

Osnova

1. 3Orbis
 - a. predni nahon
 - b. zadni nahon – preklapani v zatáče
 - c. „O“ kroužky nefungují
2. IstRobot 2006
 - a. Synchronisační potíže mezi dvěma procesory
 - b. Nepodarilo se odladit objizdeni cihly pomocí IR čidel
 - c. Detekoval spoj desek jako čáru
 - d. Chyba v algoritmu pro objetí čáry X povodeň, chyběl tak týden do odladění FW
3. Úkol pro další rok - Odstranit predsunutá čidla a tak snížit setrvačnou hmotnost na obvodu a odstranit překlápění v zatáče.
4. Laserus
 - a. drncání = různý rozkmit
 - b. v zatáče moc tlustá čára na čárový kód
5. Camerus
 - a. Strategie zpracování pouze jedné obrazové řádky
 - b. „digitální komparátor“
 - c. Expozimetr
 - d. Snímkový kmitočet X Modrá čidla na prudkou zatáčku
 - e. Jak násobení pro elektronický diferenciál
 - f. Měnič na 5V
6. Robot Challenge 2007
 - a. Nejrychlejší robot na sledování čáry
 - b. neobjel cihlu

- c. spoje mezi deskami
- d. zřejmě prokluzovalo kolečko s odometrií

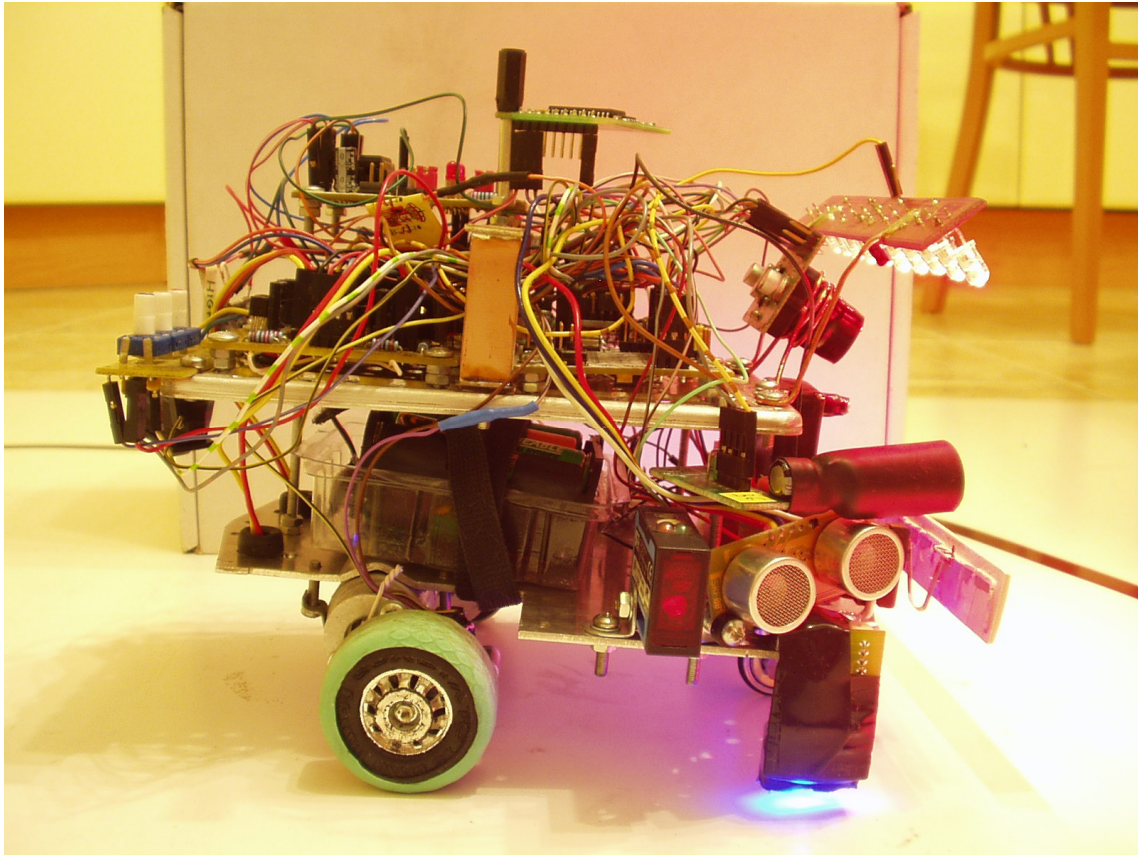
7. IstRobot 2007 – před soutěží

- a. Další měnič na 12V
- b. Ultrazvuk
- c. Přeadresace kamery (drát pod objektivem)
- d. Checklist X prokluzují kolečka
 - i. Zalepené převodovky?
 - ii. Vrtání děr do nitridované oceli
 - iii. Záběh převodovek
- e. Výměna motoru
- f. Zkrat v H-mústku X SW oprava
- g. Chyba v logovací proceduře

8. IstRobot 2007 – soutěž

- a. Extrémě dlouhé přerušení v inflexním bodu
- b. Cihla hned za pravouhlou zatáčkou
- c. Změna strategie přejetí přerušení
- d. Méně jak polovina regulačního rozsahu = malý výkon, nebezpečí zastavení
- e. rekord trati

Robot CAMERUS



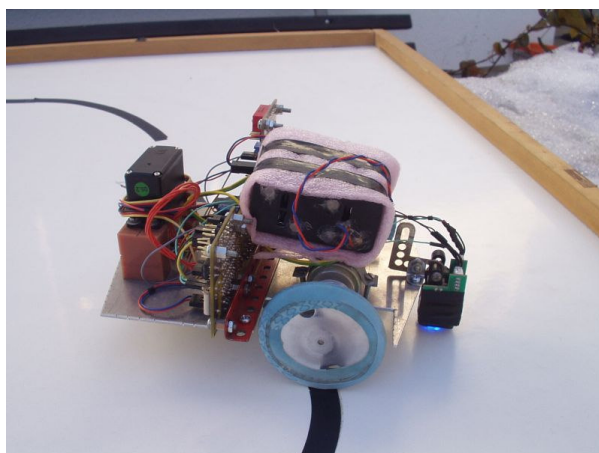
Jakub Kákona
Kaklik@mlab.cz

Tato dokumentace popisuje konstrukci robota Camerus, který byl zkonstruován pro soutěž IstRobot pro kategorii Stopár (<http://www.robotika.sk/contest/>).

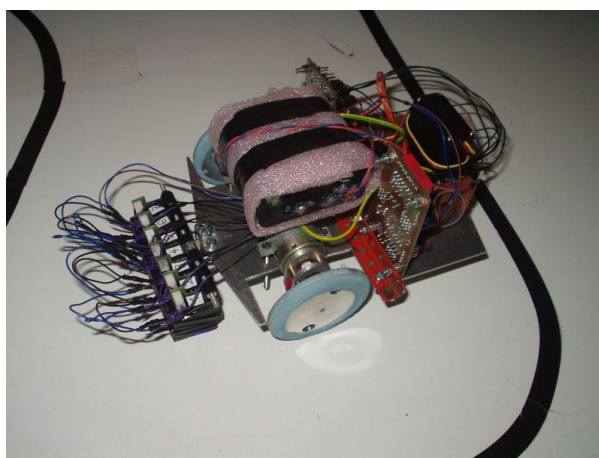
Snažili jsme se tuto technickou dokumentaci pojmout poněkud netradičně. Kromě popisu finální verze robota zde naleznete chronologický popis jeho vývoje a popis všech slepých uliček. Doufáme, že takováto forma dokumentace bude mít pro naše následovníky větší hodnotu než pouhý návod na zopakování konstrukce.

Robot 3Orbis

Vývoj robota Camerus začal před více jak dvěma roky vývojem robota 3Orbis. Robot 3Orbis měl mít novou revoluční koncepci podvozku. Použili jsme tříkolý podvozek, který měl dvě hnaná kola, každé s nezávislým motorem a třetí kolo, které mělo řízené zatáčení. Jednalo se tedy o nonholonomní podvozek. Koncepci podvozku jsme nejdříve ověřovali se dvěma senzory na čáru, jako to měly naši předchozí holonomní roboti. To moc nefungovalo a proto jsme přidali další senzory, pomocí kterých se diskrétně nastavoval úhel zatáčecího kolečka.

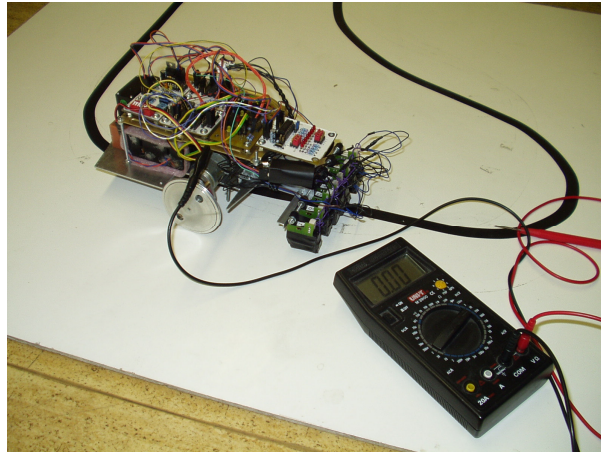


Obrázek 1: První pokusy s tříkolým a třímotorovým robotem



Obrázek 2: Baterie senzorů na čáru

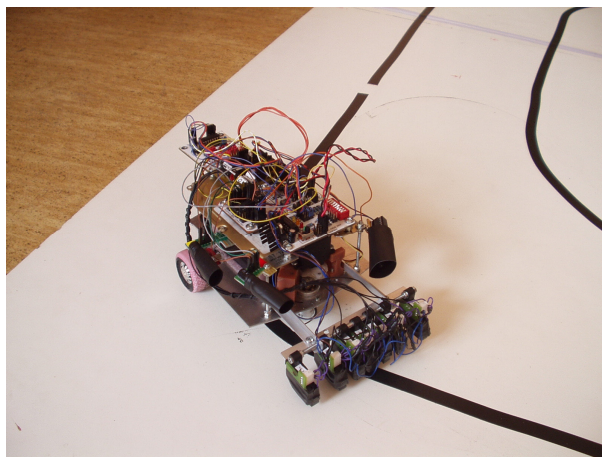
Přidáním dalších senzorů na čáru jsme se dostali do problémů s počtem vstupů použitého procesoru (PIC16F88). Tento problém jsme vyřešili tak, že jsme na zpracování signálů ze senzorů na čáru použili další samostatný procesor. Toto řešení se však později neukázalo jako výhodné, protože ladit distribuovaný kód bylo řádově obtížnější a navíc se musela naprogramovat komunikace mezi procesory. Často se nám také stávalo, že jsme během vývoje do jednoho procesoru nahráli kód pro druhý procesor, což kupodivu občas trvalo určitou dobu, než jsme na to přišli.



Obrázek 3: Přední náhon; přidáno druhé patro na elektroniku

Původní koncepce předpokládala hnaná kola vpředu a zatáčecí kolo vzadu. Modelářské servo však nedokázalo dostatečně rychle zatáčet, přestože bylo z převodovány do rychla převodem 1:2. Změnili jsme proto uspořádání na hnanou nápravu vzadu a zatáčecí kolečko vpředu. To nám umožňovalo ostře řezat zatáčky, ale objevily se další problémy. Podvozek se v zatáčkách dostával do smyku a protože hmotnost čidel byla nezanedbatelná, docházelo i k jeho naklápění a následně k falešnému signálu z čidel, protože čidla nebyla držena v konstantní vzdálenosti od povrchu.

Pro 3Orbise byla vysoustružena duralová kola, pro která bylo plánováno obutí „O“ kroužky. To se pak ukázalo jako nepoužitelné. „O“ kroužky se nedokázaly udržet v drážkách na kolech. Původní kola byla tedy nahrazena plastovými z dětské hračky. Kola měla menší průměr, což zlepšilo převodový poměr, který byl pro vyrobené převodovky 5:1. Jako obutí byly použity ustřížené prsty z latexových rukavic pro domácnost. Jako obutí zatáčecího kolečka bylo použito pryžové těsnění 12x10x2. Na zatáčecí kolečko bylo obuto tak, že se jeho po hraně těsnění.

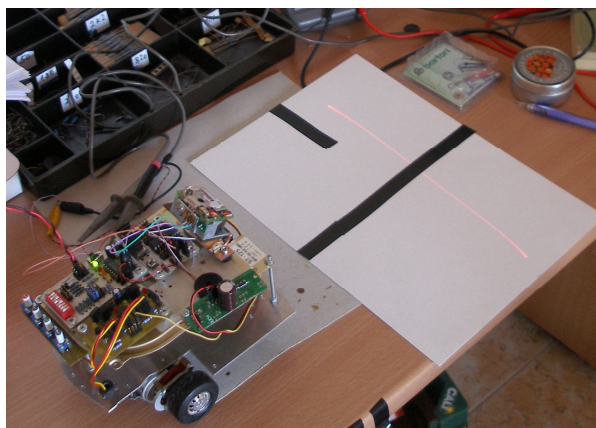


Obrázek 4: Robot 3Orbis. Zadní náhon a menší kolečka z autobusu od pana Hronka. Je vidět čidlo na hledání hrany cihly.

Pro detekci a objíždění cihly byly na robotovi namontovány IR senzory. Jeden měl detekovat překážku na dráze a zbylé dva měly sloužit pro její objetí. Objetí cihly pomocí IR senzorů jsme však nedokázali odladit. Objíždění nebylo spolehlivé a tak robot nakonec objížděl cihlu naslepo.

Při soutěži se objevil nečekaný problém, kvůli kterému robot nakonec nedojel. Soutěžní dráha je tvořena dvěma deskami. Desky nejsou dokonale slícovány a tak mezi nimi vzniká tmavá mezera. Tato mezera byla na soutěžní dráze přelepena bílou lepicí páskou. Bohužel čidla na čáru, které robot používal, vyhodnocovala bílou lepicí pásku jako černou (čidla pracují blízko ultrafialové oblasti). Tento problém by šel kompenzovat programově, ale na soutěži se nepodařilo program v časové tísni správně upravit. Robot tedy nakonec nedojel.

Robot Laserus



Obrázek 5: Robot Laserus. Na obrázku je vidět červená stopa LASERu.

Další verzi robota se shodným podvozkem byl robot Laserus. Snahou bylo odstranit „těžká“ čidla předsunutá před robota a tak odstranit překlápění v ostrých zatáčkách. Řešením by bylo zvětšení dosahu čidel na čáru tak, aby mohla být umístěna co nejbližší k ose otáčení robota. Zároveň by se tím snížila obvodová setrvačná hmotnost robota. Znovu jsme použili tříkolý podvozek s jedním řízeným zatáčecím kolečkem, přestože na IstRobotu 2006 byla tato konfigurace diskutována a autoři druhého robota s podobnou koncepcí se v diskusi vyjádřili,

že to nebyl dobrý nápad, že se robot při větších rychlostech má snahu rozkmitávat. Řešení tohoto problému jsme viděli ve zjemnění snímání čáry tak, aby se precizněji nastavovalo zatáčecí kolečko.

Napadlo nás použít laserovou čtečku čárového kódu a skutečně jsme postavili funkčního robota (viz **Obrázek 5**), který dokázal, ale pomalu, jezdit po čáře.

Problémy s touto konstrukcí byly dva. Pokud byl na dráze hrbol, tak se v důsledku vibrací zmenšil rozkmit laseru, protože laser je ve čtecím zařízení rozmítáván mechanicky zrcátkem, které vibruje a velké stranové zrychlení při přejetí hrbolu způsobovalo, že elektromagnetický mechanismus, který pohybuje zrcátkem se dostal z rezonance. Tyto problémy by ovšem zřejmě šlo kompenzovat softwarem.

Druhý problém byl závažnější. Protože bylo použito zařízení na čtení čárového kódu, snímali jsme vlastně polohu jedné čáry ve scanovaném prostoru. V prudké zatáčce však dochází k tomu, že čáru vidí snímač šikmo a tak se relativně zvětšuje její tloušťka. Vnitřní elektronika snímače vyhodnotila tento stav, jako že se nejedná o čárový kód a čáru vyfiltrovala. To samozřejmě mělo v ostré zatáčce fatální následky. Dále jsme touto cestou nepokračovali, přesto, že víme, že v závodě DARPA se často používají laserové dálkoměry. Na soutěžních vozech je však vidět, že konstruktéři také mají problémy s odtlumením vibrací.

Robot Camerus

Znovu se vynořil nápad, použít pro snímání čáry kameru. To už nás napadlo několikrát, ale když jsme nápad analyzovali, vždy se ukázalo, že jednoduchým jednočipovým mikroprocesorem nelze zpracovávat obraz kamery. Druhým problémem je, že běžně dostupné kamery mají snímkový kmitočet 50Hz, což se nám zdálo na snímání čáry pomalé.

Přesto jsme zakoupili jednu kameru a začali jsme osciloskopem testovat, co tak kamera vidí a jak by se to dalo zpracovat. Kupodivu jsme zjistili, že s procesorem na 20MHz stíháme načíst jeden obrazový řádek asi s polovičním rozlišením. To bylo povzbudivé a zaměřili jsme se tímto směrem.

Druhým problémem bylo, že kamera nesnímá kontrastní obraz. Jak se vypořádat v jednočipovém počítači s tímto problémem, když jeho výpočetní výkon stačí sotva na načtení řádku a ještě se musí počítat regulace pro elektronický diferenciál? (Pro zvolenou koncepci podvozku je nutné diferencovat otáčky motorů na hnané nápravě.)

Problém jsme vyřešili něčím, čemu jsme pracovně začali říkat „digitální komparátor“. Jednoduše jsme pomocí logických hradel provedli OR třech nejvyšších bitů jasového signálu z kamery. Všechno co bylo pod 0x1F bylo tedy černé a všechno nad bylo bílé. Expozici kamery pak bylo nutné nastavit tak, aby nejsvětlejší černá čára, byla ještě černá. To se udělalo snadno osciloskopem, ale pro závod bylo nutné vyvinout nějakou strategii, jak robot provede určení expozice. Řešením byla rutina „Expozimetr“, která postupně zvyšuje expoziční čas a hledá ve snímku (samozřejmě, že v našem případě na jedné řádce) čáru definované tloušťky. Vychází se z toho, že nejdříve při podexponování je černý celý obrázek, pak postupně se obrázek vyjasňuje, což je ovšem díky chybě apertury objektivu nerovnoměrné. Dalším zvyšováním času expozice se nakonec objeví čára správné tloušťky, ta se pak dále ztenčuje a nakonec je snímek přepálen a čára zmizí. Samozřejmě se předpokládalo, že na startu robot čáru vidí a ta je před ním přibližně uprostřed.

První pokusy vypadaly velmi optimisticky, robot se držel čáry a vyjel jenom občas. Zajímavé bylo že robot dokázal jezdit jenom po dráze, kde nebyly zatáčky doleva. Napadlo nás, že může docházet k „vytrhávání obrazu“ na krajích snímku. Kompenzovalo se to tím, že se zahazovaly okraje řádku a skutečně to pomohlo, robot spolehlivě, i když pomalu, sledoval čáru. To byl velký úspěch, protože kdyby nám někdo řekl před rokem, že to s kamerou a jednočipovým počítačem jde, a že je to spolehlivé, asi by jsme mu nevěřili.

Po prvotních úspěších jsme zkusili zrychlit jenže to nefungovalo, robot vždy vypadl z dráhy, když se zatáčecí kolečko otočilo o velký úhel. Napadlo nás, že to může být způsobeno proudovými špičkami, které způsobuje motor serva. Pro stabilizaci napájení pro elektroniku totiž byl použit lineární stabilizátor s velkým drop-outem. Proto jsme vyvinuli měnič, který i při poklesu napětí baterií o 2V dokázal udržet napětí pro řídicí elektroniku a zejména kameru stabilní. Po tomto vylepšení už robot dosahoval poměrně slušné rychlosti a nejzajímavější bylo, že díky „velké“ rozlišovací schopnosti kamery (procesor dokázal rozlišit asi 50 bodů) byla jízda v zatáčkách velmi plynulá.

Protože použitý procesor PIC16F876A neumí násobit a vůbec jeho výpočetní výkon není omračující (kdybychom ho ale měli před lety, tak by jsme si určitě nestěžovali), byl celkem problém naprogramovat elektronický diferenciál na hnanou nápravu. Nakonec se to vyřešilo procedurou „jakonásobení“, která kombinací rotací a podmíněného sčítání provádí rychle potřebný výpočet s uspokojivou přesností.

Obrázek 6: Měnič v krabici od čaje a primitivní osvětlení dráhy.

Obrázek 7: Robot, přítel člověka.

Začali jsme tedy testovat pro sledování čáry asi nejobtížnější věc, dlouhou rovinku a na konci pravouhloú zatáčku. Při dalším zvyšování rychlosti začal robot v takové zatáčce vypadávat. Ne, že by přímo vyjel a nevrátil se na dráhu, ale poloměr zatáčení byl menší než poloměr zatáčky a hrozilo tedy, že v Bratislavě spadne ze stolu. Udělali jsme předpoklad, že je to způsobeno pomalým snímkovým kmitočtem kamery, než si robot stačil všimnout, že je zatáčka ostrá, zmizela mu čára ze zorného pole.

Dalším problémem bylo, že pokud bylo nerovnoměrné osvětlení dráhy, vypadával kameře obraz. Kamera má sice AGC, ale samozřejmě, že je schopna kompenzovat rozdíly jasu jenom v určitých mezích. Kupodivu nebyl problém v tunelu, kde si robot svítí, ale byl samozřejmě velký problém s denním světlem, pokud přicházelo pouze z jednoho směru.

Konstrukční řešení, které následovalo, bylo doplnění dvou modrých čidel po stranách robota na sledování čáry. Čidla byla umístěna tak, že viděla čáru, až když čára byla mimo zorné pole kamery a uplatňovala se pouze v případě, že kamera čáru nevidí. To velmi zvýšilo spolehlivost sledování čáry. Zároveň jsme tato čidla použili pro opětovné vyhledání čáry po objetí cihly, protože jsme se báli pro tento úkol použít kameru, protože po dobu objížďení cihly kamera nevidí kontrastní obrázek (nevidí čáru) a díky AGC by mohla zaznamenat stín nebo špičku na trati jako čáru.

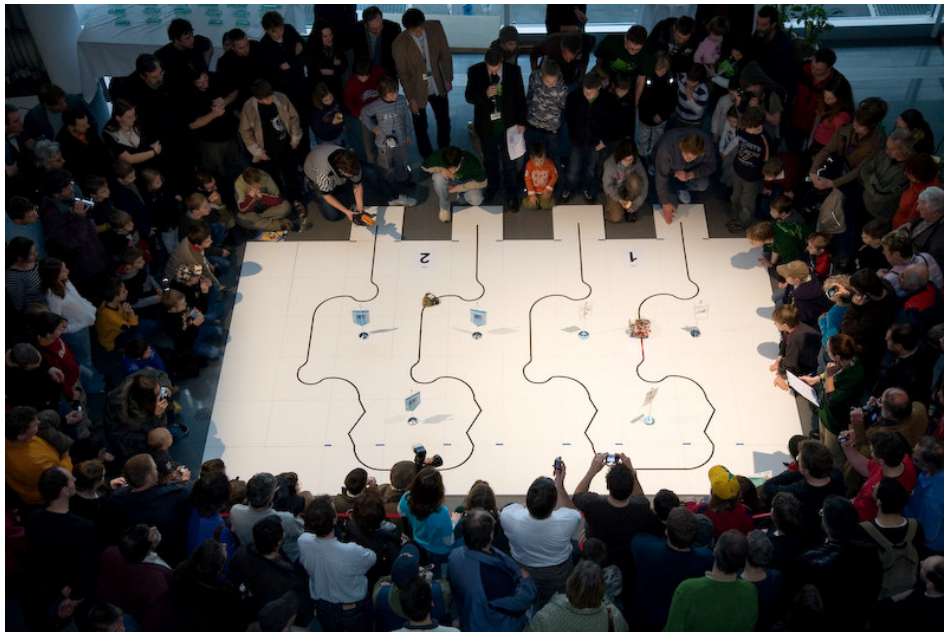
Na objížďení cihly byl robot Camerus vybaven odometrií na pravém kole.

Jeli jsme „ladit“ do Vídně

Vše potřebné bylo naprogramováno, robot sledoval čáru. Přerušení nedělalo problémy, prostě byl výpadek obrazu a robot pokračoval v původním směru před přerušením. Cihla byla řešena pomocí odometrie. Takto vybaveni jsme odjeli do Vídně na Robot Challenge 2007. Řekli jsme si, že to tam odladíme, protože jsou tam jednodušší podmínky než v Bratislavě (alespoň na první pohled, robot může být větší a tunel je také větší, takže robot nemusí jet tak přesně).

Rozhodnutí ladit robota na Robot Challenge se ukázalo jako správné. Podmínky totiž byly náročné. Bodové osvětlení, dráha složená z desek s mezerami, styl soutěže play-off.

Camerus určitě jezdil nejrychleji, ale nedokázal objet cihlu! Jednou se stalo, že uviděl mezeru mezi deskami, podruhé mu zřejmě proklouzlo kolečko s odometrií, prostě katastrofa! Alespoň, že byl třetí v paralelním slalomu, to jsme mu ale zavinili my, protože jsme mu při zkoušení objetí cihly stáhli výkon motorů a pak jsme na to zapomněli. Za třetí místo tedy nemohl robot, ale lidský faktor.



Obrázek 8: Robot Challenge 2007, Parallel Slalom. Robot Camerus na dráze číslo 1.



Obrázek 9: Robot Camerus na Robot Challenge 2007. Robot nemá čidla na překážku.

Jednoznačně se ukázalo, že objíždět překážku „naslepo“ není dobrá strategie a zejména, pokud je odometrie na hnané nápravě.

Co s cihlou?

Další vývoj jsme věnovali objíždění cihly za pomoci čidel. Jaká čidla ale použít? Měli jsme špatné zkušenosti s IR čidly s 3Orbise a roboty s ultrazvukem jsme zase na minulých ročnících viděli, že si spletli tunel s cihlou, případně neviděli cihlu, pokud se k ní blížili zešikma.

Nevěděli jsme co s tím a tak jsme začaly zkoušet. Měřili jsme, co „vidí“ ultrazvuk a co různá optická čidla. Při měření se opět ukázaly všechny předpokládané problémy. Ultrazvuk vidí kde co, jenom ne cihlu, když je šikmo. IR snímač vidí cihlu sice spolehlivě, ale stejně dobře jako velkou bílou zeď několik metrů daleko. Nakonec byla pro cihlu zvolena kombinace sedmi sensorů. Skutečně čtete dobře, sedmi. Jeden IR sensor vpředu na detekci přiblížení se k cihle. Funguje na principu triangulace. IR vysílací dioda má úzkou hliníkovou trubičkou zúžen paprsek, aby nedocházelo k jeho integraci na velké vzdálené ploše. Další dva senzory jsou mikropínače na mechanickém nárazníku, kdyby se stalo, že triangulační čidlo cihlu přehlédne. To se může stát v prudké zatáčce. Z boku jsou pak ultrazvukový sensor a dálkoměr s červenou LED. Tyto čidla udržují konstantní vzdálenost od cihly při jejím objíždění. K tomu ještě již zmíněná odometrie na pravém kolečku, která zajišťuje prudkou zatáčku doleva jakmile je cihla detekována a nakonec kompas, který zabraňuje, aby se robot vracel zpět po trati (to se může stát, protože mezi předním čidlem a bočními čidly je slepý úhel).

Přidání dalších čidel se neobešlo bez konstrukčních problémů. Boční LED čidlo se ukázalo jako málo citlivé a bylo to zřejmě způsobeno tím, že se jedná o průmyslové čidlo, které je normálně napájeno napětím 12 až 48V. S naším napájecím napětím 7,2V a to ještě občas, nebylo moc spokojeno. Byl tady přidán další měnič nahoru na 12V. Byl použit měnič ze staré síťové karty.

Přidání kompasu si vyžádalo přeadresaci kamery, protože kamera a kompas měli na I2C sběrnici stejnou adresu. To kupodivu byl velký problém, který jsme už řešili poslední

weekend před soutěží a vynutil si tak zásadní zásah jako rozebrání objektivu kamery, což znamenalo pečlivé čištění čipu kamery.

IstRobot 2007

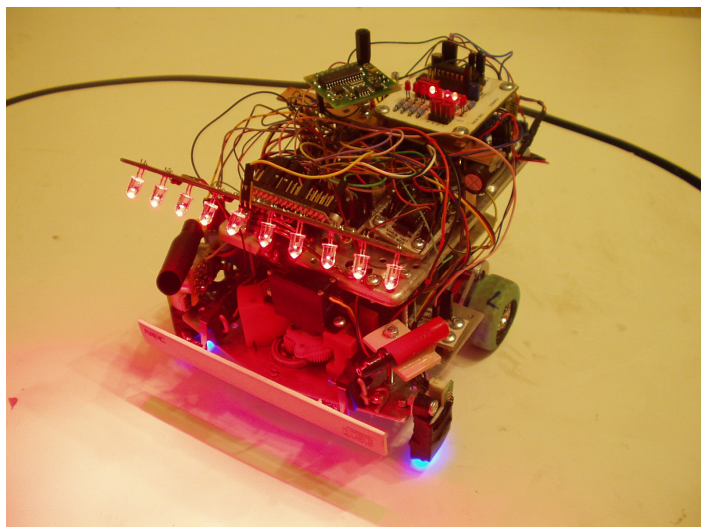


Obrázek 10: IstRobot 2007 – tvar dráhy.

IstRobot 2007 nás skutečně překvapil, byla na něm z našeho pohledu nejsložitější dráha, jakou jsme kdy viděli. Extrémně dlouhé přerušení, navíc v inflexním bodě (to nás vůbec nenapadlo, že je možné), cihla hned za pravouhloú zatáčkou (sotva robot vyjede ze zatáčky, bác, a je tu cihla), viz **Obrázek 10**. Obtížnost trati se ukázala hned v první jízdě, Camerus vypadnul na přerušení. V druhé jízdě jsme snížili výkon motorů, zde ale zase hrozilo, že se robot nerozjede, pokud někde (například při objíždění cihly) výrazně zpomalí. Robot jel plynuleji, přesto vyjel v přerušení (to dá rozum, protože kopíroval tvar dráhy před přerušením), vyhnul se tunelu, znovu našel dráhu (to fungovalo dobře) a na podruhé projel. Byl to úspěch ale velká časová ztráta a navíc si robot špatně zapamatoval dráhu pro další jízdu, protože bloudil.

Programovali jsme místo oběda a nakonec jsme to přerušení vyřešily, prostě jsme zohlednily, že dráha za přerušením může pokračovat i na druhou stranu. Zní to jednoduše ale úprava programu nebyla tak jednoduchá.

Finálová jízda proběhla bez problémů, robot jel na méně jak polovinu regulačního rozsahu, bez našeho zásahu by se s dráhou dobře nevypořádal, ale jsme rádi, že dojel a nakonec stejně za to nemohl robot, ale my, že jsme mu naprogramovali, že dráha za přerušením nemůže vést na druhou stranu 😊



Obrázek 11: Robot Camerus - finální verze robota.

Propojení modulů robota je na přiloženém blokovém schématu.

Následuje dokumentace použitých modulů a zdrojové texty firmware.

Desky plošných spojů naleznete na <http://www.mlab.cz/> .

Dokumentace k použitému kamerovému čipu je na <http://www.cmucam.org/attachment/wiki/Documentation/OV6620.PDF> .