlavní poznatky, získané během přípravy a soutěže samotné.



Obrázek 5.1: Robot týmu Short Circuits Prague.

5.2 Architektura robota

5.2.1 Hardware

Hardwarová konstrukce robota vychází z amatérského charakteru týmu SCP. Jednotlivé komponenty systému byly tedy voleny tak, aby byly běžně dostupné na trhu a v cenových relacích maximálně jednotek tisíc korun. Robot obsahuje následující komponenty:

- **Podvozek** – základem robota je plastový podvozek z levné hračky auta s ackermanovským řízením ve velikosti 1:6. Podvozek je vyztužený hliníkovým rámem. Původní motor pro natáčení zatáčecí nápravy je nahrazen silným modelářským servem HS-805BB. Původní motor pro pohon pevné nápravy je nahrazen dvěma stejnosměrnými motory s převodovkou z akumulátorového šroubováku. Pro lepší manévrovatelnost a menší zátěž na zatáčecí nápravu robot de facto při jízdě vpřed couvá – pohybuje se se zatáčecí nápravou vzadu.

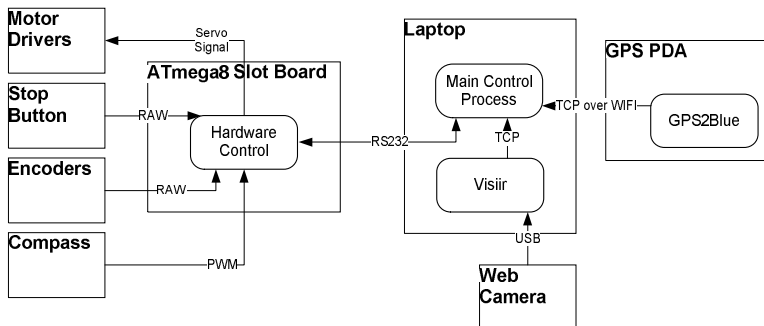
- **Kompas** – modul CMPS03 s magnetorezistivním senzorem umístěný na stožáru robota poskytuje velmi kvalitní informaci o absolutní orientaci robota.
- **GPS** – PocketPC Mio P550 s integrovaným modulem GPS Sirf 3 a WiFi rozhraním se používá pro získání přibližné absolutní pozice.
- **Odometrie** – kola na pevné nápravě robota jsou vybavena kvadraturními IR enkodéry o rozlišení 260 tiků na metr. Údaje z enkodérů jsou využívány pro regulaci rychlosti a odhad směru jízdy robota.
- **Kamera** – robot má k dispozici barevný obraz z webkamery Logitech QuickCam Pro 5000 umístěné na stožáru.
- **Regulátory motorů** – motory jsou ovládány dvěma modelářskými regulátory Graupner Speed Profi 40R, jejichž směr a výkon je řízen servosignálem.
- **Ovládání elektroniky** – stav jednotlivých low-level senzorů a zařízení je monitorován a měněn vlastní deskou s mikrokontrolérem ATmega8, která je po RS232 připojena na hlavní počítač.
- **Hlavní počítač** – hlavní výpočetní jednotku robota tvoří standardní notebook s docking station pro připojení RS232. Tento počítač přímo zpracovává data z kamery přes USB, z GPS přes WiFi a komunikuje se zbytkem hardwaru prostřednictvím RS232.
- **Napájení** – řídicí elektronika je napájena 12 V olovenou baterií s kapacitou 1,2 Ah a motory a servo robota jsou napájeny samostatnou 12 V olovenou baterií s kapacitou 7,2 Ah.

5.2.2 Software

Robot je vybaven třemi výpočetními jednotkami – notebookem, PocketPC s GPS a mikrokontrolérem (MCU). Jediným úkolem programu v PocketPC je zaslat data z interní GPS do hlavní řídicí aplikace v notebooku. K tomu je použit freeware program GPS2Blue, který je určen právě pro tuto úlohu.

Software v MCU pravidelně aktualizuje strukturu obsahující stav senzorů. Na žádost pošle tuto strukturu do hlavní aplikace v notebooku a aktualizuje stav zařízení podle požadavku hlavní aplikace. Software v MCU je kompletně napsán v jazyku C.

Hlavní část odpovědnosti za high-level chování robota leží na dvou programech v notebooku. Jedním z nich je hlavní řídicí aplikace, druhým tzv. Visiir – samostatný modul pro zpracování obrazu.



Obrázek 5.2: Tok dat mezi částmi systému.

Hlavní řídicí aplikace

Prvním úkolem tohoto programu je udržovat na základě dat ze senzorů nejpravděpodobnější pozici robota na předem definované mapě – tedy lokalizace. Jednoduché a efektivní syntézy údajů ze všech senzorů je dosaženo pomocí metody Monte Carlo Lokalizace[1]. V této metodě je udržována množina možných vážených pozic robota (vzorky), která je aktualizována údaji ze senzorů – relativních a absolutních. Relativní senzory aktualizují každý vzorek stejně, vzhledem k jeho pozici. Při aktualizaci je navíc přidán náhodný šum, reprezentující nepřesnost měření senzorů. Absolutní senzory slouží k eliminaci vzorků, jejichž pozice neodpovídá naměřeným hodnotám.

Jako relativní informace pro aktualizaci pozic vzorků jsou použita data z odometry a aktuální natočení zatáčecího serva. Vzhledem k nepřesnosti celé zatáčecí soustavy a chybějícímu senzoru pro přesné určení natočení nápravy je v algoritmu bráno toto natočení jako velmi nevěrohodné. Absolutní informace pro korekci vzorků je brána z kompasu, GPS a kamery (resp. Visiiru – viz níže) následujícím způsobem:

- Jsou eliminovány vzorky, jejichž orientace se liší od aktuálně naměřené o více než 10 stupňů.
- Jsou eliminovány vzorky, jejichž GPS souřadnice se liší od aktuálně naměřené o více než 10 metrů.
- Jsou eliminovány vzorky, u nichž plánovač radí nový směr jízdy lišící se od toho, který radí Visiir, o více než 15 stupňů.

Jako nejpravděpodobnější pozice robota je pak brán vážený průměr všech vzorků.

Druhým úkolem hlavní řídicí aplikace je na základě aktuální pozice robota a mapy cesty, po které má robot jet, určit směr a rychlost další jízdy. Cesta je reprezentována jako posloupnost přímých segmentů. Jako doporučený směr další jízdy robota je brán směr k bodu, který se dostane jako kolmý průmět aktuální pozice robota na aktuální segment, prodloužený o konstantní vzdálenost v požadovaném směru průjezdu segmentem (použito 1,5 m).

Visiir

Visiir je samostatný aplikační modul, který na základě dat z kamery vrací doporučený směr, kterým by měl robot jet, aby se udržel na cestě. Podrobný popis Visiiru bude zveřejněn v samostatné publikaci, proto je zde představena jen jeho základní struktura.

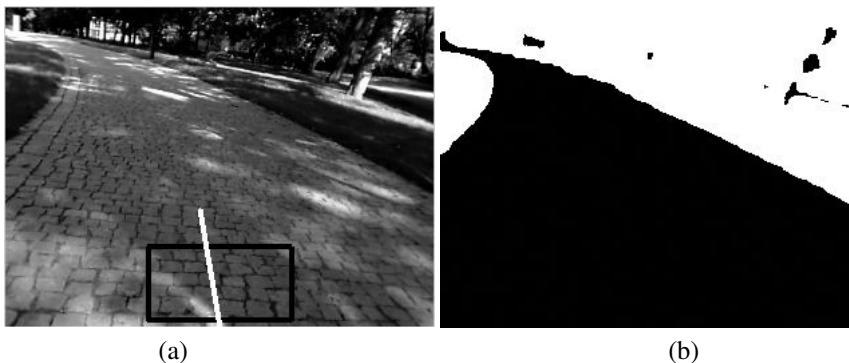
Visiir vykonává paralelně dvě základní funkce. Jednou z nich je klasifikace pixelů aktuálního snímku z kamery mezi ty, které jsou platnou cestou, a ty, které cestou nejsou (viz Obrázek 5.3b). Druhou funkcí Visiiru je adaptace klasifikátoru cesty na podmínky aktuální cesty a okolního prostředí. Tato adaptace se provádí kontinuálně na základě virtuálního referenčního obdélníku, který je těsně před robotem (viz Obrázek 5.3a) a je považován za platnou cestu. Z obrazu po provedení klasifikace je pak spočítáno těžiště pixelů cesty, jehož vychýlení od středu obrazu je interpretováno jako směr, kterým vede platná cesta.

S výše popsanou funkcionalitou je Visiir velice robustním modulem, který je bez nutnosti explicitní kalibrace možné použít pro sledování cesty s různými povrchy a s různými světelnými podmínkami. Visiir se dokonce autonomně vypořádá i s plynulou změnou těchto vlastností na jedné cestě.

5.3 Průběh soutěže

Průběh soutěže Robotour 2007 byl pro SCP poměrně dramatický od samého počátku. Hardwarové problémy s kontroléry motorů vedly ke kompletní výměně těchto kontrolérů za jiný, výkonnější typ, který ale nebylo možné důsledně otestovat v reálných jízdách. Nefunkčnost jednoho z enkodérů a nedostatečné softwarové ošetření tohoto výjimečného stavu vedly v první testovací jízdě v den homologace ke značné destrukci robota, který vyrazil jedním z kol na plný výkon vzad, což nevydrželo původní plastové uchycení poháněné nápravy. Pro homologační jízdu musela být tedy náprava provizorně fixována vázacím drátem a později vyztužena hliníkovými profily.

Řešení značného počtu hardwarových problémů před soutěží zapříčinilo nedostatek času na kompletní integraci jednotlivých komponent řídicí aplikace. Pro homologační jízdu (a jak se později ukázalo i pro všechny ostatní soutěžní jízdy) byla tedy



Obrázek 5.3: (a) Obraz z kamery (ve skutečnosti barevný) se znázorněným referenčním čtvercem a doporučeným směrem od Visiiru; (b) Segment cesty extrahovaný Visiirem.

použita velmi redukovaná verze hlavního programu, který se řídil výhradně doporučeným směrem z Visiiru, který se používal přímo pro ovládání směru jízdy robota. K úspěšnému průjezdu homologačního úseku, který byl bez křižovatek, bylo toto řešení zcela postačující. Kvůli dalším problémům, které se v průběhu soutěže vyskytly, a krátkým časovým úseky mezi jednotlivými koly se bohužel nepodařilo v průběhu soutěže zprovoznit žádnou další verzi software, která by slibovala lepší dojezd robota než homologační verze.

Díky velmi kvalitním radám z Visiiru byla použita verze schopna projet bez problémů úsek cesty bez křižovatky. Problémy způsobovaly pouze ostré stíny na cestě (počasí bylo velmi slunečné), se kterými se Visiir většinou také vypořádal. Na křižovatce byla však další cesta volena v podstatě náhodně (resp. podle aktuálních světelných podmínek a umístění robota ve křižovatce).

5.4 Závěr

S výše popsanou funkcionalitou obsadil robot týmu SCP sedmé místo z celkově šestnácti týmů. Vzhledem k první účasti SCP na outdoorové akci a vývoji před soutěží i během ní lze tento výsledek interpretovat jako velmi dobrý. Všechny naplánované moduly se ukázaly jako použitelné, i když nebylo dosaženo jejich plné integrace. Hardwarová platforma je funkční a nadále použitelná do nenáročného terénu.

5.4.1 Zhodnocení

Po analýze průběhu soutěže se ukázaly následující prvky jako problémové, zasluhující další řešení:

- Křehké plastové díly
- Nezakryté nerobustní enkodéry
- Prokluzující kola
- Mechanická neodolnost HDD v notebooku
- Výdrž baterie notebooku při velkém zatížení CPU
- Jediný notebook
- Pozdní integrace software
- Nerobustní elektronika – „hnízdo“ z drátů, viklající se sloty
- GPS filtrující pomalý pohyb

5.4.2 Výhled

Tým SCP se chce účastnit i dalších ročníků soutěže Robotour. Do dalšího ročníku předpokládáme zachování současného robota beze změny jako druhého, případně záložního robota. Ze zkušeností Robotour 2007 vyplývá, že plastové modely aut neposkytují dostatečnou robustnost pro outdoorové autonomní roboty a energie vynaložená na dodání této robustnosti je minimálně srovnatelná s vývojem vlastní platformy, navíc s nevýhodou nenahraditelnosti většiny konstrukčních prvků. Proto předpokládáme vývoj vlastní robotické platformy s jednoduchým ale robustním hardware, která by měla být slučitelná i s transportem předepsané přídatné zátěže. Koncepce řízení robota se ukázala jako životaschopná, proto předpokládáme její zachování s doplněním některých chybějících částí a kvalitním odladěním a otestováním.

Reference

- [1] Fox D., Burgard W., Dellaert F., Thrun S. (1999): Monte Carlo Localization: Efficient Position Estimation for Mobile Robots, In Proceedings of the Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence, Orlando, FL.
- [2] <http://www.eurobot.cz/>
- [3] <http://robotika.cz/competitions/robotour2007/cs>

Kapitola 6

URPI FEI STU Bratislava

Členové tímu: Marian Klúčik, Roman Murár, Lubomír Petrovič, František Duchoň

Abstrakt

Príspevok pojednáva o prístupe autorov, k riešeniu problematiky riadenia mobilného robota na súťaži Robotour 2007. V príspevku je popísaný hardvér robota – jeho senzory, pohonný systém, napájanie a tiež riadiaci systém. V ďalších častiach je popísaný prístup k riadeniu robota v podmienkach súťaže a tiež je popísané využitie hardvéru robota.

6.1 Úvod

Sme zamestnanci a doktorandi Ústavu riadenia a priemyselnej informatiky Fakulty elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave. Na našom oddelení sa zaoberáme robotikou a umelou inteligenciou. V súčasnosti sú na našom pracovisku k dispozícii dva výkonnejšie mobilné robotické systémy – jeden pre indoor (vnútorné) priestory [1], ktorý je vyobrazený na obr. 6.1 a jeden pre outdoor (vonkajšie) priestory, s ktorým sme sa zúčastnili súťaže a predstavíme ho neskôr.

Mobilná robotika je v súčasnosti dynamicky sa rozvíjajúcim priemyselným odvetvím. Mobilné roboty vytvárajú nové možnosti automatizácie rôznych činností, využívajú sa pri činnostiach v nebezpečnom prostredí, alebo pri plnení úloh v náročných fyzikálnych podmienkach napr. na dne mora pri hľadaní nerastných surovín, v prieskume kráterov sopiek, čiže v prostrediach nebezpečných, alebo z iného dôvodu neprístupných človeku a samozrejme tiež pre uľahčenie práce v rôznych odvetviach. V bežnom použití sa dnes už vyskytujú roboty, ktoré pomáhajú v domácnosti – automatické vysávače, automatické kosačky alebo tiež ako „obsluhujúci personál” v



Obrázek 6.1: Indoor mobilný robot na ÚRPI FEI STU

nemocniciach. Čoraz častejšie sa objavujú mobilné roboty s komplexnejším správaním, zatiaľ len s použitím v armáde alebo na súťažiach. Súťaž je menej agresívna metóda zmerať schopnosti a možnosti rôznych pracovísk a ľudí. Myšlienka zúčastniť sa na súťaži Robotour vznikla niekedy pred letnými prázdninami tohto roku – ale v tomto období nebol ešte k dispozícii vhodný mobilný robot. Vhodný hardvér bol získaný približne mesiac pred súťažou. V nasledujúcich častiach je celkovo predstavený mobilný robot a naznačený prístup k riešeniu riadiaceho systému.

6.2 Vybavenie robota MRVK-01

Robot, ktorý bol predvedený na súťaži dala naša fakulta v rámci programu VEGA [2] vyrobiť v ZŤS VVÚ Košice, a. s. Vzhľadom na to, že pracovisko sa zaoberá pre-

važne riadením, vždy bol problém vyrobiť mechanický podvozok, ktorý by podliehal náročným kritériám. Robot MRVK-01 zobrazený na obr. 6.2, tieto náročné kritériá spĺňa. Robot má štvorkolesový podvozok s diferenčným spôsobom riadenia pohybu, ktorý je schopný prejazdu členitejším terénom. Základom pohonného systému sú dva jednosmerné motory.



Obrázek 6.2: Robot MRVK-01 vyrobený ZŤS VVÚ Košice, a. s.

Prevod krútiaceho momentu z motorov na kolesá je riešený dvojstupňovými prevodovkami. Prevodový pomer teda možno meniť v troch stupňoch: 1:1, 1:2 a neutrál. Na výstupných hriadeloch dvojstupňovej prevodovky sú umiestnené prevodovky SPI-NEA [3] s pevným prevodovým pomerom. Otáčky hriadeľa motora a otáčky výstupného hriadeľa sú snímané rotačnými inkrementálnymi snímačmi, ktoré sa dajú využiť na odometriu. Robot je napájaný z dvoch akumulátorových paketov, z ktorých jeden je tvorený jedenástimi NiMH článkami, každý s nominálnym napätím 1,2 V. Kapacita jednej sady batérií je 15Ah.

Jedným z hlavných senzorov, ktoré máme na robote k dispozícii je farebná kamera FCB-IX11AP (1/4" super HAD CCD, 40x ZOOM (10x optický / 4x digitálny), 460 TVr)[4]. Kamera je polohovaná dvojicou servopohonov. Je ju možné polohovať v horizontálnej rovine v rozsahu -120° až $+180^\circ$ a vo vertikálnej rovine v rozsahu -30° až $+90^\circ$. Ďalším senzorom je laserový skener Hokuyo URG-04LX [5]. Skener sníma len vo vodorovnej rovine, s dosahom takmer 4m, s rozlíšením 1mm, uhlovým

rozlíšením 0.36° a rozsahom skenovania 260° . Dôležitým prístrojom (hlavne pre súťaž) je GPS prijímač GARMIN GPS 18-5Hz [6]. Robot je vybavený snímačmi pre sledovanie pohybu a orientácie robota v priestore: gyroskopy ADIS16250, dvojosový inklinometer/akcelerometer ADIS16201, jednoosové akcelerometre ADXL103, jednoosový inklinometer ADIS16203 [7], elektronický kompas CMPS03 [8] a potenciometer snímajúci vzájomný uhol natočenia ramien, na ktorých sú upevnené kolesá robota. Medzi bezpečnostné senzory patrí šesť ultrazvukových snímačov vzdialenosti MaxSonar EZ-1 a tiež po bokoch sú ďalšie ultrazvukové snímače vzdialenosti SRF08.

Základným riadiacim systémom je priemyselný počítač od firmy Advantech. Procesor má taktováciu frekvenciu 400MHz, operačnú pamäť 256 MB RAM a 1GB HDD typu Compact Flash. Okrem rozhraní pre myš, klávesnicu, SVGA, 2xUSB, LAN, tento počítač disponuje aj štyrmi komunikačnými portami - RS232, RS422 alebo RS485 a jedným PCMCIA slotom. K počítaču je tiež pripojený 54 Mbps multifunkčný bezdrôtový 2,4GHz access point WL-5460AP pre bezdrôtovú komunikáciu robota s prípadným operátorským počítačom. Osobitne je možný prenos aj videosignálu – je to zabezpečené pomocou bezdrôtového 5.8 GHz video vysieláča VideoComm TX-5808. Prijem videosignálu je možný prijímačom VideoComm RX-5808 [9].

6.3 Implementácia riadenia

Robot bol dodaný len so základnými procedúrami, ktoré vývojári nevyhnutne potrebovali pre otestovanie jednotlivých subsystémov robota. Takáto bola aj požiadavka na robota. Z pohľadu vybavenia a zaručenej funkčnosti jednotlivých podsystémov mal náš tím na prvý pohľad „jednoduchú“ úlohu, zložitejšie bolo, že na túto „jednoduchú“ úlohu bol k dispozícii len jeden mesiac. Na to, aby sa robot stal autonómnym, bolo treba vyriešiť nasledujúce základné problémy:

- určiť a implementovať riadiaci systém – potenciálny hardvér aj softvér,
- napísať podprogramy pre získavanie a posielanie údajov zo/do všetkých podsystémov robota v rámci jednej aplikácie
- implementovať autonómne riadenie robota t. j. určitú inteligenciu robota

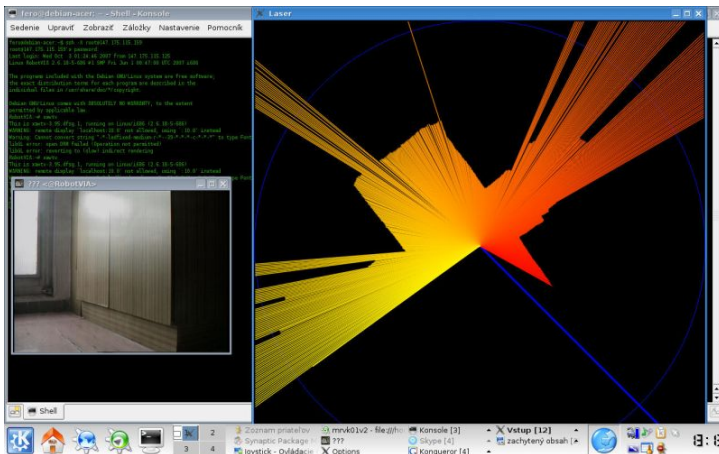
Základom pre akékoľvek práce na robote bolo vyriešenie problému určenia hardvéru a operačného systému riadiaceho systému robota. Základná idea pre riadenie robota v súťaži bola kamera – v počiatočných fázach sme považovali kameru za hlavný prístroj. Od tohto sa odvíjali aj požiadavky na riadiaci systém. Faktom bolo, že základný riadiaci systém nebude mať dostatočný výpočtový výkon na spracovanie obrazu a súčasne aj na riadenie jednotlivých súčastí robota. Bolo treba určiť hardvér hlavného riadiaceho počítača. Uvažovalo sa nad dvomi variantmi – laptop alebo malý

počítač VIA EPIA. Výhody laptopu sú jasné – dá sa jednoducho umiestniť na robota, má vlastné napájanie a je na ňom k dispozícii vhodné rozhranie pre programovanie. Nevýhoda tohto riešenia bola, že nebol k dispozícii vhodný hardvér pre laptop na digitalizáciu obrazu z kamery. Výhoda počítača VIA EPIA bola, že bol k dispozícii vhodný hardvér pre získavanie obrazu. Ako grabber bola použitá televízna karta do PCI slotu. Ďalšou výhodou tohto riešenia bolo, že počas prevádzky robota nemusel bežať užívateľský interfejs – šetril sa výpočtový výkon. Nevýhodou tohto počítača bolo, že ako zdroj energie museli slúžiť batérie robota. To, že ktorý systém sa použije ako riadiaci systém sa nakoniec rozhodlo až v noci pred hlavnou súťažou. Operačný systém pre hlavný riadiaci počítač bol vlastne preddefinovaný – na základnom počítači bol Linux Debian. Ako programovací jazyk bol určený jazyk C++, konkrétne vývojové prostredie KDevelop.

Po vyriešení problematiky základnej koncepcie riadiaceho systému robota sa mohla začať fáza sprístupňovania údajov do vytváranej aplikácie. Samozrejme tiež v tejto fáze bolo riešené aj posielanie príkazov do robota – príkazy pre pohybový systém a tiež pre senzory. Táto fáza bola najzaujímavejšia a zároveň aj najviac časovo náročná. Počas tejto fázy bolo predmetom diskusií riešenie hlavnej aplikácie – počas jedného mesiaca príprav na súťaž vznikli a zavrhlí sa tri riadiace aplikácie. Základom všetkých vytvorených aplikácií bolo riešenie komunikácie medzi oboma počítačmi. Komunikácia bola riešená pomocou socketov – takto bol zabezpečený prístup k údajom, ktoré získaval základný počítač a tiež boli zabezpečené možnosti pre posielanie príkazov na jednotlivé zariadenia robota. Získavanie údajov zo senzorov pozostávalo v parsovaní údajov, ktoré permanentne posielal základný počítač na príslušné porty (v prípade jednoduchých prístrojov). Pri zložitejších prístrojoch, ako v prípade laserového skenera, bolo treba riešiť komunikačné protokoly priamo od výrobcov zariadení a následne ich parsovať do podoby prijateľnej pre naše aplikácie. Počas príprav na súťaž boli sprístupnené údaje zo všetkých senzorov a prístrojov na palube robota. Na obr. 6.3 je znázornená vizualizácia údajov z laserového skenera a tiež obraz z kamery. Môžeme si všimnúť, že na vizualizácii z laserového skenera je zreteľne vidieť roh skrine.

Jedna stránka problému bola v sprístupnení údajov zo senzorov, druhá bola v správnosti poskytovaných údajov. Toto bol prípad GPS snímača – bol zrejme problém s fixovaním snímača na satelity. Do súťaže ostával jeden týždeň, nebola implementovaná žiadna inteligencia ani rozvinuté spracovanie obrazu. Obraz mal byť základom autonómneho riadenia a navyše GPS zariadenie, ktoré malo byť v podstate druhým základným senzorom, nefungovalo správne.

Počas celého obdobia programovania robota sa uvažovalo nad rôznymi koncepciami riadiaceho systému. Týždeň pred súťažou nebola v konečnom dôsledku implementovaná žiadna komplexná koncepcia. Má to súvis najmä s faktom, že bolo dosť iných problémov, ktoré bolo treba nutne vyriešiť a naprogramovať (napr. sprístupňo-



Obrázek 6.3: Vizualizácia údajov z hlavných senzorov

vanie údajov, testovanie atď.), ďalej aj s tým, že nebolo isté či budú fungovať základné senzory. Problémom pri kamere bolo rozpoznávanie cesty a problémom GPS, už spomínaná fixácia na satelity. Na nasledujúcich riadkoch sú opísané jednotlivé uvažované stratégie:

Stratégia č. 1: Hlavným senzom je kamera, prídavný resp. hlavný riadiaci počítač slúži ako hlavná inteligencia t. j. spracuje obraz a na základe tohto spracovania sa vykonáva pohyb robota. Rozpoznávanie predpokladanej cesty robota malo byť založené na rozpoznávaní okrajov chodníka – segmentácia obrazu, identifikácia čiar. Táto koncepcia sa ukázala do určitej miery problematická. Bola implementovaná identifikácia čiary, ktorá fungovala pomerne rýchlo (na základe Houghovej transformácie implementovanej v OpenCV knižnici [10]), aj pomerne spoľahlivo za stabilných svetelných podmienok a správne nastavených parametrov. Práve toto bolo kameňom úrazu – stabilné svetelné podmienky a správne nastavené parametre – nebol dostatok času na uskutočnenie dostatočne veľkého množstva experimentov a optimalizácie rozpoznávania. Napriek týmto problémom bola snaha o spojzadnenie tohto variantu riešenia.

Stratégia č. 2: Táto stratégia predpokladala funkčnosť všetkých senzorov. Hlavným senzom, ktorý mal určovať globálnu stratégiu pohybu, bolo GPS. Kontrolu mal zabezpečovať kompas. Pri pokusoch počas príprav bolo zistené, že tento prístroj má nelineárny priebeh a výstup je silne rozkmitaný v rozsahu ± 6 stupňov. Bolo rozhodnuté, že na kontrolu otáčania, hlavne na križovatkách, sa bude využívať gyroskop.

Kamera mala slúžiť ako kontrolný nástroj pre zotrvanie na chodníku. Ostatné snímače ako laserový skener a ultrazvuky mali plniť bezpečnostnú úlohu – mali zabrániť kolíziám. Objavila sa úvaha, že laserový skener by bolo možné využiť tiež ako senzor, ktorý by zabránil tomu, že robot zídze z chodníka (podľa stromov, lavičiek a. p.). Pri experimentoch vykonaných vo vonkajšom prostredí sa však ukázalo, že laserový skener je do značnej miery ovplyvňovaný poveternostnými podmienkami (prach, vietor). Na záver predstavenia tejto stratégie musíme konštatovať, že túto stratégiu sme nestihli a vlastne ani nemohli vôbec implementovať – dôvodom bol už spomínaný problém fixácie GPS a tiež spracovanie obrazu z kamery.

Stratégia č. 3: Táto stratégia predpokladala ako hlavný senzor kompas, na základe ktorého by bolo riadené smerovanie robota a na základe odometrie určované miesta zmeny kurzu. Žiadaná hodnota natočenia robota mala byť generovaná pomocou RNDF. Táto stratégia bola v podstate od počiatku zavrhaná z dôvodu už spomínanej nelinearity a príliš rozkmitaných údajov z kompasu – pred súťažou nebola vôbec implementovaná.

Stratégia č. 4: Táto stratégia mala byť založená na podobnom princípe ako predchádzajúca, len hlavným prístrojom mal byť gyroskop. Gyroskop spôsoboval nestabilné držanie smeru z dôvodu meniaceho sa driftu a zakmitanej výstupnej veličiny. Počas pohybu sa chyba integrovala.

Boli uvažované mnohé stratégie, ale v súťaži to napokon dopadlo úplne inak. Stav robota deň pred odchodom na súťaž by sa dal označiť za minimálne „zaujímavý“. Ako autonómne riadenie boli implementované len jednoduché procedúry, ktoré neboli veľmi použiteľné v súťaži (napr. pohyb po chodbe na základe laserového skenera). Deň pred odchodom na súťaž ešte nebol vyriešený ani problém GPS a ani problém kamery, kompas bol chápaný ako nespoľahlivý. Očakávali sme aj problém s batériami.

6.4 Súťaž Robotour 2007

Po príchode na miesto súťaže, sa začalo s prípravami na homologizáciu. Príprava pozostávala v príprave stop tlačítka, nalepenia majáku a v naprogramovaní stratégie pohybu počas homologizácie. Logicky bola použitá čiastočne odskúšaná stratégia pomocou kompasu a odometrie. Bolo odhadnuté, že na vzdialenosť, ktorá sa vyžadovala pri homologizácii stačí využiť aj pomerne nepresný kompas. Do riadiaceho systému bol implementovaný určitý počet bodov, v ktorých sa vždy po určitej prejdenej vzdialenosti mal korigovať smer podľa kompasu. Stratégia sa ukázala ako funkčná – homologizácia bola úspešná.

Na druhý deň bola hlavná súťaž. Úlohou v súťaži bolo prejsť trasu dlhú približne 1 km, ktorá sa skladala z rôznych úsekov. Úseky boli rôznorodé, od križovatiek cez rovné úseky, od úsekov s dlaždicami po asfaltové úseky a od úsekov bez prekážok až

po úseky so statickými prekážkami. Za prejdeň jedného úseku bolo možné získať jeden bod, pri prejdeň úseku s nejakou užitočnou záťažou 2 body. Na samotnú súťaž bol robot už lepšie pripravený – počas noci sa podarilo upevniť a spojzdníť v dovtedy nevyskúšanej konfigurácii pôvodne zamýšľaný hlavný počítač VIA EPIA a tiež esteticky upraviť robota. V prvom kole bol úmysel nastúpiť s tým istým algoritmom ako pri homologizácii – nepodarilo sa však spustiť riadiaci program na hlavnom počítači. Prvé kolo sme teda ani nenastúpili. Druhé kolo dopadlo trochu lepšie – podarilo sa spustiť riadiaci program – bohužiaľ robot zišiel z dráhy už v prvom úseku. V druhom úseku sa stalo to isté a pokus bol v tomto kole ukončený bez bodov. Pred tretím kolom bol zmenený algoritmus riadenia a robot bol naučený časť trate. Bola uplatnená záchranná stratégia, ktorej účelom bolo bodovať. Stratégia sa ukázala ako účinná – robot prešiel dostatočnú vzdialenosť so ziskom 22 bodov (robot niesol tiež užitočný náklad). S prekvapením sme tiež zistili, že to vyzerá aj na pekné umiestnenie. V ďalších kolách sa podarilo úspech zopakovať a bol získaný dostatok bodov na druhé miesto. Pôvodne zavrňovaná stratégia pomocou kompasu a odometrie sa ukázala ako veľmi jednoduchá a veľmi účinná, dôkazom úspešnosti tejto stratégie boli aj výsledky iných tímov.

6.5 Záver

Z nášho pohľadu možno účasť na súťaži Robotour 2007 zhodnotiť ako veľmi úspešnú. Čas, ktorý bol k dispozícii sa maximálne využil. Bolo vykonané množstvo programátorskej práce na robote a bolo získaných množstvo skúseností. Náš výsledok a nielen náš ukázal, že jednoduchý algoritmus riadenia robota môže mať naozaj dobré výsledky. Základom úspechu bol kvalitný hardvér – väčšia hmotnosť a robustnosť mechanizmu zabezpečili dostatočnú stabilitu riadenia robota týmto jednoduchým algoritmom (kompas a odometria). Kvalita použitého stroja sa ukázala aj pri samotnom programovaní – po odladení obslužných procedúr, čo sa robotovi prikázalo to spravil. Zámerom do budúcnosti je urobiť robota inteligentnejším – okrem jednoduchého prejdeň trate by mal byť schopný obchádzať prekážky na trati, určovať náhradné trasy v prípade znemožneného prejazdu a. pod. Robot by mal vyžívať pri svojom prejazde terénom celú škálu senzorov. Dúfame, že v budúcom ročníku sa zúčastníme súťaže práve s takto inteligentným robotom, ktorý bude schopný prejsť celú dráhu a aj s tým, že by bol schopný sa vyhýbať potenciálnym náhodným prekážkam.

PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol za podpory grantovej agentúry Ministerstva školstva SR VEGA 1/3120/06

Reference

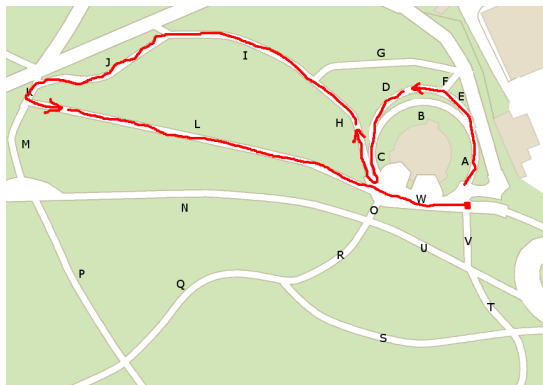
- [1] Murár, R. — Klůčik, M. — Jurišica, L.: Mechatronické vyhodnotenie trakčného systému mobilného robota, AT&P journal PLUS 2007, č. 2, ISSN 1336-5110
- [2] Vedecká grantová agentúra MŠ SR a SAV (VEGA), <http://www.minedu.sk/index.php?rootId=416>, 31.10.2007
- [3] <http://www.spinea.sk/>, 31.10.2007
- [4] <http://bssc.sel.sony.com/BroadcastandBusiness/DisplayModel?m=10005&p=2&sp=10&id=77866>, 31.10.2007
- [5] <http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/urg.html>, 31.10.2007
- [6] <https://buy.garmin.com/shop/shop.do?pID=8631>, 31.10.2007
- [7] <http://www.analog.com/>, 31.10.2007
- [8] <http://www.robot-electronics.co.uk/acatalog/Compass.html>, 10.2.2008
- [9] Jurišica, L. – Murár, R. – Duchoň, F. – Klůčik, M. – Petrovič, L.: Roboty do vonkajšieho prostredia, AT&P journal 11/2007, ISSN 1335-2237
- [10] OpenCV Library: <http://www.intel.com/technology/computing/opencv>, 31.10.2007

Kapitola 7

Výsledky

7.1 Homologace

V pátek 21. září 2007 byla vyhlášena trasa pro rok 2007. Na rozdíl od loňska byla delší a zahrnovala i nájezdy a složité obraty. Kudy přesně se jelo, vidíte na obrázku, případně její kód byl **AEDCHIJLW**.



Obrázek 7.1: Trasa 2007

I samotná homologace byla letos náročnější. Roboti byli testováni na startovním úseku A, který je do zatáčky a má velmi hrubý povrch z kostek. Z týmů co dorazily, se však homologovaly téměř všechny! Výjimkou byl nešťastný Istrobotics z Bratislavy,

který pohořel nad životností řídicího notebooku (cca po 5min na baterkách „umíral“) a i silová elektronika byla pravděpodobně podceněna. V souhrnu však homologace dopadly nad očekávání dobře.

7.2 Soutěž

Sobotní soutěž letos probíhala non-stop od 10:00 s jednotlivými starty po pěti minutách. Snad jsme se dostatečně poučili z loňských nedorozumění, a tak před každým z pěti kol byla schůzka rozhodčích. Ukázalo se, že téměř vždy se objevila nějaká situace, která nebyla zcela jednoznačná a bylo třeba se ujistit, že všech dvanáct sudí ji bude hodnotit stejně.

Bodování bylo letos srozumitelnější a navíc díky RDC (ČVUT-Ericsson-Vodafone R&D Centre), T-Mobile a firmě MapFactor s.r.o., bylo možno vidět aktuální pozici robotů na trati, průběžné skóre a aktuální pořadí. Raději připomenu, že trasa byla rozdělena na cca 20-30m úseky, za které bylo možno získat 0 až 4 body (0-robot vyjel, 1-úspěšné projetí bez nákladu, 2-úspěšné projetí s nákladem, 3-úspěšné projetí se dvěma naloženými roboty, 4-úspěšné projetí se třemi naloženými roboty). Pokud robot v daném úseku vyjel 2x, znamenalo to konec kola.

První kolo (start 10:00)

V prvním kole fascinoval R-team (kapitola 4). Malinký robot Martina Lockera dokázal získat 15 bodů! Ostatní robotici nevěřičně kroutili hlavami :-). Robot totiž používal pouze odometrii a kompas, kompletní řídicí algoritmus měl cca 10kB kódu ... prostě neuvěřitelné. Jak jsme pak viděli i v dalších kolech, kombinace odometrie s kompasem byla vítěznou strategií. V případě sjetí na křížovatce to sice znamenalo konec jízdy (roboti nebyli schopni se vzpamatovat z vracení před křížovatkou), ale i tak neuvěřitelně bodovala.

Druhé kolo (start 11:30)

Na rozdíl od prvního kola bylo druhé dost tragické. Nulu nalezneme na polovině vyhodnocovacích listů. Dokonce i tým FoG (kapitoly 2 a 3), který jako jediný přijel s kolonou robotů, vůbec nebodoval. Ve většině případů se jednalo o podcenění baterií, které už nebyly plně nabity. Také nejrůznější součástky se po prvním kole vyklepaly.

Komu však přálo štěstí a vydrželo až do konce závodu, byl tým Robohemia z VUT Brno. Získal 46 bodů a skončil zatím nejdále, naražen na strom v segmentu W. Toto však byla už druhá čelní kolize, první byla s lavičkou na segmentu L, a tak zbytek

L-ka a W nebylo počítáno. Byla to situace, kdy robot nevyjel z trasy, ale ani nemohl dále pokračovat, tj. STOP a ukončení pokusu.

Tým Robohemia, stejně jako R-team, používal jen odometrii a kompas, a tak by vyjetí z křižovatky pro něj mělo tragické důsledky — trasa by už nesedela a robot by okamžitě vyjel znovu. Přesto se týmu Robohemia podařilo 46 bodů získat ještě ve 4. a 5. kole. . . vždy skončili nárazem do stejné lavičky na segmentu L.

Třetí kolo (start 13:00)

Třetí kolo bylo poměrně úspěšné pro FoG. Dva autonomní naložení roboti dojeli až do segmentu D a překonali tedy dvě křižovatky. Pak ale oba sjeli z trasy, pravděpodobně kvůli ostrému slunci, které jim svítilo přímo do kamer. Celkově tedy 18 bodů.

V tomto kole se začalo dařit i URPI FEI STU Bratislava (kapitola 6). Jejich robot poprvé skóroval a to hned 22 bodů. Nula bodů naopak najdeme např. na listu R-teamu, kterému se uvolnil enkodér.

Čtvrté kolo (start 14:30)

Čtvrté kolo přeje URPI FEI STU Bratislava — zdolávají trasu s naloženým robotem až po I segment. Naopak Short Circuits (kapitola 5) končí po necelém metru, špatně napsaná podmínka změněná v kódu chvíli před startem. Robohemia opakuje svůj 46-bodový úspěch a tak vítěz je v tuto dobu již znám. Napínavý zatím zůstává boj o druhé a třetí místo.

Páté kolo (start 16:00)

V posledním kole Robohemia znovu dojíždí až k terminální lavičce. Jasně vítězí s 178 body. Na druhém místě byl do této doby FoG s divácky atraktivní dvojkou toreadora a býka (druhý robot se navigoval pomocí červeného šátku na prvním robotu). Přestože je poslední kolo jejich nejlepší (20 bodů), nakonec to na druhé místo nestačí. Druhé místo totiž patří URPI FEI STU Bratislava, které v posledním kole doveze náklad na HI křižovatku. V posledním kole také konečně skóruje i Robozor. Jejich robustní podvozek z elektrického křesla by jistě uvezl bez problému člověka, ale software zatím nebyl dostatečný...

Konečné pořadí

Pořadí	Tým	1. kolo	2. kolo	3. kolo	4. kolo	5. kolo	Celkově
1.	Robohemia	10	46	30	46	46	178
2.	URPI Bratislava	0	0	22	26	26	74
3.	FoG	8	0	18	17	20	63
4.	R-team	15	5	0	6	4	30
5.	RobSys	4	0	6	8	8	26
6.	Bender I. Team	5	6	4	6	2	23
7.	Red Team Brno	6	4	0	4	6	20
8.	Short Circuits	3	3	2	0	6	14
9.	Logio	1	0	2	3	3	9
10.	Bender II Team	0	0	6	0	0	6
11.-12.	Propeler-team	1	0	0	0	1	2
11.-12.	Robozor	0	0	0	0	2	2

Závěr

Soutěž autonomních outdoor robotů Robotour má za sebou zatím jen krátkou historii. Přesto i ročník Robotour 2007 potvrdil, že soutěž smysl má. Je zajímavá jak pro soutěžící, tak pro diváky a vyplňuje mezeru na poli outdoor robotických soutěží v České republice.

S lety náročnost soutěže pravděpodobně poroste. Jednak bude požadována vyšší autonomie strojů a dále schopnost interagovat s okolím (hlavně vyhýbat se překážkám). Stejně jako u ostatních soutěží Robotour sama začne cestovat, a tak například v roce 2009 se bude soutěžit v Brně. Postupně je také očekávána stále vyšší účast zahraničních týmů.

Soutěž Robotour 2007 již skončila, ale doufáme, že pomocí tohoto souhrnného dokumentu po ní zůstane více než jen milé vzpomínky. Zájemce o více informací, případně kdy a jak se budou konat další ročníky, bychom odkázali na stránky organizátorů: <http://robotika.cz/>.