

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Řízení autonomního autíčka

Autor práce: Jana Zahrádková

Vedoucí práce: Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.

Plzeň 2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jana ZAHŘÁDKOVÁ**
Osobní číslo: **E12B0378P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Řízení autonomního autíčka**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s technickými podmínkami závodu Freescale Cup 2015.
2. Analyzujte současný stav vozidla určeného pro tento závod jak po hardwarové, tak i po softwarové stránce.
3. Navrhněte změny směřující k vylepšení jízdních vlastností vozidla. Změny se mohou týkat jak hardwarového, tak i softwarového vybavení.
4. Navržené řešení realizujte.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Studentka si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o soutěžním modelu programovatelného autíčka. Model byl konstruován pro soutěž Freescale Cup v letech 2014 a 2015. Zaměření práce je především na současnou verzi modelu, která je optimalizována pro pravidla z roku 2015. V práci je rozebráno hardwarové i softwarové zpracování v obou letech a konzultována efektivnost jednotlivých řešení. Úspěšné zpracování modelu reflektují dosažené úspěchy v soutěži, které jsou uvedeny na konci práce.

Klíčová slova

Freescale Semiconductor, Freescale Cup, mikrokontrolér 32-bit, line scan kamera

Abstract

This bachelor thesis discusses model of a car constructed for Freescale Cup competition in 2014 and 2015. It mainly focuses on the actual version which was created for 2015 rules. Hardware and software solutions from both years are compared and their effectivity is discussed. Achievements in the competition reflect successful elaboration of the model. Summary of all the received prizes is at the end of this thesis.

Keywords

Freescale Semiconductor, Freescale Cup, microcontroller 32-bit, line scan camera

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce 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 uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 3.6.2015

.....

Jana Zahrádková

Obsah

Úvod	1
1 Pravidla 2014	2
2 Pravidla 2015	4
3 Zpracování 2014.....	5
3.1 Hardware 2014.....	5
3.2 Software 2014	6
4 Zpracování 2015.....	8
4.1 Hardware 2015.....	8
4.2 Klasifikace hardwaru	10
4.2.1 Mikroprocesor a vývojová deska.....	10
4.2.2 Kamera	10
4.2.3 Čidlo otáček a detekce cíle	10
4.2.4 Čidlo vzdálenosti.....	11
4.3 Software 2015	11
4.3.1 Hlavní smyčka programu	12
4.3.2 Podprogram Hledej čáry.....	14
4.3.3 Podprogram Nastav ISO.....	15
4.3.4 Podprogram PD servo.....	15
4.3.5 Podprogram Dej motorum R a L.....	15
4.3.6 Interrupt pro detekci cíle	15
4.3.7 Interrupt timeru.....	16
4.3.8 Interrupt pro čidla otáček.....	16
5 Ověření stávajícího řešení	17
6 Dosažené úspěchy	18

7	Závěr	19
	Informační zdroje a literatura	20
	Příloha A – Schéma zapojení.....	21
	Příloha B – Desky plošných spojů.....	22

Úvod

Cílem bakalářské práce je návrh a praktická realizace modelu automobilu jak po hardwarové tak softwarové stránce pro účast v soutěži Freescale Cup.

Freescale Cup je celosvětová soutěž pořádaná firmou Freescale Semiconductor, která se letos koná již čtvrtým rokem. Úkolem soutěžních týmů z vysokých škol je navrhnout a sestrojít autonomní model automobilu, který bude naváděn optickým senzorem po trati vymezené dvěma černými čarami po stranách. Jednotlivé parametry trati jsou předem známy, výsledná podoba závodní trati však ne.

Při návrhu výsledné podoby modelu je nutno brát v potaz například okolní světelné podmínky, materiál závodní dráhy či polohu kamery. Každý hardwarový i softwarový zásah s sebou nese dodatečné požadavky na úpravu. Současné řešení se ukázalo být dostatečně spolehlivé na to, aby zajelo pátý nejrychlejší čas v evropském kole této soutěže.

Práce je celkem rozdělena do sedmi kapitol. První a druhá kapitola krátce shrnují pravidla soutěže v letech 2014 a 2015, bez jejichž dodržení může dojít k diskvalifikaci či penalizaci soutěžního týmu. Třetí kapitola obsahuje náhled na hardwarové a softwarové řešení modelu z roku 2014 a čtvrtá podrobně popisuje stejný problém z následujícího roku včetně důležitých parametrů jednotlivých hardwarových komponentů. Pátá kapitola ověřuje funkčnost stávajícího zpracování a šestá shrnuje dosažené úspěchy z obou ročníků soutěže. Závěr práce a zhodnocení výsledků jsou obsaženy v kapitole sedmé.

1 Pravidla 2014

Pravidla z roku 2014 [1] obsahují celkem 16 částí. Shrnuty budou pouze nejdůležitější části, které vystihují hlavní myšlenku celého závodu.

Část dvě obsahuje pravidla pro sestavení závodních týmů. Tyto týmy musí obsahovat dva až čtyři studenty bakalářského studia nebo jednoho studenta magisterského studia a nejméně dva studia bakalářského. Tímto způsobem je zajištěna celková vědomostní vyváženost všech soutěžících týmů. Samozřejmostí také je, že soutěž Freescale Cup je určena výhradně studentům a musí být tedy prezentována pouze jejich práce.

Část tři je jednou z nejdůležitějších, stanovuje totiž mechanické a elektronické požadavky na výsledný model. Autíčko musí být sestaveno ze základní soupravy, jejíž podoba se nesmí nijak měnit. Souprava obsahuje: vývojovou desku s mikrokontrolérem Freescale 32bit, desku s H můstky, čtyři pneumatiky, stejnosměrné motory, servo motory, základní model automobilu a kameru jako optický snímač. Pro napájení modelu smí být použita pouze jedna baterie, která je limitována kapacitou 3000 mAh a napětím 7,2 V. Model je taktéž limitován svými rozměry, tedy výškou (305 mm), délkou (400 mm) a šířkou (250 mm).

Elektronické požadavky vymezují možnost použití pouze jednoho mikroprocesoru, s čímž souvisí i navádění modelu optickým senzorem (pro toto řešení byla využita line scan kamera se 128 pixelovým CMOS snímačem, která byla součástí základní soupravy). Optický senzor samotný nesmí používat jakoukoliv jednotku pro zpracování obrazu pro lokalizaci, polarizaci, automatické nastavení kontrastu či zaostřování. Kompresi samotného obrazu a použití A/D převodníku na výstupu je však povoleno. Maximální konečný součet všech použitých kapacitorů na modelu nesmí přesáhnout hodnotu 2 mF. Celkový počet použitých senzorů není omezen.

Části pět a sedm se věnují zkušebním jízdám před samotným závodem, které zajišťují adaptování autíčka na konkrétní světelné podmínky při závodu, a inspekci vozidla před samotným vyjetím na závodní okruh. Při této inspekci jsou u modelu zkontrolovány rozměry a posouzeno, zda elektronický návrh není v rozporu s pravidly.

Desátá část definuje případy, při kterých je soutěžní tým diskvalifikován, nebo je jeho pokus označen za neúspěšný. Všechny případy jsou shrnuty v následujících bodech:

- Model musí opustit startovní čáru do třiceti sekund po zahájení závodu (penalizace jedné sekundy v případě nesplnění)
- Model nezastaví do tří metrů po projetí cílovou čarou (penalizace jedné sekundy v případě nesplnění)
- Jedno či více kol vyjede ze závodní dráhy (neúspěšný pokus)
- Závodní tým není připraven do dvou minut od jeho vyvolání (neúspěšný pokus)
- Model neprojde celou závodní trať v čase kratším než 120 sekund (neúspěšný pokus)
- Přídavná světelná zařízení podél trati (diskvalifikace)
- Dojde k hardwarové či softwarové změně po začátku závodu – kromě výměny baterie (diskvalifikace)
- Více než jeden člen týmu se nachází v závodní oblasti (diskvalifikace)
- Soutěžící vykazují chování, které by mohlo zasahovat do pohybu auta po dráze (diskvalifikace)
- Soutěžící záměrně manipulují s autem při jeho pohybu na závodní dráze mezi startovní a cílovou čarou (diskvalifikace)
- Jakékoliv podvádění během soutěže (diskvalifikace)
- Nesplnění parametrů při technické inspekci (diskvalifikace)

Každý závodní tým musí zároveň k výslednému závodnímu modelu vypracovat i technickou zprávu, jejíž parametry jsou popsány ve čtrnácté části.

Předposlední patnáctá část velmi přesně definuje parametry jednotlivých částí závodní trati. Šířka je omezena minimální hodnotou 600 mm, v článku je taktéž obsažen nástin materiálu, ze kterého je trať vyrobena. Šířka čar, výška kopce, podoba startu/cíle a poloměr otáček jsou též stanoveny.

Kvalifikační závody se odehrávají celkem v 9 kolech po celé Evropě. Soutěžící se vždy snaží dosáhnout co nejrychlejšího času projetí závodní dráhy v jednom ze tří pokusů (první platný pokus se počítá).

2 Pravidla 2015

Oproti předchozím pravidlům jsou ta současná [2] značně pozměněna a jasněji stanovena. Obsahují 13 článků a jejich hlavní změny budou obsaženy v této kapitole.

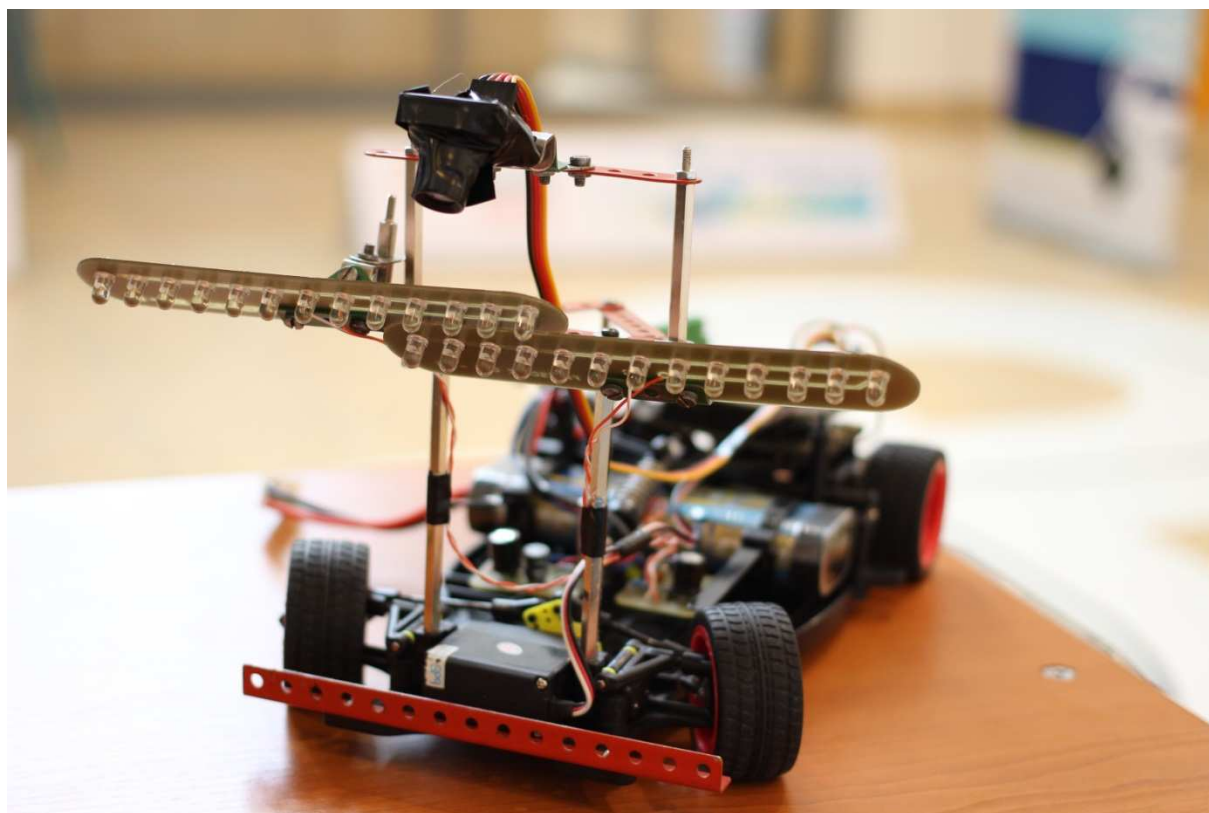
Požadavky na sestavení týmů zůstaly téměř stejné, je ale vymezen maximální počet tří studentů v jednom soutěžním týmu.

Mechanické vybavení modelů se nezměnilo. S přihlédnutím k tomu, že ve čtvrtém ročníku soutěže se závodí na dráze, která je vymezena dvěma stejnými černými čarami po stranách, přibily požadavky na elektronickou část zpracování. Maximální kapacita všech použitých kondenzátorů nesmí přesáhnout hodnotu 2 mF a jejich nejvyšší napájecí napětí nesmí překročit 25 V. V tomto ročníku je možno použít větší počet kamer k navádění modelu, celkově však maximálně 16 senzorů.

Článek sedm opět velmi přesně definuje, kdy model musí opustit startovní čáru, aby nedošlo k diskvalifikaci celého týmu, případně jaké úpravy je ještě možné těsně před závodem na autě provést.

Diskvalifikace, penalizace a neúspěch při projetí závodní trati jsou zaznamenány v článku 10. Malá změna nastala v zastavení auta za cílovou čarou, kdy nyní musí model zastavit již do dvou metrů od cíle. Za neúspěšný pokus je považováno vyjetí modelu z dráhy třemi a více koly.

3 Zpracování 2014

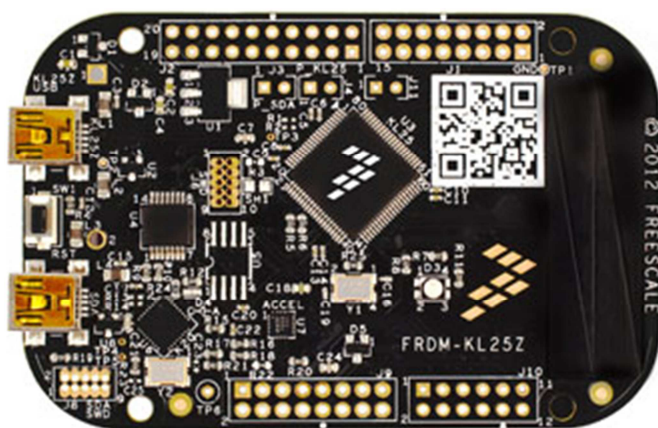


Obr. 1: Model z roku 2014

Hlavní inspirací pro návrh podoby modelu byly především konkurenční modely z předchozích let. Při návrhu softwarového řešení bylo čerpáno z instruktážních videí firmy Freescale Semiconductor a z vlastních nápadů a zkušeností. Všechny úpravy byly provedeny v rámci soutěžního týmu, není-li uvedeno jinak.

3.1 Hardware 2014

Základem celého modelu je stavebnice Freescale, kterou po přihlášení do soutěže zakoupí každý tým. Ta obsahuje všechny základní prvky pro úspěšné řízení modelu, je však možno ji vylepšovat. Hlavní částí je bezpochyby automobilový podvozek vyrobený z tvrdého plastu, který nese všechny ovládací prvky. Dále je přiloženo několik jednotlivých dílů a částí, jako jsou 4 kola a šroubky pro jejich uchycení či malé kousky plastu k dotvoření základního modelu. Součástí je samozřejmě i CMOS kamera o rozlišení 128 pixelů jako optický snímač, vývojová deska FRDM-KL25Z s mikroprocesorem, deska s H-můstky pro řízení motorů a i samotné DC motory, které pohánějí zadní kola. Řízení předních kol probíhá pomocí servo motoru vpředu. Baterie je pořízována samostatně a je limitována kapacitou dle pravidel.



Obr. 2: Vývojová deska FRDM-KL25Z (převzato a upraveno z [8])

Již při samotném začátku softwarové realizace bylo zjištěno, že bude potřeba stabilizovat výstup kamery. Ta byla velmi citlivá na změnu světelných podmínek a i přechod ze světla do stínu dokázal otřást celým softwarovým řešením. Pro tyto účely bylo použito celkem 26 červených LED umístěných v řadě, které byly opatřeny dvěma step up měniči kvůli potřebnému vysokému napájecímu napětí diod. Toto řešení se ukázalo být celkem spolehlivé a dokázalo odstranit větší problémy s osvětlením.

K uchycení kamery a přídavného osvětlení sloužily distanční sloupky a části stavebnice Merkur, která zajistila stabilitu celé konstrukce.

Jediným přidaným senzorem byla infračervená závora z fototranzistoru a LED diody na obou zadních kolech. Ta sloužila spolu s odraznou plochou na kolech jako čidlo otáček a tedy i rychlosti.

V tomto roce na modelu nebyly použity žádné jiné senzory a úspěšné projetí trati tak záviselo hlavně na správném zpracování výstupu kamery.

3.2 Software 2014

Mikrokontrolér je naprogramován v jazyce C v programu CodeWarrior. Jako hlavní kostra programu byla použita volně přístupná verze od firmy Freescale Semiconductor určená právě k tomuto účelu. Pro analýzu a následné zpracování dat z kamery bylo použito programu Labview.

Klíčovým bodem celého softwarového řešení je správné vyhodnocení výstupu kamery a natočení servo motoru. Kamera se 128 pixely v řadě není schopna rozlišovat barvy. Jejím výstupem je rozdíl intenzit dopadajícího světla na čip, kdy intenzita odraženého světla od bílé části dráhy je znatelně vyšší než od černé čáry po stranách. V případě špatného čtení čáry či delší nečinnosti, například z důvodu vyjetí z trati, byly H můstky vypnuty a auto se setrvačností zastavilo.

Samotná regulace rychlosti byla provedena pomocí PD regulátoru, který počítal se základní rychlostí, od níž byla odečítána z čidel rychlosti rychlost aktuální. Základní rychlost mohla být zvolena pomocí potenciometru.

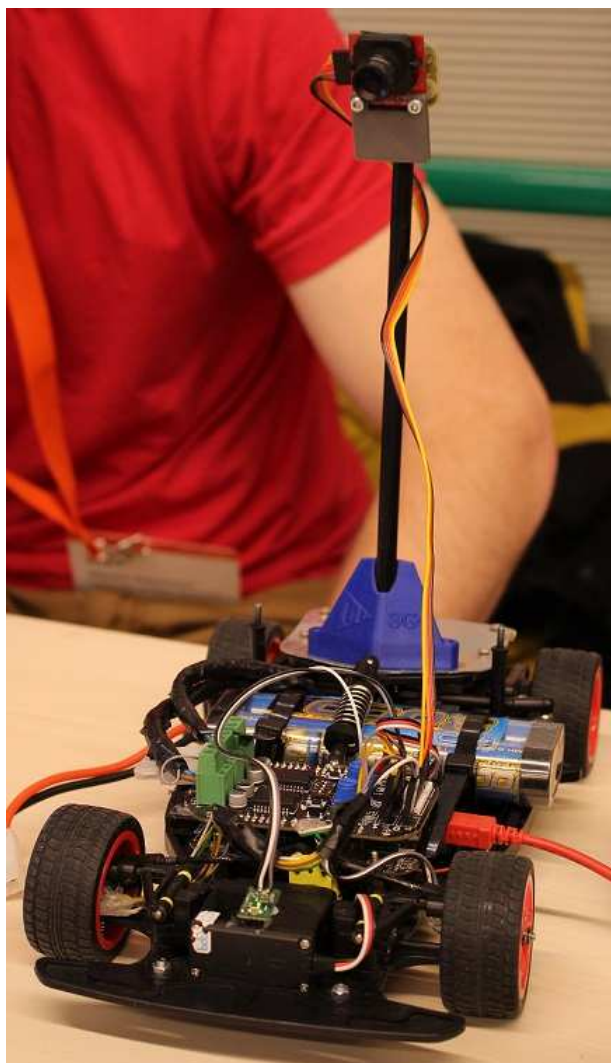
Pro vyhlazení okrajových částí výstupu kamery po zpracování A/D převodníkem bylo použito filtru, jehož vyvolání je čistě na uživateli. V případě zmáčknutí tlačítka a přidržení kamery nad bílou plochou se nastaví tato hodnota jako referenční bílá barva a je zajištěno platné vyhodnocení čáry za daných světelných podmínek, případně eliminace nečistot na trati.

Vývojová deska s H můstky je taktéž opatřena DIP přepínačem, ve kterém se na celkem čtyřech přepínačích může předvolit až šestnáct režimů jízdy. Řešení pro rok 2014 používalo celkem tři režimy.

Prvním režimem byl základní režim jízdy, který vyhodnocoval data na výstupu kamery, určoval pozici černé čáry a pomocí PD regulátoru upravoval rychlost a natočení kol v zatáčkách. Druhý režim sloužil ke komunikaci přes sériový port a poslední zajišťoval nastavení rychlosti motoru pomocí potenciometru.

4 Zpracování 2015

V roce 2015 byl již návrh modelu více hardwarově i softwarově propracovanější. Závod v Žilině a porovnání našeho řešení s ostatními bylo klíčové pro jeho přepracování a přidání nových prvků. Zároveň také došlo k výrazné změně pravidel, kdy je model navigován dvěma čarami na okraji dráhy, což se samozřejmě výrazně odrazilo na celkovém řešení.



Obr. 3: Model z roku 2015

4.1 Hardware 2015

Hlavní konstrukce modelu zůstala neporušena. Opět bylo využito základní soupravy firmy Freescale a všech jejích částí. Navíc bylo přidáno několik druhů senzorů, které výrazně vylepšily jízdní vlastnosti vozidla. Provedené změny byly navrženy v soutěžním týmu, není-li uvedeno jinak.

Namísto přídavného osvětlení vpředu modelu byl v rámci týmu navržen zesilovací obvod na výstup kamery, který má za úkol snížit expoziční čas až na 5 ms. (Jeho schéma a osazovací výkres jsou obsaženy v přílohách A a B.) K tomuto účelu je použit operační zesilovač spolu s trimrem, aby bylo možné expoziční čas libovolně měnit. Použitý rail-to-rail zesilovač dokáže daleko efektivněji využít napájecí napětí a pro toto řešení je tedy nejvýhodnější. Samotná kamera je pak upevněna na sloupku z tvrdého plastu pomocí dvou komponentů, které byly vytisknuty na 3D tiskárně. Návrhy komponentů byly vytvořeny dle předlohy panem Ing. Jindřichem Křivkou právě pro tento účel. V případě dostatečného venkovního osvětlení je možné zesilovač odebrat tak, aby nezpůsobil přeexponování výstupu kamery.

Vzhledem k dobrým výsledkům na dráze byla kamera umístěna na sloupek mezi zadní kola, neboť spolehlivěji detekuje přicházející zatáčku a vozidlo je schopno rychleji a efektivněji dráhu projet. Při řešení bylo uvažováno taktéž použití dvou kamer. Z důvodu náročného zpracování jejich výstupů a prodloužení doby vyhodnocení bylo toho řešení zavrhnuto.

Dále bylo nutné zabezpečit, aby auto zastavilo do dvou metrů po projetí cílové čáry. Ze spodní části vozu z obou stran je umístěna infračervená závora v podobě fototranzistoru a LED diody. Prostorové rozložení těchto senzorů bylo voleno tak, aby dokázaly spolehlivě detekovat cíl za jakýchkoliv podmínek. Při použití těchto čidel došlo k problému s elektromagnetickou kompatibilitou. Tato závada byla částečně odstraněna stíněním v podobě alobalového obalu čidel, z větší části pak softwarovým řešením.

Na stejném principu jsou založena i čidla otáček nově umístěna na předních kolech. Umístění na přední kola bylo stěžejní z důvodu případného prokluzování zadních kol při rozjezdu a v zatáčkách. Oproti předchozímu řešení byl změněn samotný odrazný materiál za obyčejný papír s černými a bílými pruhy, čímž se stal senzor daleko odolnějším proti dopadajícímu dennímu světlu.

Posledním přidaným čidlem je čidlo vzdálenosti. To je umístěno v přední části vozu tak, aby bylo schopno předem detekovat nadcházející kopec, ale zároveň nebylo rušeno jinými nerovnostmi na dráze. Červená LED dioda vpředu indikuje, zda se před autem nenachází překážka a to až do vzdálenosti 30 cm (výsledná vzdálenost závisí na mnoha faktorech jako odrazivosti materiálu, velikosti objektu či okolních světelných podmínkách). Senzor je vysokofrekvenční 38kHz IR závora spojenou s detekční diodou a oscilátorem, který zajišťuje činnost LED.

Původním záměrem bylo k účelu detekování kopce použít akcelerometr, který je součástí vývojové desky Freescale. Ten ovšem detekoval i malé nerovnosti, které jsou součástí dráhy, a tento vliv se nepodařilo dokonale softwarově eliminovat. Výsledky na dráze s čidlem vzdálenosti nakonec ukázaly, že výsledná detekce kopce z akcelerometru by nebyla dostatečně rychlá, aby dokázala včas softwarově zareagovat změnou rychlosti. Z toho důvodu byl nakonec akcelerometr nahrazen čidlem vzdálenosti, u kterého detekce nerovností závisí pouze na jeho vhodném natočení.

4.2 Klasifikace hardwaru

Pro správnou činnost jednotlivých hardwarových prvků je nutno znát jejich technické specifikace a dbát jich. Stěžejní parametry jsou vyzdvihnuty v následujících podkapitolách.

4.2.1 Mikroprocesor a vývojová deska

Časovač mikroprocesoru [3] je řízen přesným krystalem s frekvencí 48 MHz. Programově lze nastavit předdělič až na 8 různých hodnot, kterými se bude kmitočet krystalu dělit. V tomto případě má předdělič hodnotu 128. Po přetečení 16 bitového čítače je vyvoláno přerušení, časovač tedy za těchto okolností přeteče každých 175 ms. Procesor má k dispozici až 128 kB flash paměti a 16 kB SRAM paměti.

4.2.2 Kamera

Hlavní částí celé kamery [4] je pole 128 fotodiód v řadě s rozlišením 400 DPI, které představují 128 pixelů. Při dopadu světla je fotodiódou generován fotoproud a velikost náboje akumulovaná v každém jednotlivém pixelu je přímo úměrná intenzitě světla. Maximální světelná expozice při vlnové délce 638 nm je 5 mJ/cm². Důležitým parametrem je také doba integrace, která udává periodu, po kterou je světlo vzorkováno a náboj je akumulován v integračních kondenzátorech každého pixelu. Doba integrace je u tohoto typu senzoru regulovatelná, dá se tedy bez problémů měnit požadované výstupní napětí se saturací.

4.2.3 Čidlo otáček a detekce cíle

Čidlo otáček [7] pracuje na principu IR závory s používanou vlnovou délkou 950 nm a maximální snímací vzdáleností 0,3 mm. Dioda emituje světlo a fototranzistor jako světelný detektor reaguje na různé odrazné povrchy různým výstupním napětím.

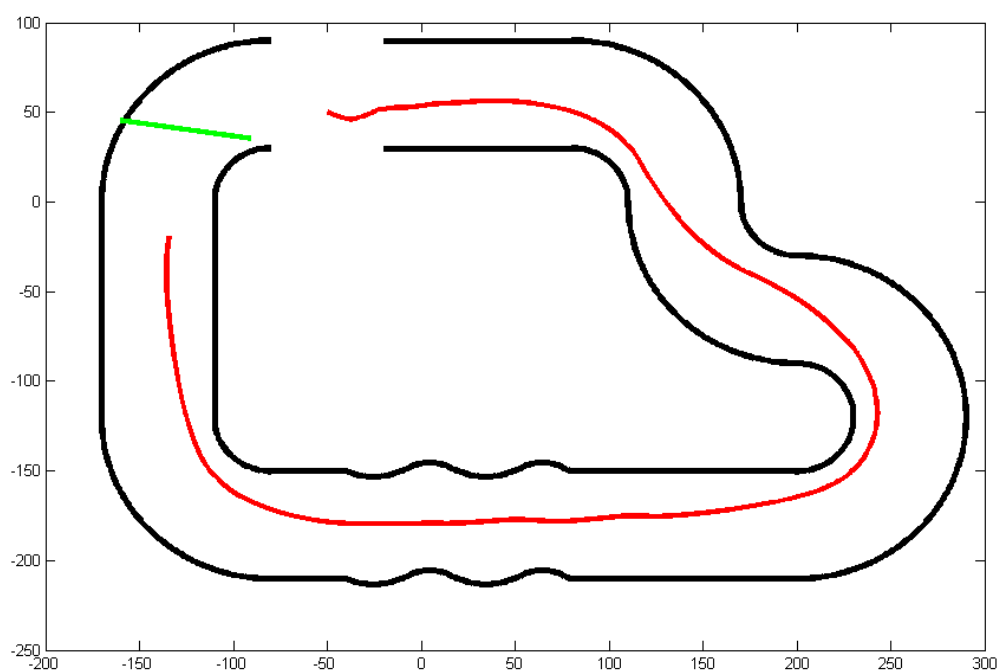
4.2.4 Čidlo vzdálenosti

Senzor [6] je založen na bázi IR závory a má stabilní zisk, což ho dělá předvídatelnějším při rozdílných odrazivostech ploch. Čidlo je schopno detekovat překážku až na vzdálenost 30 cm. Jedná se o dvouvrstvou DPS, jejíž horní strana světlo emituje a spodní jej přijímá. Díky trimeru na straně přijímače lze nastavit snímací vzdálenost až na 38 kHz. Senzor dokáže objekty detekovat, nedokáže ale odhadnout jejich vzdálenost. Tento problém byl vyřešen softwarově s pomocí čidel otáček.

4.3 Software 2015

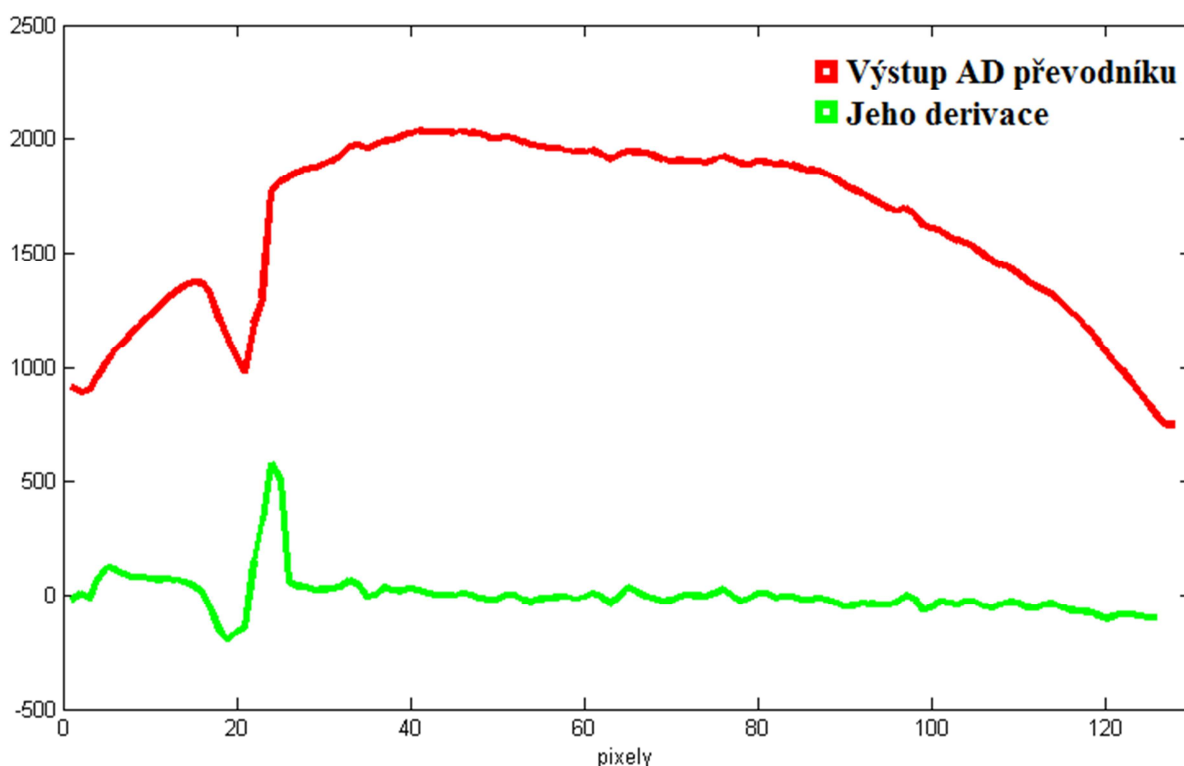
V letošním řešení se pracovalo s daleko větším množstvím periferních senzorů než v předchozím roce. Tomu také samozřejmě musela být uzpůsobena podoba softwarového řešení. Celý zdrojový kód je dostupný na přiloženém CD.

Pro simulaci jízdních vlastností vozidla na dráze byl týmovým kolegou Ing. Ondřejem Bouzkem napsán skript v programu Matlab, který umožnil lépe odhadnout správné natočení kamery, nastavení regulátoru a natočení kol v zatáčkách. Na umělé simulaci není ovšem počítáno s okolními podmínkami jako je osvětlení v místnosti či povrch dráhy. I z tohoto důvodu byla simulace použita pouze jako vhodný první krok k vytvoření zcela nového kódu v programu CodeWarrior. Na obrázku níže lze vidět konkrétní simulaci dráhy vozidla. Černými čarami je ohraničena samotná trať, červená linka představuje dráhu modelu a zelenou čarou je vyznačena vzdálenost snímání kamery.



Obr. 4: Simulace ideálního projetí dráhy v programu Matlab

Data z kamery byla opět posílána přes sériový port do programu Labview, který značně usnadňoval analýzu čar a dráhy. Práce s daty probíhala pomocí derivace výstupu kamery, která umožnila snazší detekci čar.

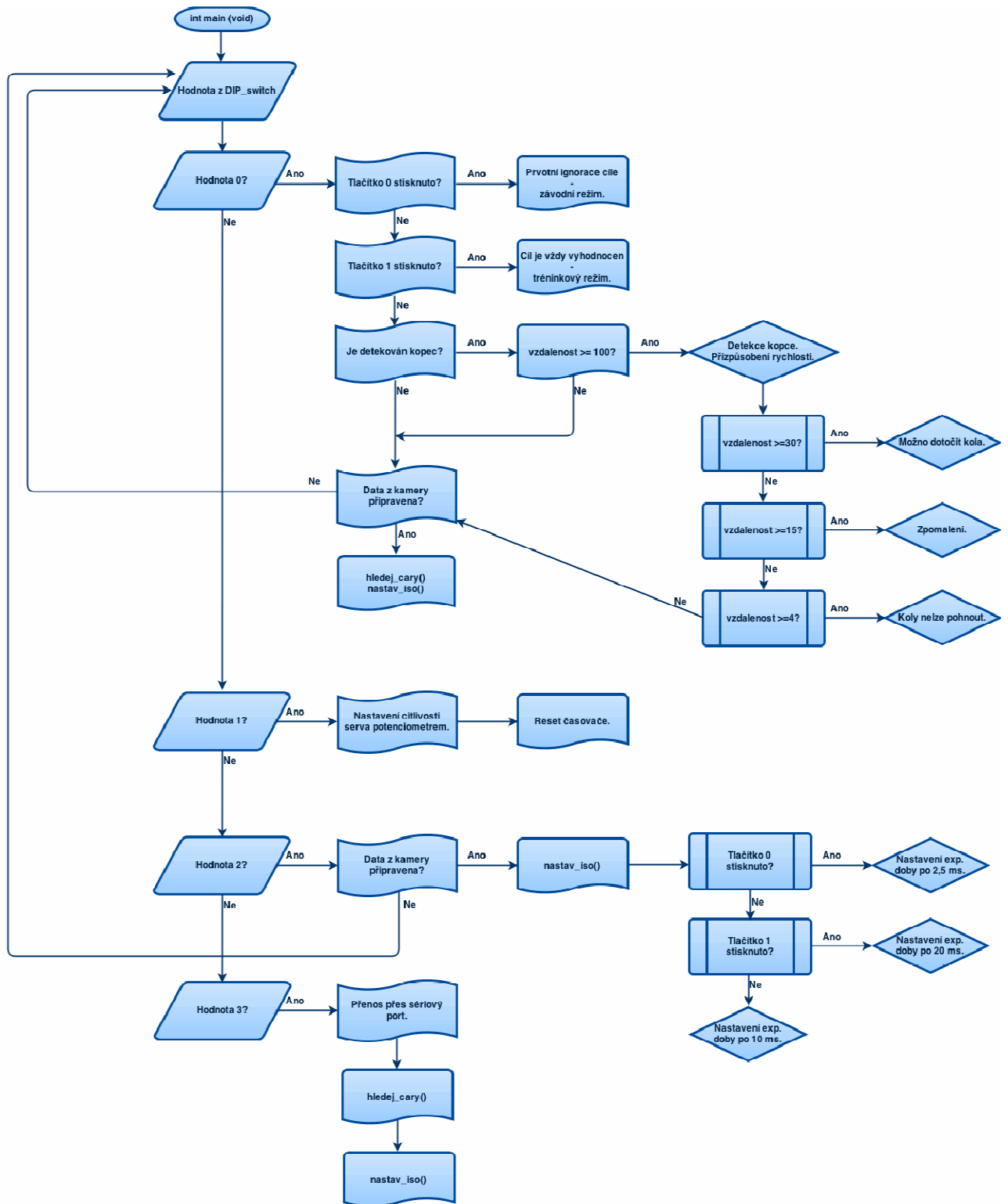


Obr. 5: Grafický výstup dat kamery

4.3.1 Hlavní smyčka programu

Hlavní rozhodovací smyčka programu vyhodnocuje stav nastavený pomocí dvou prostředních přepínačů na vývojové desce s H můstky. Celkem byly naprogramovány čtyři hlavní programy, mezi kterými se dá jednoduše volit. Prvním programem je samotná jízda modelu, druhým je přednastavený program pro pohyb servo motoru pomocí potenciometru. Jako třetí je nastavení citlivosti kamery pomocí expoziční doby a poslední část je určena pro přenos dat přes sériový port a následné zpracování v Labview.

Nezákladnější a nejhlavnější částí je jízda modelu. Povolení H můstků a s ním spojený rozjezd automobilu je proveden dvěma tlačítky, kdy tlačítko 1 automaticky model rozjede a tlačítko 2 pouze nastaví prvotní ignorování cíle. Tento mód se tedy používá pro samotnou závodní jízdu. Po navolení módu jízdy je možno ještě přepnout poslední přepínač pro různé velikosti zpomalení na kopci v případě, že za ním následuje otáčka či nikoliv.



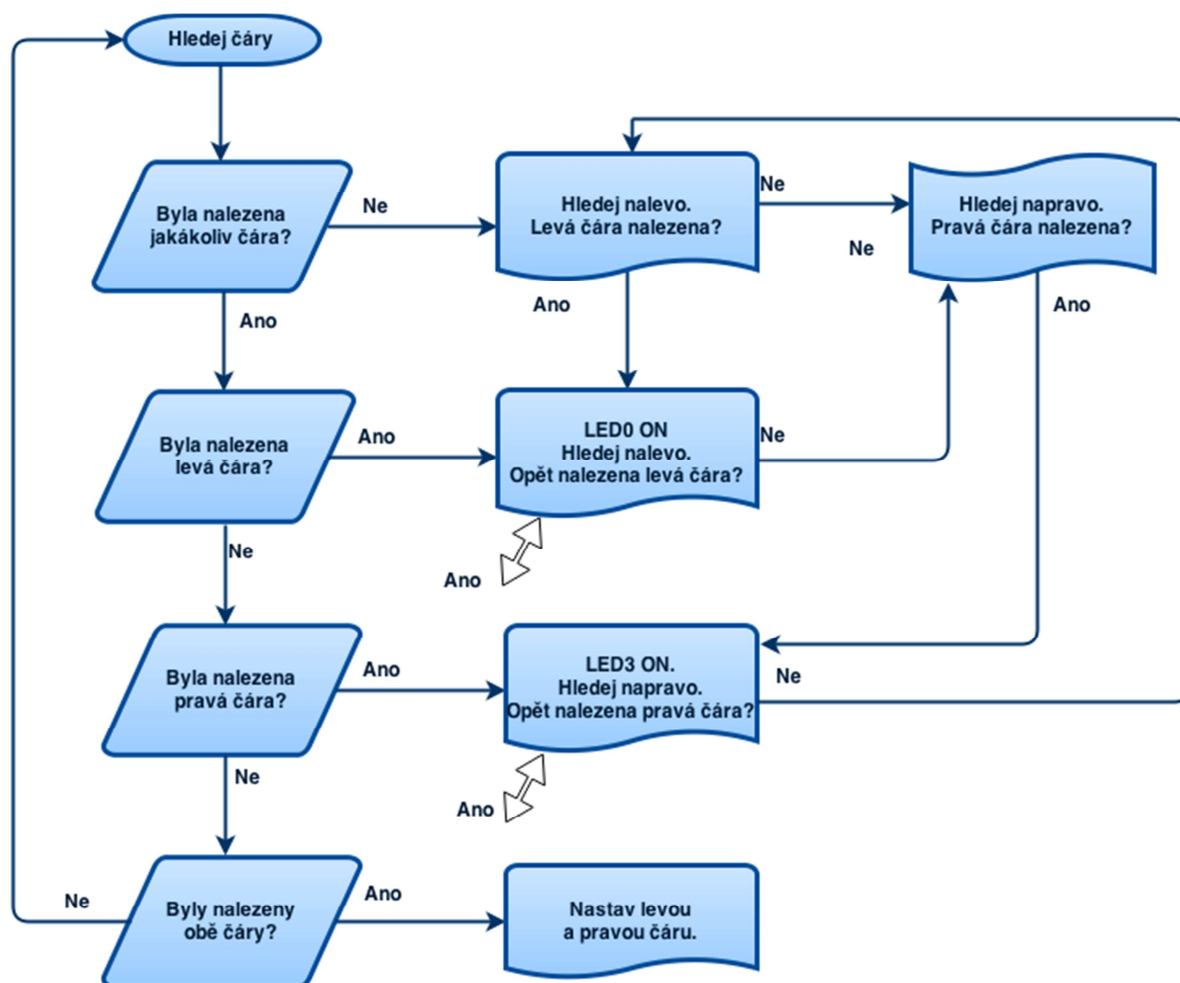
Obr. 6: Vývojový diagram hlavní smyčky programu (vytvoreno na [9])

Vyhodnocení kopce probíhá celkem ve čtyřech částech. V první části se model blíží ke kopci, ale kamera je stále ještě schopna rozeznat vodící čáry na trati. Model zpomalí více, pokud se za kopcem nachází otáčka, což je zajištěno nastavením přepínačů na desce. Ve druhé části auto ještě může dotočit svá kola tak, aby bylo schopno projet trať za jakýchkoliv podmínek. Třetí část zmenší rychlost a poslední část, kdy již kamera není schopna detekovat žádnou z čar a model je na kopci, zamezí natočení kol tak, aby auto nevypadlo z trati.

V případě že jsou data z kamery připravena k použití, je vyvolán podprogram pro hledání čar a nastavení citlivosti.

4.3.2 Podprogram Hledej čáry

Hledání čar se řídí podle posledního zaznamenaného vzorku a vyhodnocení probíhá s každým zaznamenaným vzorkem. Do proměnné catch se ukládá, zda byla nalezena jedna z čar, obě či žádná. Podle výsledku se poté vykonají příslušné příkazy. V případě že nedošlo k detekci žádné čáry, byla nejprve rozhodovací úroveň porovnána s intenzitou dopadajícího světla na pixely v levé části kamery, poté v části pravé. Při detekci levé čáry se zjišťuje, zda



Obr. 7: Vývojový diagram pro hledání čar (vytvořeno na [9])

se nachází dostatečně vlevo tak, aby mohla být zjišťována pozice pravé čáry. Pokud v dalším vzorku není potvrzena nově nalezená levá čára, automaticky se program zaměří pouze na linii pravou. Obdobně se program chová i při detekci čáry pravé.

Při zpracování výsledků se do proměnné servo pouze uloží hodnota, která je zpracována v podprogramu pro regulaci servo motoru. K natočení kol tedy dojde až při průchodu PD regulátorem. Při detekci levé i pravé čáry zároveň navíc dojde ke zvýšení rozhodovací úrovně, aby bylo možno detekovat, zda nešlo o falešný impulz.

4.3.3 Podprogram Nastav ISO

Nastavení citlivosti probíhá pomocí prověření jednotlivých pixelů a porovnání, zda jsou ve stanovených citlivostních mezích. Je vypočtena příslušná citlivost a její hodnota je použita jako proměnná expoziční doby kamery.

4.3.4 Podprogram PD servo

V tomto podprogramu je regulováno natočení předních kol pomocí servo motoru. K tomu jsou použity výsledky z vyhodnocení nalezených čar a to při každém vzorku. PD regulátor pracuje vždy s hodnotami původního a nového natočení serva, uplatňuje také nastavenou hodnotu citlivosti kamery. Na potenciometru jedna lze regulovat rychlost na rovině, druhý potenciometr mění prudší brzdění do otáček.

4.3.5 Podprogram Dej motorum R a L

Každé kolo je poháněno vlastním stejnosměrným motorem, lze tedy poměrně přesně regulovat výkon dodávaný na každou stranu. Rychlost zadních kol je regulována v závislosti na jejich natočení. Díky dvěma H můstkům lze roztáčet motory na obě strany. Toho jsme využili při detekci cíle a brzdění do otáček, kdy motor zapne zpětný chod, a při ustálení rychlosti kolem nulové hodnoty H můstky motory vypnou. Výsledná rychlost motoru je ovládána pomocí pulzně-šířkového modulátoru.

4.3.6 Interrupt pro detekci cíle

Pro detekci cíle bylo využito dvou IR čidel na spodní části podvozku. Každé z nich má vlastní přerušení, kterým je řízeno. Použitím proměnné s názvem `casovac_start` jsou odfiltrovány rušivé vysokofrekvenční pulzy, které vznikají při prohrábnutí kol vlivem blízkosti samotných čidel.

4.3.7 Interrupt timeru

Zde je využito příznakového bitu přetečení TOF. V případě, že po dobu více než dvou period timeru nedošlo k příjmu nového signálu z IR čidel na předních kolech, je vyhodnoceno, že se kola neotáčí.

4.3.8 Interrupt pro čidla otáček

Pomocí vyhodnocení rychlosti otáčení kol dochází ve zpětné vazbě k její regulaci.

5 Ověření stávajícího řešení

Při ověřování jízdních vlastností modelu bylo zjištěno, že bezproblémové projetí trati zdaleka nezávisí jen na softwarovém řešení. S téměř každou úpravou programu bylo nutné upravit naklonění kamery, na němž především závisí to, jak se model na trati chová. Při větším sklopení kamery bylo možno zvýšit rychlost, ale to na úkor smyků zadních kol a projetí otáček spíše středem než při vnitřní straně. Naopak pokud kamera viděla dostatečně daleko, auto jelo pomaleji, ale dráhu projelo daleko efektivněji, což nakonec kompenzovalo časové ztráty oproti více sklopené kameře.

Bylo provedeno dostatečné množství testovacích jízd k tomu, aby bylo možno co nejlépe optimalizovat model pro závodní dráhu. Dosažené úspěchy taktéž potvrzují, že řešení bylo úspěšné.

6 Dosažené úspěchy

Ve třetím ročníku soutěže se školního kola zúčastnily celkem tři týmy. Námi prezentovaný model závod vyhrál a náš tým postoupil do východoevropského kvalifikačního kola v Žilině. Zde se spolu s dalšími týmy z České republiky, Slovenska a Polska bojovalo o postup do kola evropského. Nepodařilo se nám porazit dostatečný počet týmů a s celkovým pátým místem (stále nejlepším z ČR) se začali připravovat na další ročník soutěže. Načerpali jsme ale i přesto dost zkušeností, zejména díky tomu, že jedním z našich soupeřů byli dvojnásobní mistři Evropy.

Při prezentaci studentských odborných prací SVOČ FEL 2014 jsme obsadili první místo a byli odměněni Cenou děkana za mezinárodní reprezentaci školy.

V následujícím čtvrtém ročníku soutěže se školního kola zúčastnily pouze dva týmy. Lehce jsme zvítězili a postoupili opět do východoevropského kola konaného tentokrát v polské Wroclawi. Letos jsme byli daleko více připraveni a umístili se na druhém místě se ztrátou méně než 0,5 s na polské první místo. Tento výkon nám zajistil postup do evropského kola v Turíně, kde jsme z celkem patnácti týmů skončili pátí. Do celosvětového závodu postoupil pouze švýcarský tým na prvním místě.

Díky letošní prezentaci SVOČ FEL 2015 jsme byli oceněni Cenou Plzeňského kraje, která nám byla předána v květnu 2015.

7 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout autonomně řízený programovatelný model automobilu a ověřit a porovnat jeho funkčnost s dalšími modely v kvalifikačních kolech. Věnovala jsem se především hardwarovému a softwarovému zpracování pro rok 2015.

Mezi hlavní úskalí hardwarového zpracování patřilo správné umístění kamery na podvozku modelu. V našem případě jsme porovnávali jízdní vlastnosti auta s kamerou umístěnou vpředu a vzadu. Nejlepší výsledky na dráze vykazovala pozice s kamerou mezi zadními koly. Při řešení detekce cíle bylo použito dvou IR závor ve spodní části podvozku. Dvě čidla na okrajích podvozku dokázala cíl vždy spolehlivě detekovat. Senzor vzdálenosti musel být připevněn v takové poloze, aby detekoval kopec, ale zanedbal nerovnosti, které jsou součástí dráhy. Další dvě IR čidla sloužila k měření rychlosti na předních kolech z důvodu možného prokluzování zadních kol.

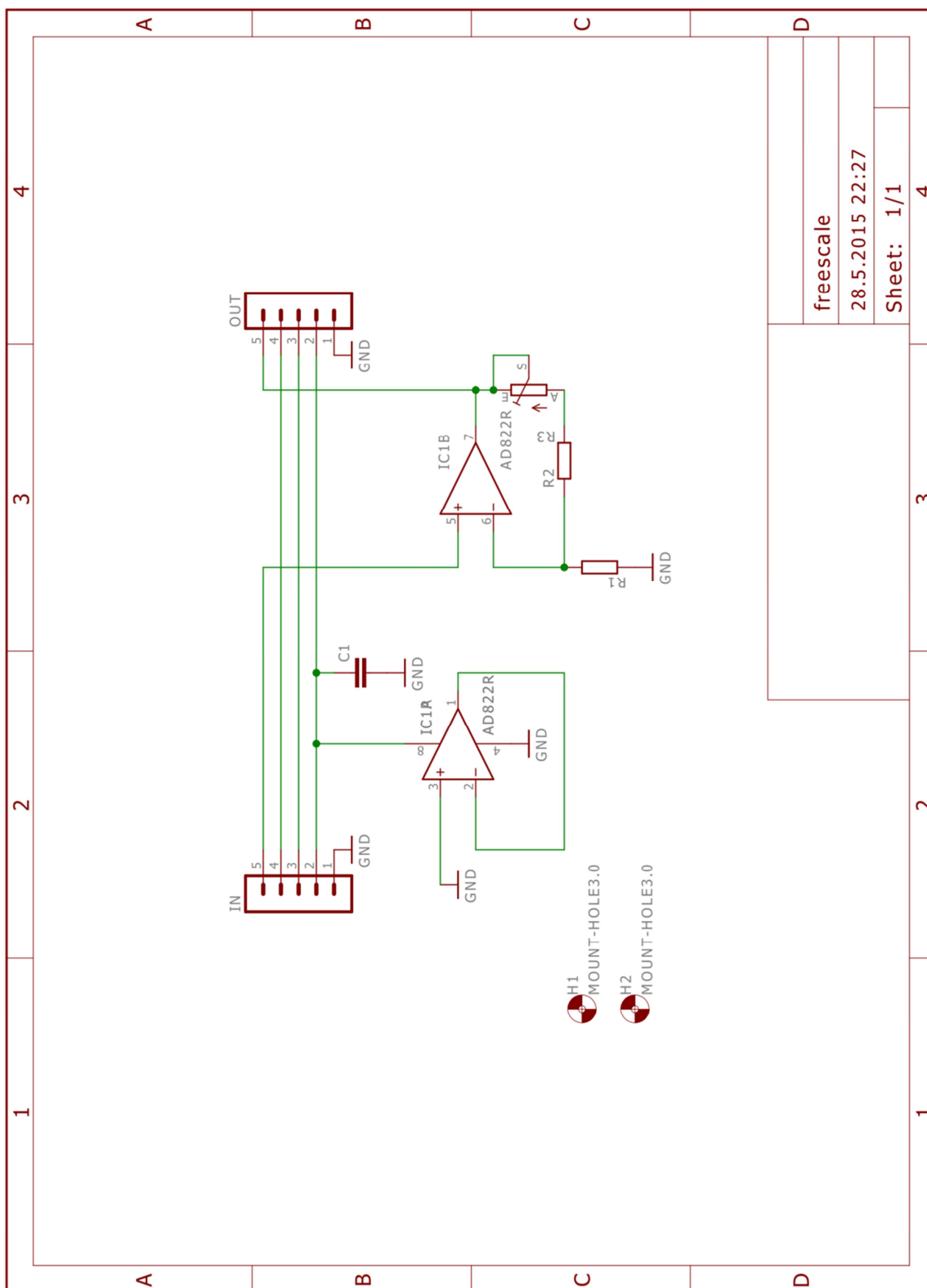
Zpracování výstupu kamery probíhalo pomocí derivace výstupní křivky A/D převodníku. To zajistilo dokonalou detekci vodičích čar. Jednotlivé senzory mají vlastní přerušení, kterými je obsluhována jejich funkce. Potenciometrem byla měněna rychlost na rovině. V evropském kvalifikačním kole jsme přidali funkci i druhému potenciometru, kterým se měnila rychlost v otáčkách. Tímto způsobem jsme opět dosáhli znatelně lepších výsledků na trati. Softwarově bylo také dosaženo odfiltrování rušivých pulzů vzniklých vlivem proklouznutí zadních kol a blízkosti čidel pro detekci cíle.

V naší práci je rozhodně prostor pro další zlepšování. Jak již ukázalo evropské kolo soutěže Freescale Cup v italském Turíně, zpomalení na kopci pro danou závodní trasu bylo spíše přítěží, kterou jsme ztratili potřebné sekundy na vítězný tým. Samotný problém s kopcem následujícím za otáčkou nebyl ještě zcela vyřešen. Tento problém by mohla vyřešit možnost nastavit na DIP přepínači ještě několik dalších módů jízdy. Přestože výsledná podoba závodní trati není předem známa, polohou přepínačů by se mohlo zvolit, zda se kopec nachází na rovině nebo v blízkosti otáčky, a docílit tak rychlejšího průjezdu celé trati.

Informační zdroje a literatura

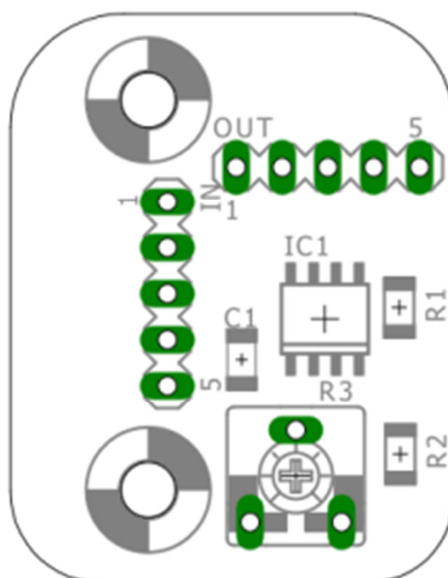
- [1] 2014 EMEA Freescale Cup Challenge Rules. Freescale Semiconductor, 2013.
- [2] 2015 EMEA Freescale Cup Challenge Rules. Freescale Semiconductor, 2014.
- [3] KL25P80M48SF0RM – Katalogový list. Freescale Semiconductor, 2012.
Dostupné z: <http://www.freescale.com/>
- [4] TSL1401CL – Katalogový list. TAOS (Texas), 2011.
Dostupné z: <http://www.ams.com/>
- [5] MC33931 – Katalogový list. Freescale Semiconductor, 2012.
Dostupné z: <http://www.freescale.com/>
- [6] 2461 – Katalogový list. Pololu Robotics & Electronics.
Dostupné z: <http://www.pololu.com/>
- [7] CNY70 – Katalogový list. Vishay, 2000.
Dostupné z: <http://www.vishay.com/>
- [8] <http://www.freescale.com/>
- [9] <http://www.draw.io/>

Příloha A – Schéma zapojení

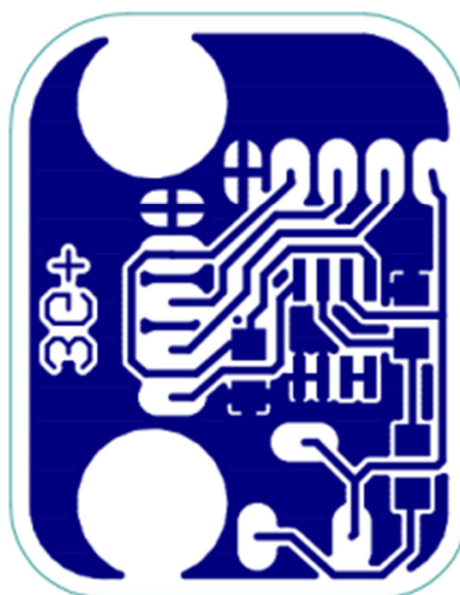


Obr. A 1: Schéma zapojení navrženého rail to rail zesilovače na výstup kamery

Příloha B – Desky plošných spojů



Obr. B 1: Osazovací výkres desky zesilovače o rozměrech 24,13 x 31,75 mm



Obr. B 2: Navržená DPS zesilovače