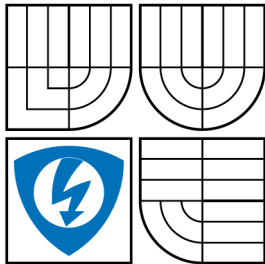


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SOUTĚŽNÍ AUTO PRO FREESCALE CUP - PROJEKT BROB THE FREESCALE CUP CAR - BROB PROJECT

SEMESTRÁLNÍ PROJEKT
SEMESTRAL PROJECT

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VOJTĚCH VLADYKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR GÁBRLÍK

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá konstrukcí autonomního robotu, který má v co nekratším čase projet zadanou dráhu. Koncepce je daná pravidly soutěže The Freescale Cup, z čehož vyplývá navržené řešení. Hlavními body práce je konstrukční řešení a navržené algoritmy zpracování obrazu. Řešení konstrukce se podařilo, ale algoritmy trpí velkou chybovostí. Bylo nastíněno řešení pro nápravu. Výsledky této práce budou sloužit jako výchozí bod pro příští verzi robotu.

KLÍČOVÁ SLOVA

robot, autonomní jízda, The Freescale Cup, Kinetis, Freedom Board, zpracování obrazu, závod

ABSTRACT

This paper is about design of autonomous robot. Goal of this robot is pass track in shortest possible time. Conception is given by rules of The Freescale Cup. Primary goals of this paper is construction and image processing algorithms. Construction solution was successful but algorithms has large error rate. In this point there was given concept of solution. Results will be used as start point for next version of robot.

KEYWORDS

robot, autonomous drive, The Freescale Cup, Kinetis, Freedom Board, image processing, race

VLADYKA, Vojtěch *Soutěžní auto pro Freescale Cup - Projekt BROB*: semestrální projekt. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2014. 26 s. Vedoucí práce byl Ing. Petr Gábrlík

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma „Soutěžní auto pro Freescale Cup - Projekt BROB“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto semestrálního projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Ing. Miloslavu Richterovi, Ph.D. za poskytnutí modelu, součástek a dráhy na testování. Dále bych rád poděkoval Ing. Petru Petyovskému za odborné konzultace a mnoho hodnotných tipů a postřehů. Také bych rád poděkoval Ing. Petru Gábrlíkovi za umožnění práce na tomto projektu v rámci předmětu BROB.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	7
1 Zadání práce	8
2 O Soutěži The Freescale Cup	9
2.1 Výběr z pravidel	9
3 Konstrukce	10
3.1 Podvozek	10
3.2 Kamery	11
3.3 Motorová deska (Motor Board)	13
3.4 Freescale FRDM-K20D50M	13
3.5 IO Shield	14
4 Řídící software	15
4.1 Koncepce	15
4.2 Řídící logika	15
4.3 Zpracování obrazu	15
4.3.1 Knihovna image-processing	15
4.4 Řízení pohonů	16
4.4.1 Řízení elektromotorů	16
4.4.2 Řízení servomotoru	16
4.4.3 Algoritmy	17
4.5 Obsluha periférií	18
4.6 Vývojové prostředí CodeWarrior	18
5 Závěr	19
5.1 Konstrukce	19
5.2 Software	19
Literatura	20
Seznam symbolů, veličin a zkratk	22
Seznam příloh	23
A Použitá schémata	24
A.1 Schéma předzesilovače	24
A.2 Schéma IO Shieldu	25

ÚVOD

Tato práce se zabývá konstrukcí mobilního robotu a návrhem jeho algoritmů pro zpracování obrazu a řízení s cílem projet zadanou dráhu. Závěry této práce poslouží jako výchozí pozice pro další práci na tomto projektu v rámci přípravy na soutěž The Freescale Cup 2015.

Ústředním problémem celé práce je optická detekce dráhy. Tomu se podřizuje konstrukce a navržené algoritmy. Vzhledem k optickému snímání řádkovými kamerami je kladen velký důraz na odolnost vůči různým světelným podmínkám a také na rychlost snímání a zpracování, protože veškeré výpočty musí probíhat 'online' na řídicím procesoru architektury ARM.

Řešení konstrukce je konečná verze, která vznikla na základě zkušeností z letošní kvalifikace na The Freescale Cup 2014 v Žilině. Řešení softwaru je spíše průzkumem řešení.

1 ZADÁNÍ PRÁCE

Seznamte se s novými pravidly pro soutěž The Freescale Cup a proveďte potřebné konstrukční a hardwarové úpravy na stávajícím soutěžním autě. Promyslete způsob snímání a vyhodnocování závodní dráhy a implementujte jej. Dále implementujte algoritmus pro jízdu v závodní dráze.

2 O SOUTĚŽI THE FREESCALE CUP

The Freescale Cup (dále jen TFC) je celosvětová soutěž autonomních modelů aut organizovaná společností Freescale Semiconductor. Cílem soutěže je projet předem neznámou dráhu v nejkratším možném čase. Podvozek auta je dán pravidly včetně pohonů, převodovek a serva. Snímání dráhy musí být provedeno optickými senzory a v celé konstrukci smí být pouze jeden 32bitový procesor společnosti Freescale. Struktura soutěže je rozčleněna na regionální kvalifikace, kontinentální finále a celosvětové finále. Pořadatelská univerzita se liší ročník od ročníku.

2.1 Výběr z pravidel

Konstrukce

- musí být použit podvozek schválený společností Freescale,
- nesmí být změněna geometrie podvozku (vyjma změn v rámci normálního nastavení),
- nesmí být změněn pohon, převodovky a servo (výměna možná pouze kus za kus),
- nesmí být změněny pneumatiky a kola,
- musí být použita baterie Ni-MH, 7,2V, kapacita nesmí přesáhnout 3000 mAh,
- nesmí být použit žádný DC-DC boost, který by ovlivňoval napětí na motorech,
- celková kapacita použitých kondenzátorů nesmí být větší než 2000 uF,
- celkový počet senzorů nesmí přesáhnout 12 kusů (vysílač a přijmač je jeden kus, kamera je jeden kus),
- žádný ze snímačů nesmí být programovatelný nebo mít nějaké předzpracování,
- musí být použit 32 bitový procesor společnosti Freescale.

Jízda

- 3 pokusy, přičemž se započítává první úspěšně dokončená jízda,
- dráha je definována černými pruhy na okrajích (podrobný popis včetně rozměrů, viz [11]),
- diskvalifikace za vyjetí z dráhy,
- 1 vteřina penalta za nedetekování cíle,
- během jízdy nesmí probíhat žádná komunikace modelu s okolím.

Kompletní pravidla viz příloha na CD B nebo aktuální verze online [12].

3 KONSTRUKCE

V této části jsou popsány veškeré konstrukční aspekty.

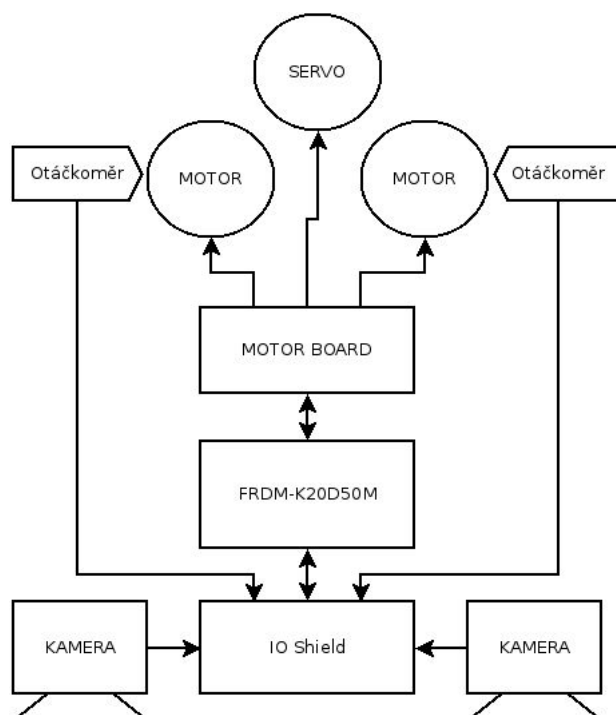
Tab. 3.1: Parametry konstrukce

Parametr	Hodnota	Jednotka	Poznámka
Hmotnost	1130	g	Startovací hmotnost
Rozměry			nejdelší měřitelný rozměr
Délka	290	mm	
Šířka	162	mm	podvozek
Výška	175	mm	závěs s kamerami
Výška	215	mm	
Napájecí napětí	7,2	V	
Proudový odběr			
-při stání	0.05	A	servo statické, motory vypnuté, čeká na start
-při plném výkonu a blokaci	3	A	servo statické, motory mají plný výkon a jsou blokovány, všechny systémy v provozu
-při stání a blokaci serva	0.5	A	servo je zablokováno, motory vypnuté, všechny systémy v provozu
Typ baterie	NiMH	-	
Kapacita	2400	mAh	
Nominální napětí	7.2	V	
Nejmenší vnitřní poloměr zatačení	410	mm	
Dohled kamer	300	mm	od přední nápravy

Zapojení jednotlivých komponent vystihuje následující obrázek Obr. 3.1. Jednotlivé komponenty jsou popsány v dalších částech.

3.1 Podvozek

Podvozek je dodáván jako kit společností Freescale. Jedná se o Ackermanův podvozek osazený dvěma stejnosměrnými motory RN260-CN-18130 od společnosti Standard Motor[7], převodovkami, servem Futaba S-3010[6], koly s pneumatikami. Podvozek je celoodpružený (blok zadních kol, motorů a převodovek je pevně spojen a tento blok je pružnou spojkou spojen se zbytkem podvozku) a má zadní náhon.



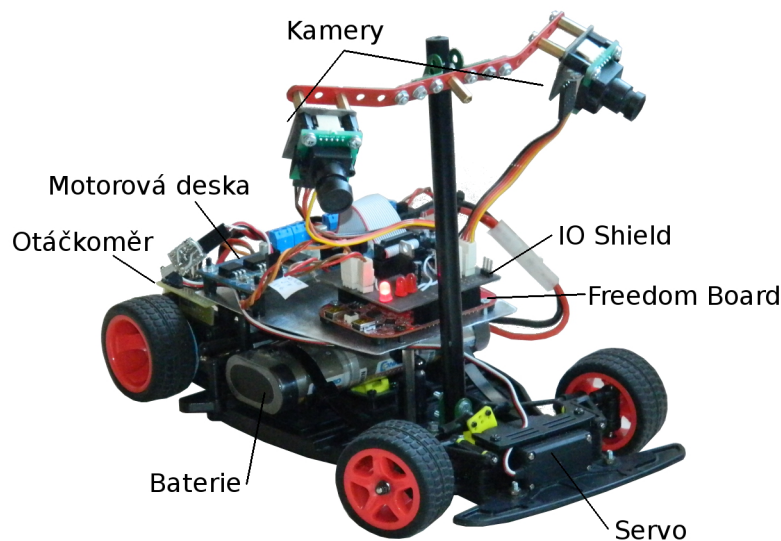
Obr. 3.1: Propojení elektrických komponent

Hlavním materiálem podvozku je plast ABS. Na něm je na distančních sloupcích umístěna deska z hliníkového plechu pro upevnění Motor Boardu 3.3 a Freedom Boardu 3.4. Na motorovém bloku jsou upevněny dva otáčkoměry (pro každé hnané kolo jeden). Přibližně ve třetině délky je upevněna laminátová tyč s konstrukcí pro kamery. Jejich závěs je vyroben ze stavebnice Merkur.

3.2 Kamery

Kamery, které jsem použil jsou součástí startovacího balíčku a jedná se o řádkové kamery s rozlišením 128x1 px[8]. K dispozici jsou kamery bez a s integrovaným předzesilovačem, po zkušenostech z letošního ročníku byly použity kamery bez předzesilovače a předzesilovač byl použit vlastní. Důvodem je změna optického čipu a nevalná kvalita integrovaného předzesilovače. Zásadní změnou na čipu kamery je použití SMT čipu oproti staršímu THT. Ten je širší a nižší, tudíž má horší světelné vlastnosti při stejné optice, která zůstala napříč verzemi zachována.

Schéma předzesilovače bylo převzato ze zapojení na Motor Driver Board od společnosti Freescale[9]. Ústředním prvkem je operační zesilovač MCP602 od společnosti Microchip[13]. Jedná se o zesilovač určený k optickým sensorům s rail-to-rail výstu-



Obr. 3.2: Celkový pohled na konstrukci

pem a maximální frekvencí 2,8 MHz. Zesilovače jsou zapojeny kaskádně s celkovým napětovým zesílením 4. Výsledné schéma je v příloze A.1.

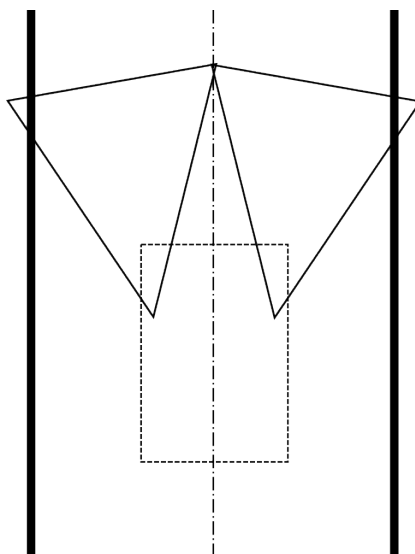
Kamery jsou spouštěny a časovány z mikrokontroléru, přičemž obraz se snímá během prvních 18 tiků hodinového signálu a předává se posuvnému registru, který jej s příchozími tiky vybavuje na výstup. Celý tento mechanismus je integrován do optického čipu.

Důležitým parametrem je amplituda signálu, která je závislá na saturaci CCD senzoru. Tato doba (a tím i intenzita signálu) se řídí frekvencí hodinového signálu. Jeho frekvence musí být v rozsahu 5 kHz až 8 MHz.

Signál je vzorkován AD převodníky integrovanými v mikrokontroléru. Jelikož tento model disponuje pouze jedním AD převodníkem 3.4, signály se snímají postupně.

Konstrukční rozložení kamer na závěsu je zobrazeno na obrázku Obr. 3.2.

Toto rozložení bylo navrženo na základě rozhodnutí sledování obou čar zároveň. To ovšem vedlo k nutnému kompromisu mezi šířkou závěsu, který nesmí být širší než 305 mm [12] a vychýlením kamer od podélné osy podvozku. Při této šířce však dochází k problémům s tuhostí konstrukce. Zvolené řešení je závěs široký 170 mm a kamery jsou vyhnuté o přibližně 10°. Toto rozložení při výšce 200 mm umožňuje sledovat při jízdě uprostřed dráhy oba kraje zároveň s přijatelnou mírou deformace obrazu kvůli odchylce kamer od osy jízdy. Jelikož jsou závěsy vyrobeny ze stavebnice Merkur, je změna všech úhlů snadnou úpravou vhodnou pro experimenty s nastavením.



Obr. 3.3: Schematické rozložení kamer

3.3 Motorová deska (Motor Board)

Motorová deska je hotový celek od společnosti Freescale[9] vyrobená společností Axiom. V konstrukci je použita revize 0. V současné době je k dispozici revize 1, která má jiné rozložení. Je totiž navržena jako Shield (Shield je obvyklé označení pro rozšiřující desky pro Arduino) a má více kanálů pro serva a kamery. Funkčně se ovšem nic nezměnilo.

Na této desce jsou osazeny budiče motorů[14] od společnosti Freescale. Jedná se o obvody určené k řízení malých stejnosměrných motorů s maximálním proudovým odběrem 5A. Má integrovanou ochranu proti zkratu a přehřátí a vyvedenou zpětnou vazbu proudu motory (pro každý motor zvlášť).

Dále na této desce je připravený předzesilovač pro kamery, který není použit z důvodu velkého rušení na desce. Poslední částí desky je vývod pro servo s vlastním napájením. Signálový kanál serva je z důvodu problémů při startu procesoru oddělen operačním zesilovačem s otevřenou zpětnou vazbou.

3.4 Freescale FRDM-K20D50M

Procesorová deska FRDM-K20D50M je vrcholný model z řady Freedom Board [3]. Je osazena procesorem z rodiny Kinetis, modelem K20DX128VLH5. Ten je postaven na jádře ARM Cortex M4 s taktem 50 MHz a je doplněn 128kB FLASH paměti, řadičem USB a digitálními a analogovými vstupy výstupy.

Dále je na desce druhý procesor s nainstalovaným OpenSDA pro vývoj a ladění, včetně emulace seriové linky.

Z periferií je na desce připraven tříosý akcelerometr MMA8451Q s komunikací po I²C, dotykový posuvný ovladač (nebo dvě dotyková tlačítka) a RGB LED. Rozložení IO na konektory je kompatibilní s rozložením Arduino R3[1], oproti kterému je ještě rozšířené o další piny (viz [5])

Výběr vlastností procesoru K20DX128VLH5:

- jádro Cortex-M4 s výkonem 1.25DMIPS/MHz s DSP instrukcemi,
- 128kB flash, 16kB FlexRAM,
- 16bit ADC, 12bit DAC,
- FlexTimer, Programable Delay Block, 4 Periodic Interrupt Timers,
- 5V tolerant GPIO.

3.5 IO Shield

Z důvodu minimalizace kabeláže a zpřehlednění konstrukce byl navržen IO Shield. Z něj je vyvedený konektor pro Motor Board, kamery, otáčkoměry, I²C a UART. Dále jsou na něm umístěna dvě tlačítka (Freedom Board má jen jedno fyzické tlačítko jenž je určeno pro reset), dvě říditelné LED, regulátor napětí pro napájení Freedom Boardu.

Výsledné schéma a rozložení desky je v příloze A.2 a na přiloženém CD B

4 ŘÍDÍCÍ SOFTWARE

4.1 Koncepce

Řídící software je koncipován do čtyř částí:

- řídicí logika,
- zpracování obrazu,
- řízení pohonů,
- obsluha periferií.

4.2 Řídící logika

Řídící logika v současné době je bez možnosti řízení rychlosti a jedná se pouze o přímý přenos údajů ze zpracování obrazu na zatačení.

4.3 Zpracování obrazu

Vzorkování obrazu se spouští synchronně s hranou hodin kamer. V přerušovací rutině AD převodníků se signál ukládá do pole o délce 256 (px). Po doběhnutí čtení se spustí zpracování obrazu a po jeho dokončení se spustí nové čtení dat z kamer.

4.3.1 Knihovna image-processing

Pro zpracování obrazu byla napsána knihovna image-processing, která se zabývá zpracováním signálu z kamer. Je navázána na ostatní části programu přes globální proměnné z důvodu zrychlení přístupu k datům. Je složena z několika částí:

- funkce image-processing,
- funkce brightness,
- funkce findEdge,
- podpůrné funkce.

Nyní popíšu funkci jednotlivých funkcí.

Funkce image-processing

Tato funkce slouží pro volání dalších funkcí. V jejím těle je pouze seznam funkcí, které se postupně provedou.

Funkce brightness

Tato funkce zajišťuje dynamické ladění jasu kamer úpravou jejich frekvence. Algoritmus nejprve najde maximální hodnotu, kterou porovná s hranicemi (minimální hodnota je 200 a maximální 210) a na základě tohoto porovnání frekvenci buď sníží nebo zvýší. Změna frekvence je dána násobením konstantou 0,9 a 1,1.

Funkce findEdge

Tato funkce hledá typické vzory v obrazu. To je řešeno výpočtem průměrné hodnoty z obrazu pro nastavení rozhodovací úrovně, hledáním dvou nejdelších, po sobě jdoucích úseků s hodnotami vyšší než rozhodovací úroveň a následným výpočtem okrajů dráhy a jejího středu.

V další verzi této knihovny (není obsahem této práce) bude toto řešení nahrazeno Sobelovým operátorem pro hledání hran, bude doplněna práce se staršími daty (porovnání změny polohy hrany v obrazu mezi snímky) a bude zdokonalena odolnost vůči různým světelným podmínkám.

Podpůrné funkce

Mezi podpůrné funkce patří výpočet průměrné hodnoty z pole jasů a hledání maximální hodnoty v poli jasů.

4.4 Řízení pohonů

V celé konstrukci jsou tři pohony. Dva stejnosměrné komutátorové elektromotory, a jeden modelářský servopohon.

4.4.1 Řízení elektromotorů

Elektromotory jsou řízené nezávisle a obousměrně pomocí PWM. Frekvence PWM je nastavena na 1 kHz a je rozdělena na 100 dílků na periodu. Výkon jde tedy řídit od 0% do 100% s krokem 1%.

4.4.2 Řízení servomotoru

Servomotor (dále jen servo) je řízen frekvenční nebo PWM modulací, ale na rozdíl od řízení motorů má servo vlastní nezávislou polohovou zpětnou vazbu a PWM pouze udává informaci o poloze.

Poloha je určena střídou vstupního signálu, respektive délkou kladného pulzu. Běžně udávaná frekvence vstupního signálu je 50 Hz, tedy perioda 20 ms. Povolené délky

kladného pulzu jsou 1 ms pro plné natočení vlevo, 2 ms pro plné natočení vpravo. Přechod mezi nimi je proporcionální. Hodnoty mimo tento rozsah mohou v dlouhodobém měřítku způsobit zničení serva, protože se řídicí logika serva bude snažit dostat mimo fyzicky možný rozsah natočení. Tento neduh je odstraněn u digitálních serv, která jsou ovšem v této soutěži zakázána.

V konstrukci bylo použito frekvenční řízení s pevnou střídou 1:20 a proměnlivou frekvencí v rozsahu 50 až 80 Hz.

4.4.3 Algoritmy

Algoritmus řízení motorů je proveden pomocí jednoho časovače (byl použit modul PIT), který běží na frekvenci 70 kHz. Průběh přerušovací rutiny je následující:

1. Kontrola přetečení maxima PWM (tj. hodnota proměnné musí být menší než 100, jinak se vynuluje a výstupy se nastaví na H).
2. Kontrola přetečení limitu prvního motoru. Když přeteče, nastaví se jeho výstup na L, když ne, nic se neděje.
3. Kontrola přetečení limitu druhého motoru. Když přeteče, nastaví se jeho výstup na L, když ne, nic se neděje.
4. Inkrementace kroku PWM.

V části nastavení výstupů je ještě test na zápornost a na jeho základě se vybere výstup pro jízdu vpřed nebo couvání.

Algoritmus řízení serva je proveden pomocí dalšího modulu PIT, který běží s proměnlivou frekvencí od 50 do 80 Hz. V jeho přerušovací rutině je toto:

1. Kontrola přetečení maxima serva (tj. hodnota proměnné musí být menší než 20, jinak se vynuluje a výstup se nastaví na H. Zároveň se z nastaví nová hodnota frekvence časovače.)
2. Kontrola počítadla na přetečení jedničky. Když přeteče, nastaví se jeho výstup na L, když ne, nic se neděje.
3. Inkrementace kroku serva.

Všechny limitní proměnné jsou externí a volatilní, z důvodu zkrácení přístupové doby k nim a tudíž vynechání zbytečných funkčních volání. Například pro zatačení je vytvořena funkce, která kromě hlídání rozsahu vstupního parametru jej převede převodní funkcí pro zanesení nelinearity do průběhu zatačení (převodní nelineární funkce bude doplněna v další verzi).

4.5 Obsluha periférií

Byla použita knihovna pro práci s akcelerometrem MMA8451Q. Sběr dat z něj probíhá cyklicky v hlavní smyčce. Vzápětí se kontroluje, jestli složka x překoná hranici 100 což je ekvivalentem 6,25 G. Při tomto nebo větším přetížení se vypnou motory jako ochrana při nárazu při ladění.

Dalšími perifériemi použitými při ladění je dotyková plocha využitá jako dvě tlačítka, na která spouští vypsání aktuální obraz z kamer, vypočítanou polohu středu dráhy a hodnotu akcelerometru.

Další připravené, ale nepoužité periferie, jsou zpětné vazby od můstků pro hlídání proudu motory. Může být použito jako ochrana motorů proti přetížení.

V konstrukci jsou připraveny dva snímače otáček, ale do programu nebyly ještě zaneseny.

4.6 Vývojové prostředí CodeWarrior

Celý software byl psán ve vývojovém prostředí CodeWarrior od společnosti Freescale. Toto prostředí je pouze pro prostředí Microsoft Windows a je postavené na platformě Eclipse. Byla použita verze 10.5. Vzhledem k nezaručitelné kompatibilitě mezi verzemi doporučuji otevírat projekt pouze v této verzi.

5 ZÁVĚR

5.1 Konstrukce

Z konstrukčního hlediska bylo zadání vyřešeno beze zbytku. Mnou navržená konstrukce plní požadovanou funkci a dle dosavadního testování funguje jak má. Zároveň to vypadá, že je i optimálněji vyřešeno rozložení hmotnosti oproti předchozí konstrukci, kde byla většina hmotnosti na přední nápravě a nyní je hmotnost umístěna rovnoměrně mezi obě nápravy. Toto tvrzení bude potvrzeno až při testech na závodních algoritmech. Další vylepšení oproti předchozí verzi je odlehčení celé konstrukce.

5.2 Software

Zadáním bylo projet zatáčku. To se podařilo splnit z části. Mnou navržené algoritmy fungují pouze do určité rychlosti (aktuálně to je do 30% výkonu). Problém je hlavně v nemožnosti rozpoznat okrajovou čáru od "ducha" (stín, hrana dráhy, lokálně zvýšená intenzita světla). Tyto neduhy by mělo odstranit navržené řešení pro příští verzi. Pokud se ovšem splní podmínky pro současnou verzi ohledně osvětlení (homogenní umělé osvětlení, výkon motorů do 30%), je velká šance, že se podaří několik zatáček projet. Ovšem tato šance zatím není stoprocentní.

LITERATURA

- [1] Arduino R3 Layout. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z URL: <http://fos.cmb.ac.lk/esl/wp-content/uploads/2013/05/arduino_unoR3_drawing_1000x703.jpg>.
- [2] MOLČÁNY, Peter. *Systém sledování trasy pro autonomní vozidlo*. Brno, 2012/2013. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=66304>. Bakalářská práce. VUT v Brně, UAMT. Vedoucí práce Ing. Petr Petyovský.
- [3] FRDM-K20D50M: Freescale Freedom Development Platform for the Kinetis K20 USB MCUs. FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale Semiconductor* [online]. 2004-2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=FRDM-K20D50M>
- [4] K20_50: Kinetis K20 USB 50 MHz MCUs. FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale Semiconductor* [online]. 2004-2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=K20_50&lang_cd=en&webpageId=132640824971271726DDA7&nodeId=01624698C9DE2DDDA7&fromPage=tax>
- [5] Input/Output Connectors. In: *FRDM-K20D50M User's Manual* [online]. 2013-03-29, s. 16 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/user_guide/FRDM-K20D50MUM.pdf?fasp=1&Parent_nodeId=1361980019479724495336&Parent_pageType=product>
- [6] Futaba S-3010. In: *Futaba S-3010* [online]. 2012-07-12 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <<https://community.freescale.com/docs/DOC-1075>>
- [7] Freescale Cup DC Motor. In: *Freescale Cup DC Motor* [online]. 2012-09-10 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <<https://community.freescale.com/docs/DOC-93309>>
- [8] Line Scan Camera Use. *Line Scan Camera Use* [online]. 2012-07-12 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <<https://community.freescale.com/docs/DOC-1030>>
- [9] Freescale Cup Motor Driver Board. FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale Cup Motor Driver Board* [online]. 2012-07-12 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <<https://community.freescale.com/docs/DOC-1059>>
- [10] The Freescale Cup Knowledge Center. FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale Community* [online]. 2012-07-26, 2014-02-18 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <<https://community.freescale.com/docs/DOC-1284>>

- [11] Freescale Cup Race Track Details. FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale Community* [online]. 2012-07-17, 2013-12-12 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <<https://community.freescale.com/docs/DOC-1092>>
- [12] 2014 Freescale Cup Global Rules. FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale Community* [online]. 2013-12-04, 2013-12-13 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <<https://community.freescale.com/docs/DOC-98806>>
- [13] MCP602 - MICROCHIP. In: *MCP602* [online]. 2000 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=MCP602>>
- [14] MC33931: 5.0 A Throttle Control H-Bridge. FREESCALE. *Freescale* [online]. 10/2012 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://cache.freescale.com/files/analog/doc/data_sheet/MC33931.pdf>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

SMT povrchová montáž - Surface Mount Technology

THT drátové vývody - Through-hole Technology

CCD Charge-coupled Device

V Volt

A Amper

Ah amper hodina

Hz Hertz

TFC The Freescale Cup

AD Analog-Digital Converter - Analogově-Digitální převodník

Shield Obchodní název přídatných desek pro Arduino. Typickým znakem jsou 4 konektory pro připojení k Arduino.

PWM Pulse-Width modulation - Pulzně šířková modulace.

PIT Periodic Interrupt Timer - Periodický přerušovací časovač, modul procesoru

H High - Vysoká logická úroveň, Logická 1

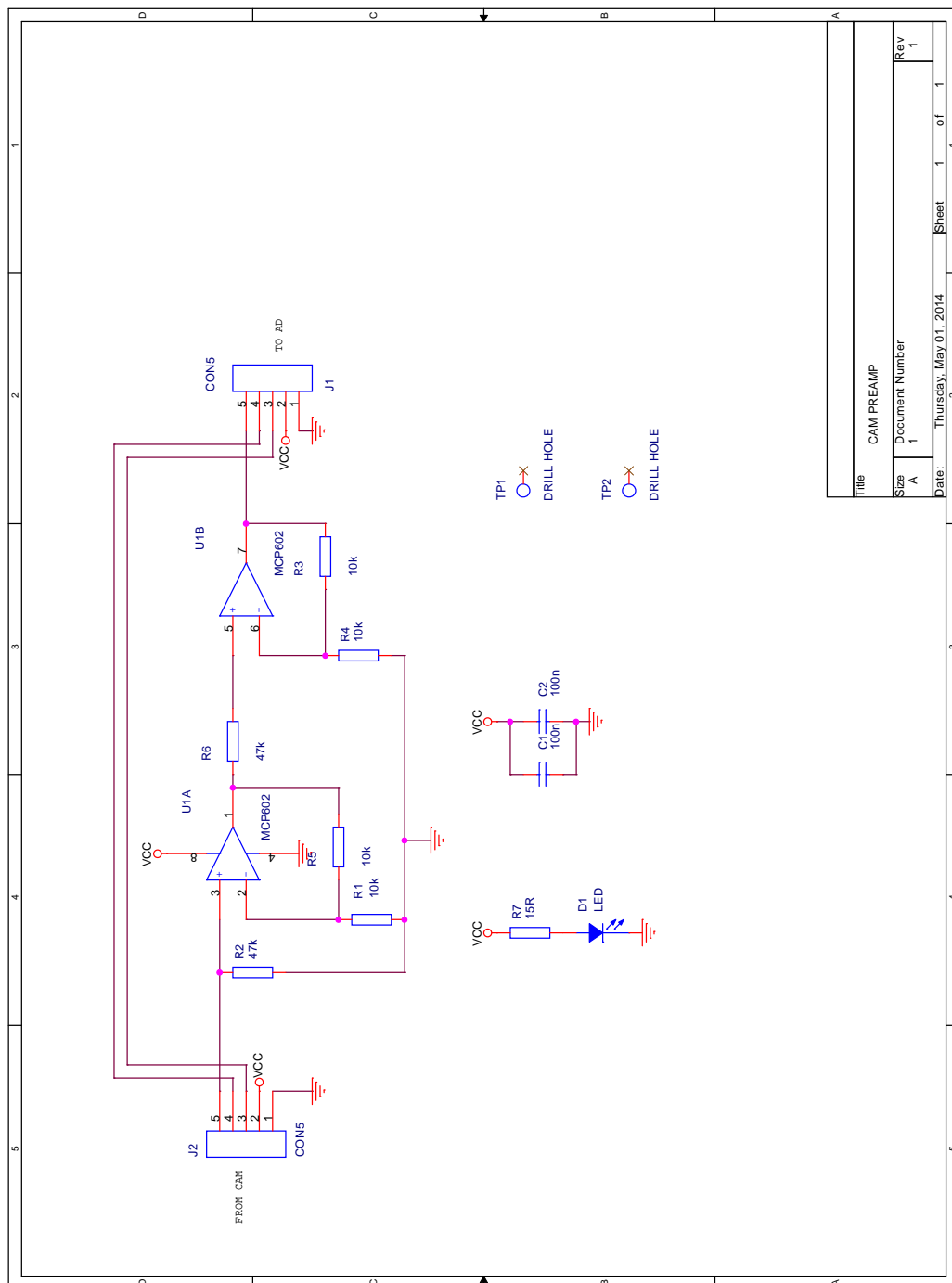
L Low - Nízká logická úroveň, Logická 0

SEZNAM PŘÍLOH

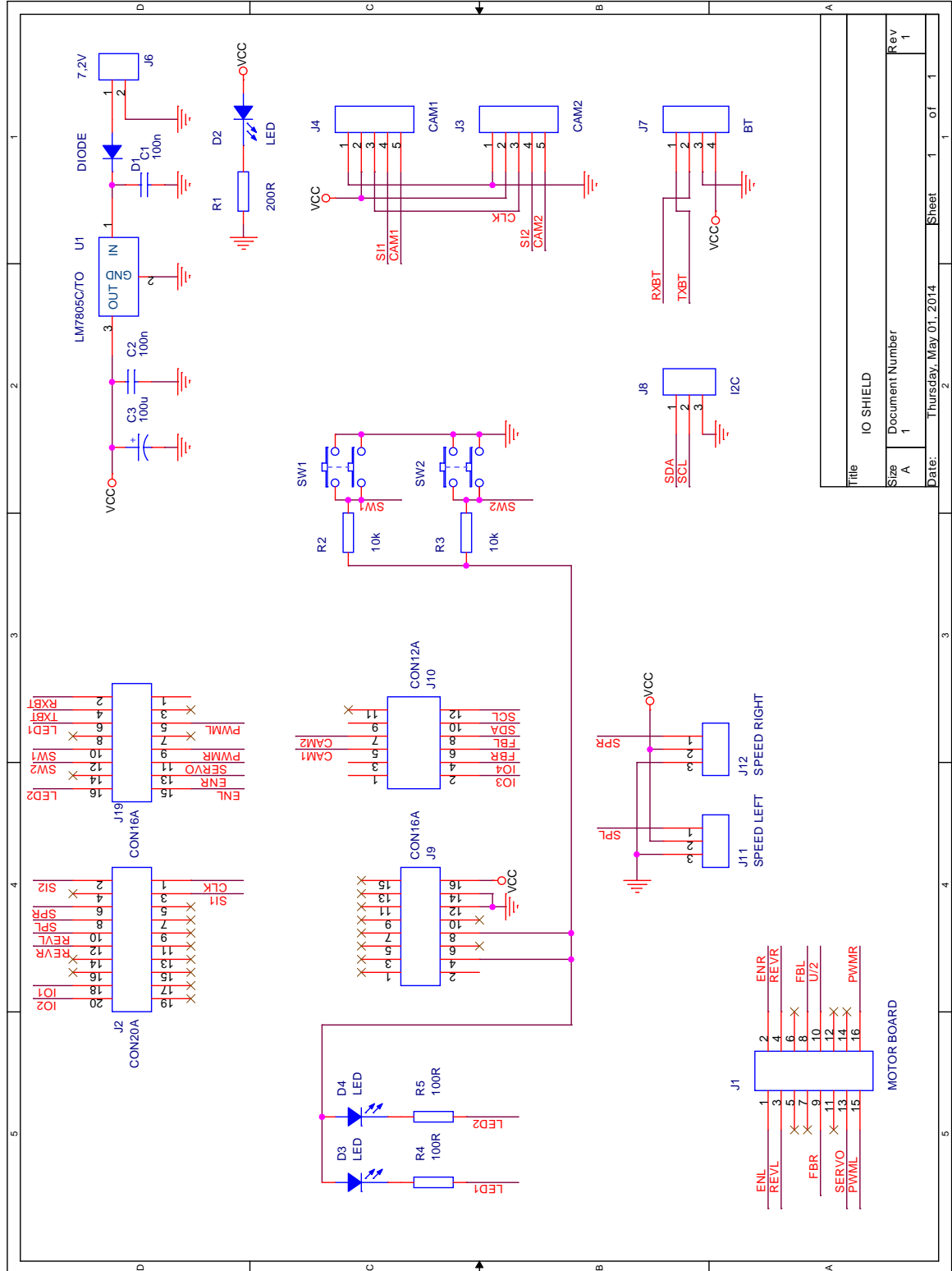
A	Použitá schémata	24
A.1	Schéma předzesilovače	24
A.2	Schéma IO Shieldu	25
B	Přílohy na CD	26

A POUŽITÁ SCHÉMATA

A.1 Schéma předzesilovače



A.2 Schéma IO Shieldu



Title		IO SHIELD	
Size	Document Number	Rev	
A	1	1	
Date:	Thursday, May 01, 2014	Sheet	1 of 1

B PŘÍLOHY NA CD

- AROS2.pdf - Tato dokumentace
- PCB/CAM_PREAMP - OrCAD soubory obvodů předzesilovače
- PCB/SHIELD - OrCAD soubory Shieldu
- DOCS/FRDM-K20D50M_SCH.pdf - Schema Freedom Boardu
- DOCS/FRDM-K20D50MUM.pdf - Manuál k Freedom Boardu
- DOCS/K20P64M50SF0RM.pdf - Datasheet procesoru Kinetis K20
- DOCS/MOTOR_DRIVE_REV_A.pdf - Schema Motor Boardu
- SRC/baremetal_sc - projektové soubory pro CW 10.5
- FOTO - fotodokumentace a video z testu