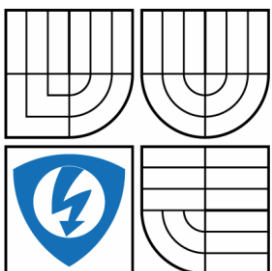


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

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

MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VELIČIN S PODPOROU CCD KAMER

MEASUREMENT OF MECHANICAL QUANTITIES WITH SUPPORT CCD CAMERAS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Petr Marek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

BRNO 2015



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Petr Marek

ID: 136557

Ročník: 2

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Měření mechanických veličin s podporou CCD kamer

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zpracujte literární rešerši využití kamer pro účely testování vozidel. Vypracujte přehled druhů kamer (klasické, vysokorychlostní, infra) různých výrobců. Zaměřte se též na cenu a technické parametry a požadavky software.
2. Získané poznatky využijte k návrhu systému snímání a sběru dat. Respektujte požadavek na synchronizaci záznamu obrazu a měřených dat. Zaměřte se na hardwarové vybavení externího pracoviště ÚADI FSI VUT v Brně od firmy NI.
3. Navržený měřicí systém realizujte a proveďte experiment pro verifikaci synchronizace měřených dat a snímaného obrazu.
4. Realizovaný a verifikovaný systém použijte pro snímání úhlu natočení volantu.
5. Dosažené výsledky vyhodnoťte a prezentujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] HLAVÁČ, V., ŠONKA, M. Počítačové vidění, Grada, 1992, 272 s., ISBN 80-8524-67-3
[2] Technická dokumentace National Instruments

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 18.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce: Ing. Petr Porteš, Dr.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá typy a vlastnostmi digitálních kamer používaných v průmyslu. Dále jsou zde zmíněny oblasti použití kamer v automobilovém průmyslu. Byla vytvořena rešerše průmyslových kamer na trhu. V další části je popsáno hardwarové propojení kamery Basler acA 1300-60gc a měřicí platformy cDAQ 9178. Součástí práce je vytvoření systému pro synchronizaci snímání kamery a měření dat. V poslední části je vypracován program pro zpracování obrazu a určení úhlu natočení volantu.

Klíčová slova

CCD kamera, CMOS kamera, automobilový průmysl, Basler, National Instrument, počítačové vidění

Abstract

This master's work deals with types of digital cameras used in industry. Furthermore, there are mentioned application areas of cameras in the automotive industry. There was created searches industrial cameras on the market. In the next part is described hardware interconnection of Basler acA 1300-60gc camera and measuring platform cDAQ 9178. Part of this work is to create a system for synchronization of camera and measured data. In the last part is developed program for image processing and determine the angle of rotation of the steering wheel.

Keywords

CCD camera, CMOS camera, automotive industry, Basler, National Instrument, computer vision

Bibliografická citace:

MAREK, P. *Měření mechanických veličin s podporou CCD kamer*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 68 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Marie Havlíková, Ph.D..

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma měření mechanických veličin s podporou CCD kamer jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **15.května 2015**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Marii Havlíkové, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji svému konzultantovi z fakulty strojního inženýrství VUT, panu Ing. Petru Portešovi, Dr. za odborné rady a pomoc při zpracování této diplomové práce.

V Brně dne: **15 května 2015**

.....
podpis autora

OBSAH

1. Úvod	9
2. Digitální kamery	10
2.1. Zachycení digitálního obrazu	10
2.2. Rozdělení digitálních kamer	11
2.2.1. Technologie snímacího čipu	11
2.2.2. Snímání barev	13
2.2.3. Vysokorychlostní kamera	14
2.2.4. Infrakamera	14
3. Kamery v automobilovém průmyslu	16
3.1. Výroba automobilů	16
3.2. Testování automobilů	16
3.3. Bezpečnostní prvky	16
3.3.1. Vnější kamera	17
3.3.2. Vnitřní kamera	17
3.4. Technické parametry vybraných kamer	17
4. Návrh snímání a sběru dat	23
4.1. Sestava měřicí platformy NI	23
4.2. Kamera Basler acA1300-60gc	25
5. Hardwarové realizace měřicího systému	28
5.1. Použitý hardware	28
5.1.1. Platforma cDAQ 9178	28
5.1.2. Kamera Basler acA 1300-60gc	29
5.1.3. Počítač	30
5.2. Proudové přizpůsobení	30
5.3. Celkové hardwarové zapojení	36
5.3.1. Hardwarová konfigurace	37
5.3.2. Konfigurace počítače	37
5.3.3. Konfigurace kamery Basler acA 1300-60gc	37
6. Realizace programové části	40
6.1. Programové vybavení počítače	40
6.2. Snímání obrazu a dat	41

6.2.1.	Spouštěcí signál	41
6.2.2.	Snímání dat	43
6.2.3.	Nastavení kamery.....	44
6.2.4.	Spuštění snímání a uložení obrazu.....	46
6.2.5.	Uživatelské rozhraní.....	48
6.3.	Zpracování obrazu.....	49
6.3.1.	Příprava sekvence obrazů	49
6.3.2.	Předzpracování obrazu	50
6.3.3.	Určení pozice značek v obraze	54
6.3.4.	Určení úhlu natočení volantu.....	56
6.4.	Uživatelské rozhraní.....	58
7.	Verifikace systému	60
7.1.	Úhel natočení volantu.....	60
7.2.	Souhrn dosažených výsledků.....	62
8.	Závěr	63
9.	Příloha	66

1. ÚVOD

V 2. polovině 19. Století byla vynalezena první kamera. Tato kamera zachycovala sekvenci snímků na světlocitlivý materiál. Tento převratný vynález dal život novým oborům jako je kinematografie. V 70. letech vznikl nový typ fotoaparátu. Tento aparát již nepoužíval světlocitlivý materiál, ale digitální snímač citlivý na světlo.

Vynálezem digitálního fotoaparátu vznikly samozřejmě i první digitální kamery. Využitím moderních mikrotechnologických metod bylo docíleno, že kamery mohou mít velmi malé rozměry, v řádech milimetrů. Tato skutečnost umožňuje použití digitálních kamer v širokém rozsahu. Díky statistickým a transformačním metodám zpracování obrazu je možné získat ze snímků ohromné množství dat, jako jsou rozměry objektů, vzdálenosti, rychlost, defektoskopie a spousty dalších.

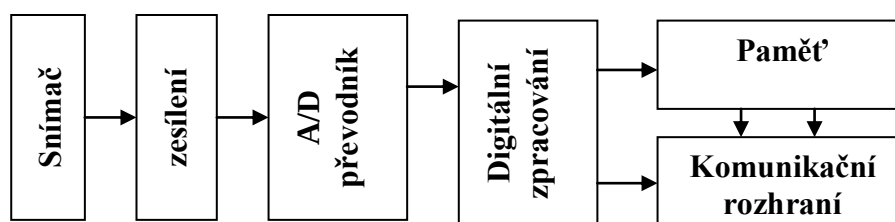
Cíle práce

Zadáním práce je seznámit se s vlastnostmi kamer s čipem CCD, seznámit se s použitím kamer v průmyslu, zejména automobilovém. Dalším úkolem je vytvoření rešerše různých druhů používaných kamer. Posledním z úkolů je seznámit se s poskytnutým modulárním systémem od firmy National instrument a kamerou Basler acA 1300-60gc a navrhnout propojení tohoto hardwaru. Cílem práce tedy je vytvořit celkový systém pro snímání obrazu, synchronizovaného s měřením dat a vytvořit program pro zpracování obrazu.

2. DIGITÁLNÍ KAMERY

2.1. Zachycení digitálního obrazu

Obraz byl do nedávna zachycován jen jako analogová informace. V Digitální podobě se obraz vyskytoval jen převedený z analogové předlohy. V 90. letech se začaly vyskytovat způsoby zachycení obrazu přímo, jako digitální informaci. Pro zachycení světelného záření a jeho následné uložení v digitální podobě slouží světlo citlivý snímač. Tento snímač převádí světelné záření, které na něj dopadá, na elektrický náboj, který je následně převeden na elektrické napětí. Velikost elektrického náboje odpovídá intenzitě dopadajícího záření a citlivosti snímače. Napětí z každého bodu snímače je pak uloženo v binárním kódu na paměťové médium. Snímač velmi ovlivňuje kvalitu zachyceného obrazu. Snímače mohou mít různou strukturu citlivost a rozlišení.



Obrázek 1 : Zjednodušené blokové schéma digitální kamery

Pro zachycení barevného obrazu se používají dva principy. Prvním principem je mozaikový barevný filtr, který je uložen před snímacím čipem. Druhý princip je založen na rozdělení světla do třech směrů. Toto rozdělení je často uskutečněno hranolem na tři barvy, tedy červenou zelenou a modrou (RGB). V každém ze tří směrů je pak uložen jeden snímací čip, jehož výstupní signál je dále spojen s ostatními vrstvami v maticový obraz.

2.2. Rozdělení digitálních kamer

Podle technologie snímacího čipu:

- CMOS
- CCD

Podle snímání barev:

- Masky a filtry
- Barevné kódování

Podle struktury čipu:

- Řádkové
- Maticové

Další dělení dle:

- Rychlosti
- Rozlišení

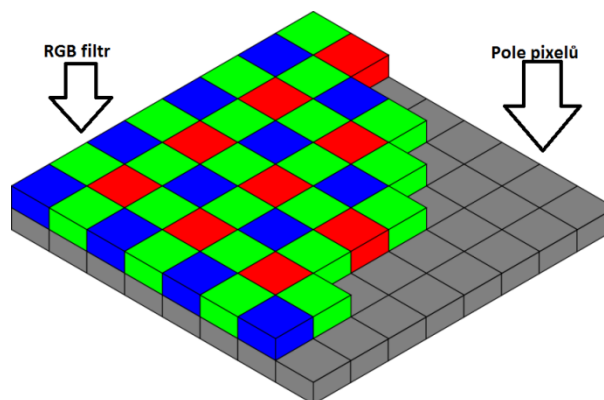
2.2.1. Technologie snímacího čipu

CMOS

CMOS je zkratka anglického výrazu Complementary Metal Oxide Semiconductor. Již z názvu lze usoudit, že tento display obsahuje elektrické polovodičové prvky.

Každý pixel světlo citlivého pole má své vlastní elektrické obvody, které vedou elektrický náboj generovaný pixelem. Hlavní výhodou je nízká spotřeba energie čidel, protože snímači stačí jen jedno napájecí napětí. CMOS senzor je tvořen čtyřmi základními částmi, které jsou barevný filtr, pixelové pole, digitální kontrolér a A/D převodník. Každý pixel se skládá z fotodiody a jednoho nebo více tranzistorů. Pixely produkují proud, který je v okamžiku snímání odváděn do sloupcových výčtových zesilovačů a odváděn k A/D převodníku pro vytvoření digitálního výstupu.

Nad polem pixelů je vytvořena síť barevných filtrů, protože pixel je schopný snímat jen intenzitu dopadajícího záření, tak je do každého pixelu propuštěna jen jedna vlnová délka.



Obr 2: Základní konstrukce CMOS [1]

Existují dva základní typy CMOS čipů. Jedním je pasivní CMOS, kde generovaný náboj jde do zesilovače a poté přímo do A/D převodníku. Druhým je aktivní CMOS. Protože je každý pixel z části obsazen elektronikou, tak vzniká výrazný šum, který aktivní CMOS detekuje a odstraní.

CCD

Zkratka pochází z anglického „charge coupled device“, tedy zařízení pracující s dvojeným nábojem. Jde o podobnou realizaci snímače jako je CMOS. Část světelné energie, procházející skrz barevný filtr, je přeměněna na elektrický náboj a ten je odveden do zesilovače a A/D převodníku. Samotný CCD snímač je složen pouze z barevného filtru a pixelového pole.

Je více způsobů odečítání nasnímaného obrazu. Existují tři základní řešení vyčítání informací z pixelů snímače:

Progresivní sken: hodnoty nábojů celého snímače jsou odečítány po řádcích a porovnávány s hodnotami sousedního pixelu. Z takto vypočítaných hodnot se teprve skládá výsledný obraz.



Obrázek3: Princip progresivního skenu [2]

Prokládaný sken: Náboj uložený v pixelech je nejdříve odveden do pomocných registrů a poté teprve do hlavního registru a dále do zesilovače a A/D převodníku.



Obrázek 4: Princip prokládaného skenu [2]

Plošný sken: Jde o variantu progresivního skenu. V jednom cyklu jsou přeneseny náboje všech pixelů do nábojového registru a poté jsou vyhodnocovány stejně jako u progresivního skenu. Velkou výhodou je, že při vyhodnocování nábojů je již snímač připraven pro další expozici.

Výhodou CCD čipu je jeho vytvoření obrazu s nízkým podílem šumu, vysoká účinnost a vysoká citlivost na světlo, naopak nevýhodou jsou jeho vysoké náklady na výrobu.

CMOS, jehož předností jsou nízké náklady na výrobu a provoz a jeho velký dynamický rozsah. Nevýhodou je nižší světelná citlivost a vyšší obsah šumu v zaznamenaných obrazech způsobený menší aktivní plochou pixelu.

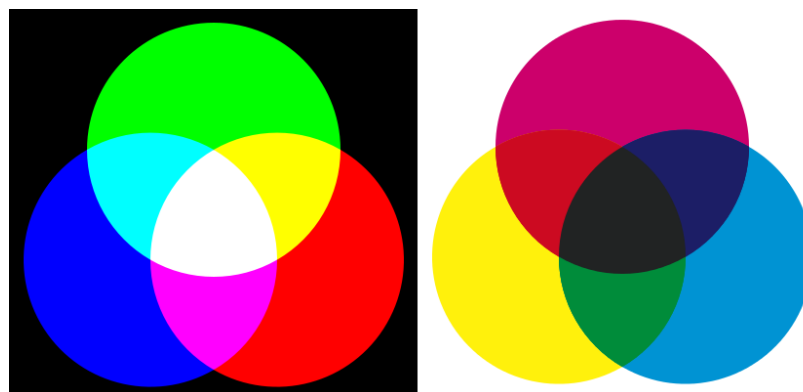
2.2.2. Snímání barev

Protože samotný senzor dokáže detekovat jen intenzitu dopadajícího světla a ne jeho vlnovou délku, tak musí být před senzor zařazen barevný filtr. Který na daný pixel propustí jen světlo o určité vlnové délce.

Existují dva druhy barevných modelů:

RGB: základem tohoto barevného modelu jsou tři barvy – červená, zelená a modrá. Jejich aditivním mícháním v určitém poměru je možné získat téměř všechny spektrální barvy. Tento model vychází z citlivosti lidského oka

CMY: základem této barevné soustavy je azurová, žlutá a purpurová barva, jejichž odčítáním se upravuje spektrum, které se odráží od povrchu předmětu (filtru).



Obrázek 5: Barevný RGB model (vlevo) a CMY model (vpravo)

2.2.3. Vysokorychlostní kamera

Jednotkou rychlosti snímání obrazu je fps, tedy frame per second. Rychlost snímání udává počet obrazů zachycených kamerou během jedné sekundy. Pro lidský mozek stačí, když jsou obrazy snímány rychlostí alespoň 30 fps. Při této minimální rychlosti snímání jsou pak obrazy vnímány jako video, díky setrvačnosti oka.

Vysokorychlostní kamera je taková kamera, která má rychlost snímání alespoň 60 fps. Jejich rychlost snímání je různá. Některé kamery mohou dosahovat až desítky tisíc fps. Díky těmto rychlostem mohou být zaznamenány i děje probíhající v rozmezí milisekund. V moderních zařízeních je běžné rozlišení až několik milionů pixelů. Převod hodnoty každého z těchto pixelů na digitální hodnotu je časově náročný, proto je převod u vysokorychlostních kamer odlišný.

Překrytím fáze snímání a převodu dojde ke zkrácení periody snímání. Další možností zrychlení snímání bez snížení rozlišení je použití většího počtu A/D převodníků a rozdělení pixelového pole mezi tyto převodníky, čímž se razantně sníží doba převodu snímku do digitální podoby.

2.2.4. Infrakamera

Hlavním rozdílem mezi klasickou kamerou a infrakamerou je ve snímači. Snímač v infrakameře nesnímá obraz jako takový, tedy není citlivý na světlo, ale snímá vyzařovanou energii. Díky tomu je umožněno vidět obraz i za ztížených podmínek, při kterých není schopno vnímat ani lidské oko. Protože zaznamenávaná informace

neodpovídá lidskému vjemu, pak i zobrazování takové informace musí být odlišné od klasického zobrazení. Obraz zachycený infrazamerou zobrazuje energetické rozdíly mezi zachycenými objekty. Každý reálný objekt vyzařuje nějaké množství energie černého tělesa. Množství této energie souvisí s teplotou tohoto tělesa.

Snímače infračerveného záření se dají rozdělit na dva základní druhy. Jedním druhem jsou tepelné snímače a druhým kvantové.

U tepelných snímačů dochází k zahřátí citlivé části snímače vlivem dopadu fotonů. Teplota této citlivé části se poté vyhodnocuje pomocí teplotního snímače.

Kvantové snímače pracují na zcela odlišném principu. Vlivem dopadu fotonů na citlivou vrstvu se excitují volné náboje v citlivé vrstvě. Tyto náboje jsou pak dále vyhodnocovány.

Obecně se dá říci, že infrazamery mají nižší rozlišení než kamery klasické a jsou několikanásobně dražší. V dnešní době jsou infrazamery používány i jako bezkontaktní teplotní čidla. Pomáhají při určování úniku tepla, přehřátí součástek, dále pak pro snímání objektů v noci nebo mlze. Nedávno se začaly infrazamery používat jako bezpečnostní prvek v automobilech. Kde se pomocí infrazamery snímá okolí před vozidlem a obraz je přenášen na displej uvnitř auta. Zvířata a chodci mohou být pak zpozorováni mnohem dříve, než by si jich člověk stihl všimnout.

3. KAMERY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Využití kamer, respektive počítačového vidění v automobilovém průmyslu je velmi široké. Používá se od výroby součástek a jejich kontroly, přes svařování, při nárazových testech a v neposlední řadě při samotném používání auta jako jeden z bezpečnostních prvků.

3.1. Výroba automobilů

Nejčastější aplikací počítačového vidění v automobilovém průmyslu je při kontrole přítomnosti jednotlivých součástek v celcích, které jsou sériově vyráběny. Příkladem mohou být pozice a přítomnost komunikačních portů, vzdálenost nýtování apod.

Při skládání jednotlivých součástí do jednoho celku, jako je například svařování části automobilu se využívá počítačového vidění pro navádění svařovacích robotů. Pro kontrolu použití správné součásti se využívá čtení popisových štítků na součásti.

3.2. Testování automobilů

Po výrobě automobilu následuje jeho otestování. Nejznámějším testováním automobilů jsou takzvané nárazové testy. Protože tyto testy probíhají ve vysokých rychlostech, tak musí být použity vysokorychlostní kamerové systémy, které odhalí postupné deformace a pohyb jednotlivých dílů automobilu a testovacího pasažéra umístěného uvnitř auta. Při provádění těchto testů se jedná o kamery s rychlostí snímání vyšší než 1000 snímků za sekundu.

3.3. Bezpečnostní prvky

Příchodem mikroelektroniky, digitálních kamer a velmi malých, kompaktních obrazovek došlo k využití kamerových systémů jako bezpečnostních prvků v automobilech.

3.3.1. Vnější kamera

U prémiových vozů jsou kamery umístěné vně vozu v přední, zadní a někdy i bočních stranách. Jedná se o malé kamery, jejichž rozlišení se pohybuje v jednotkách megapixelů, typicky 0,8 – 2 Mpxl.

Kamery v zadní části automobilu ulehčují couvání a znemožňují přehlédnutí chodce za automobilem. Scéna za automobilem je promítána na palubní počítač, který řidič může použít namísto vnějších zrcátek.

Přední kamery jsou pro bezpečnou jízdu asi nejdůležitější. V přední části bývají zabudovány infrakamery, díky nimž je možné vidět překážku, chodce, či zvíře i v noci nebo mlze. Díky předním kamerám je umožněno i automatické nouzové brzdění, které detekuje překážku v dráze automobilu a dokáže snížit nebo úplně vyloučit toto nebezpečí. Další využití je pro detekci přejíždění dělící čáry na silnici a automatické rozpoznání značek během jízdy.

Boční kamerové jednotky bývají nejčastěji umístěné ve zpětných zrcátkách. Pomocí těchto kamer je hlídán tzv. mrtvý uhel. Při spolupráci s přední kamerou dochází při vybočení z pruhu k aktivaci těchto kamer a zobrazení scény vedle vozu na displej.

3.3.2. Vnitřní kamera

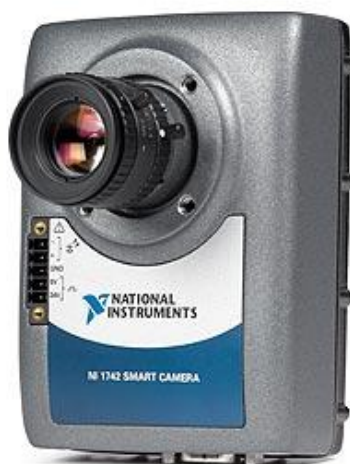
Hlavním účelem vnitřní kamery je detekce únavy řidiče. Během jízdy kamera detekuje polohu hlavy, očí a stav očí. Při změně stavu očí, jako je zavření očí na déle než 1s, kdy by se již mohlo jednat o únavu nebo mikrosněnek. Počítač toto nebezpečí vyhodnotí a upozorní řidiče. Dalším prvek je sledování otáčení volantů, které je odlišné, pokud je řidič bdělý nebo unavený.

3.4. Technické parametry vybraných kamer

Pro porovnání kamer bylo vybráno pět vzorových kamer. Vybrané kamery byly zvolené tak, aby mezi nimi byl zástupci z každé skupiny, zmiňované v kapitole č.1. Jsou tedy mezi nimi zástupci z kategorie vysokorychlostních kamer, infrakamer, kamer s vysokým rozlišením, inteligentních kamer a kamer klasických.

NI 1742 Smart Camera

NI 1742 je zástupce tzv. inteligentních kamer. Jedná se o kameru, jejíž hlavní výhodou je snímání a vyhodnocování obrazu, dle naprogramovaných kroků, v reálném čase. Programování kamery je prováděno přes rozhraní Ethernet za pomoci jednoho z programovacích nástrojů Vision Builder for Automated Inspection, Lab view nebo Vision Development Modul. Je vhodná všude tam kde se kontrolují vady a rozměry výrobků nebo text.



Obrázek 6: inteligentní kamera NI 1742

Tabulka 1: Specifikace inteligentní kamery NI 1742 [3]

Senzor	1/3" CCD
Rozlišení	640 x 480
Barva	monochromatická
Frekvence snímání	60 fps
Procesor	533 MHz PowerPC
Komunikace	2x Ethernet, 1x RS 232
Připojení objektivu	C-mount
Rozměr (bez objektivu)	11.8 x 8.6 x 5.06 cm

Xenics Bobcat-1.7-320

Kamera Bobcat 1.7-320 od firmy Xenics je kamera pracující v infračervené oblasti světelného záření v rozmezí 900 – 1700 nm vlnových délek. Je osazena nechlazeným detektorem ze sloučenin arsenu galia a India. Pro rychlé předzpracování obrazu obsahuje procesor DSP. Snímání kamerou je možné ve dvou režimech, a to ve volnoběžném nebo pomocí externího spouštění. Pro základní i rozšířené nastavení kamery slouží program od Xeneth advanced.



Obrázek7 kamera Xenics Bobcat – 1.7-320

Tabulka 2: Specifikace infrakamery Xenics Bobcat – 1.7-320

Senzor	InGaAs
Rozlišení	320 x 256
Barva	monochromatická
Frekvence snímání	60 fps v 8 bit módu / 30 fps v 16 bit módu
Komunikace	Ethernet nebo Camera Link
Výstupní formát videa	Digital: Ethernet nebo Camera Link Analog: PAL nebo NTSC
Připojení objektivu	C-mount
Rozměr (bez objektivu)	5,8 x 6,2 x 7,2 cm

SP -20000M/C-PMCL

Ze skupiny kamer s vysokým rozlišením byla vybrána kamera SP-20000M/C-PMCL, kterou vyrábí firma JAI. Tato kamera má maximální rozlišení až 20 Mpxl. Pro časování snímání jsou do kamery implementovány digitální vstupy a výstupy. U kamery je možné aktivovat speciální funkce, jako je nastavení až osmi bodů zájmů v obraze a následný přenos jen těchto částí. Další funkcí je tzv. binning, který zvýší citlivost kamery logickým spojením sousedních pixelů. Cenou za zvýšení citlivosti je snížení rozlišení snímaného obrazu



Obrázek 8: kamera SP-20000 M/C-PMCL

Tabulka 3: Specifikace kamery SP-20000 M/C-PMCL

Senzor	CMOS
Rozlišení	5120 x 3840
Barva	Monochromatická / 8-10 bit barevná
Frekvence snímání	30 fps
Komunikace	Camera Link
Výstupní formát videa	8/10-bit monochrome 8/10-bit Bayer
Připojení objektivu	F-mount
Rozměr (bez objektivu)	6,2 x 6,2 x 8,45 cm

Basler acA750-30gm (cm)

Firma Basler je výrobcem široké škály digitálních kamer. Vyrábí kamery klasické, vysokorychlostní, s vysokým rozlišením a další. Kamera AcA750-30gm patří do rodiny kamer Ace. Celá tato rodina poskytuje možnost komunikace a napájení pomocí jednoho propojovacího kabelu. Kamera Aca 750-30gm je vyvinuta tak, aby nahrazovala analogové kamery. Je osazena čipem Kodak ICX 409, který se často používal právě v analogových kamerách.



Obrázek 9: Kamera Basler acA750-30gm(cm)

Tabulka 4: Specifikace kamery Basler acA750-30gm(cm)

Senzor	CCD (1/3")
Rozlišení	752 x 580
Barva	Monochromatická (barevná u modelu cm)
Frekvence snímání	30 fps
Komunikace	Fast Ethernet / Gigabit Ethernet
Výstupní formát videa	Mono 8, Mono 12, Mono 12 Packed
Připojení objektivu	C-mount / CS - mount
Rozměr (bez objektivu)	4,2 × 2,9 × 2,9 cm

CamRecord CR3000x2

CR3000x2 je vysokorychlostní kamera s rychlostí záznamu až 1000 fps při rozlišení 1200 x 1200. Výrobce této kamery je firma Optronis. Pro použití v extrémních podmínkách je elektronika umístěna v robustním krytu.



Obrázek 10: vysokorychlostní kamera CamRecord 3000x2

Tabulka 5: Specifikace kamery Optronis CamRecord 3000x2

Senzor	CMOS
Rozlišení	1696 x 1710 (1200 x 1200)
Barva	8bit barevná
Frekvence snímání	540 fps (1000 fps)
Komunikace	Gigabit Ethernet
Výstupní formát videa	VGA
Připojení objektivu	F-mount (C-mount)
Rozměr (bez objektivu)	14,5 x 9,5 x 7,85 cm

4. NÁVRH SNÍMÁNÍ A SBĚRU DAT

4.1. Sestava měřicí platformy NI

Měřicí platforma NI cDAQ - 9178

Jedná se o osmi-slotovou kompaktní platformu pro sběr reálných dat pomocí zásuvných modulů a komunikací přes rozhraní USB. Obsahuje osm pozic pro připojení analogových nebo digitálních vstupních či výstupních modulů. Pro vytvoření vlastního měřicího systému je platforma kompatibilní s moduly, které je možné použít pro širokou škálu měřících senzorů, jako jsou termočlánky, tenzometry, akcelerometry, mikrofony a další.

Díky této platformě je možné kombinovat měření pomocí čidel, jejichž výstupy jsou digitální, proudové nebo napěťové a to vše pak vyhodnocovat pomocí PC, propojením jediným USB kabelem.

Platforma obsahuje čtyři vnitřní 32-bitové čítače/časovače pro všeobecné použití. Pro přístup k těmto časovačům musí být vložen hardwarově časovaný digitální modul. Díky tomuto modulu je pak možné aplikovat kvadratické enkodéry, měřit periodu či frekvenci nebo vytvořit pulsní generátor. Dále jsou pak do platformy vestavěny dva BNC konektory pro sdílení časového nebo spouštěcího signálu do 1MHz. Velkou výhodou této platformy je Real Time operační systém. [4]

Modul NI 9214

Tento zásuvný modul je 16-kanálový vstupní jednotka pro izotermické termočlánky. NI 9214 je modul pro měření teploty s přesností až 0,45°C.

Modul má tyto vlastnosti:

- Několik kompenzací studeného uzlu senzoru
- Autozero kanál pro kompenzaci offsetové chyby
- 24-bitový A/D převodník pro citlivost měření 0,02°C
- Podpora termočlánků typu J, K, T, E, N, B, R, a S

Určen pro CompactDAQ a CompactRIO platformu. [5]

Modul NI 9217

NI 9217 je zásuvný modul pro měření teploty pomocí odporových teplotních čidel. Jedná se o čtyř kanálový modul s rozlišením 24 bitů pro teplotní čidlo PT100. V modulu je možné si vybrat jednu ze dvou možností rychlosti snímání. Vysoká rychlost snímání umožňuje získávat vzorky rychlostí 400 snímků za sekundu (400 s/s), tedy 100 s/s na jeden kanál. Pro snímání v módu vysokého rozlišení jsou hodnoty snímání rychlostí 5 s/s (1,25 s/s na kanál), ale díky tomu je potlačeno rušení o frekvenci 50/60 Hz.

Tento modul automaticky rozpozná, zda se jedná o tří nebo čtyř vodičově zapojená čidla a podle toho nastaví každý kanál na příslušný mód. Chyba na celém rozsahu provozních teplot je menší než 1°C. [6]

Modul NI 9219

Tento zásuvný modul je čtyř kanálové, analogové zařízení pro víceúčelové testování v platformě řady DAQ a RIO. Díky tomuto modulu lze měřit více různých signálů z připojených senzorů, jako jsou dynamometry, tenzometry, termočlánky a jiné. Každý ze čtyř kanálů může být nastaven dle potřeby. Pro napěťové výstupy senzorů je možné využít rozsahu až ± 60 V. Pro proudovou smyčku je k dispozici rozsah ± 25 mA. Rozlišení modulu je 24 bit s rychlostí snímání 100 s/s na každém z kanálů. [7]

Modul NI 9229

Opět se jedná o čtyř kanálový, analogový vstupní modul pro všeobecné použití. Rozdíl oproti NI9219 spočívá v rychlosti snímání. Vzorkovací frekvence u NI 9229 je až 50 ks/s. Modul obsahuje 128 bitový anti-aliasing filtr. Na výběr je ze dvou provedení těchto modulů, buď se šroubovými konektory nebo s BNC konektory. [8]

Modul NI 9237

NI 9237 je čtyř kanálový, analogový vstupní modul pro měření pomocí můstkových metod. Vzorkovací frekvence je 50 ks/s s rozlišením 24 bitů. Má programovatelné poloviční i plné můstky s vnitřním buzením až 10 V. Vyrábí se ve dvou variantách, buď s konektory RJ 50 nebo konektorem D-SUB. [9]

Modul NI 9239

Tento modul je vstupní, čtyř kanálový, analogový se vzorkovací frekvencí 50 ks/s. Rozsah měřicího napětí je ± 10 V s rozlišením 24 bitů. Modul obsahuje anti-aliasing filtr a dodává se se šroubovými nebo BNC konektory.

Modul NI 9411

NI 9239 je digitální vstupní modul s šesti diferenciálními kanály. Frekvence snímání je až 2 MHz. Rozsah vstupního napětí je 0-24V. Je vytvořen pro připojení široké škály průmyslových přepínačů a snímačů.

Modul NI 9862

Jedná se o jedno-portový modul pro řízení vysokorychlostní sítě (CAN). Modul je určen hlavně pro vývoj aplikací, kde je potřeba využití vysoké přenosové rychlosti například pro přenos vysokého počtu snímků a signálů. Tento modul podporuje i komunikace CAN FD, jedná se o další generaci vysokorychlostní CAN komunikace s přenosem až 8 Mbit/s.

4.2. Kamera Basler acA1300-60gc

Pro snímání požadovaných dat byla ústavem ÚADI, strojní fakulty, poskytnuta kamera Basler acA1300-60gc a již zmíněná měřicí platforma od firmy National Instrument.

Jedná se o kameru se snímacím čipem typu CMOS s progresivním skenováním. Maximální snímací frekvence kamery je 60 Hz, které je dosaženo jen při přenosu dat pomocí komunikace GigE bez omezení a při osmi-bitovém barevném rozlišení.

Technický popis

Napájení kamery je zajištěno pomocí ethernetového propojení nebo pomocí 6-pinového konektoru kamery.

Tabulka 6: Specifikace kamery Basler acA1300-60gc

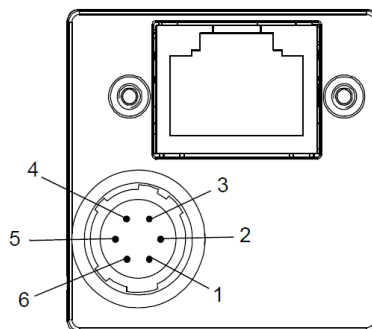
Senzor	CMOS
Rozlišení	1280 x 1024
Barva	8 nebo 12 bit, barevná
Frekvence snímání	60 fps
Komunikace	Gigabit Ethernet, 6- pinový konektor
Výstupní formát videa	8/12 bayer RG, YUV 4:2:2
Připojení objektivu	C-mount, CS-mount
Rozměr (bez objektivu)	6,0 x 2,9 x 2,9 cm

Nastavení parametrů

Kamera umožňuje dva způsoby snímání obrazu a to „global shutter“, což znamená, že je celý obraz zachycen najednou a ne pixel po pixelu, jako je tomu u „rolling shutter“. Start a doba snímání můžou být nastaveny pomocí programu Basler Pylon API, které se pomocí rozhraní GigE uloží do kamery. Druhou možností nastavení startu snímání je pomocí externě generovaného signálu (ExFSTrig), délka expozice je řízena stejným signálem nebo je přednastavena v kameře. Na obrázku 11 je zobrazeno rozložení konektorů na zadní straně kamery. Jednotlivé piny 6-pinového konektoru jsou popsány v tabulce 7.

Tabulka 7: Popis zapojení 6-pinového konektoru kamery basler acA1300-60gc

Pin č.	Popis
1	Napájení kamery +12 VDC
2	I/O port 1 - vstupní
3	nezapojen
4	I/O port 1 - vstupní
5	I/O zemění
6	Zemnicí vodič napájení kamery



Obrázek 11: Konektory pro komunikaci s kamerou
Basler acA1300-60gc

Komunikace

Vstupní komunikační linka, označená na obrázku 11 jako pin číslo 2, může mít jednu ze čtyř funkcí:

- startovací signál pro získání obrazu
- startovací signál pro získání rámce
- signál pro reset čítače rámců
- signál pro reset čítače spouště

Výstupní komunikační linka může být nastavena na jednu z těchto funkcí:

- nepřipravenost pro spuštění další expozice
- nepřipravenost pro získání dalšího rámce
- signalizace aktivní expozice
- signál pro spuštění externího blesku
- signalizace aktivního časovače

Výstupní linka může být nastavena i samotným uživatelem na logickou hodnotu 1 nebo 0.

5. HARDWAROVÉ REALIZACE MĚŘICÍHO SYSTÉMU

Vhodným výběrem měřicího systému a propojení jednotlivých zařízení je základem pro rychlé a v tomto případě přesně časované měření a snímání obrazu.

5.1. Použitý hardware

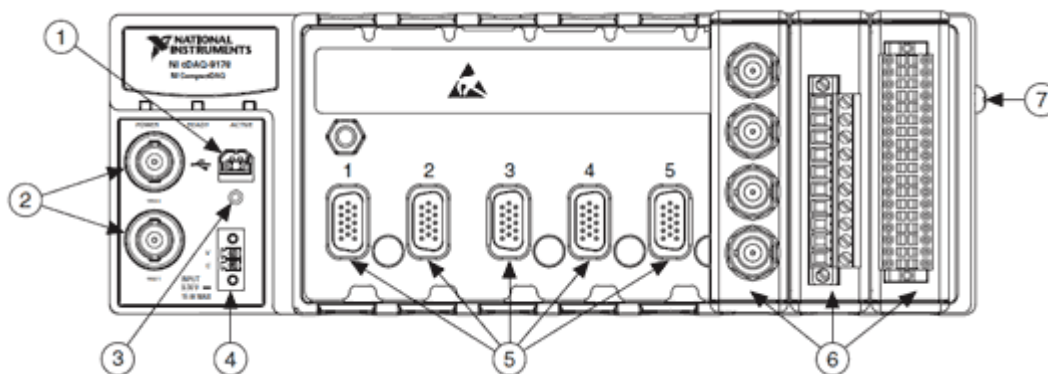
V tabulce 8 jsou vypsány jednotlivé hardwarové části, ze kterých je složen celkový systém pro snímání obrazu pomocí kamery Basler acA 1300-60gc.

Tabulka 8: Hardwarové složení měřicího systému pro snímání obrazu kamerou Basler acA 1300-60gc

pořadí	zařízení
1	cDAQ 9178
2	Kamera Basler acA 1300-60gc
3	Počítač
4	Proudové přizpůsobení

5.1.1. Platforma cDAQ 9178

Měřicí modulární platforma určená pro měření reálných vlastností vnějšího systému. V této diplomové práci je tato platforma použita i pro časování snímání obrazu kamerou Basler acA 1300-60gc. Hardwarové spuštění snímání obrazu je zajištěno časovacím signálem z portu PFI měřicí platformy cDAQ 9178. Výstupní porty PFI platformy cDAQ 9178 jsou zobrazeny na obrázku 12 a označeny číslem 2.



Obrázek 12: Měřicí platforma cDAQ 9178 [4]

V tabulce 9 je popsána měřicí platforma cDAQ 9178, číslování jednotlivých částí platformy vychází z obrázku 12.

Tabulka 9: Popis jednotlivých částí platformy cDAQ 9178

označení na obrázku 12	popis
1	USB konektor
2	PFI 1, PFI 2
3	Šroub pro upevnění USB
4	Napájení platformy 9 - 30 V
5	Neosazené pozice pro měřicí moduly
6	Měřicí moduly série C
7	Šroub pro uzemnění těla platformy

5.1.2. Kamera Basler acA 1300-60gc

Maximální frekvence snímání kamery Basler acA 1300-60gc je 60 Hz. Při snížení rozlišení obrazu je možné získat frekvenci snímání až dvojnásobné hodnoty. Samozřejmě s omezením barevného schéma a doby expozice obrazu. Rychlost snímání závisí na použité síťové kartě počítače a barevném schéma obrazu.

Pro synchronizaci měřených dat pomocí měřicí platformy cdaQ 9178 je potřeba spouštět kameru externím signálem. Proto je kamera připojena k měřicí platformě přes PFI konektor, který je zdrojem synchronizačního signálu.

Další nastavení kamery bude popsáno v další části této práce.

5.1.3. Počítač

Pro ukládání snímaných obrazů, nastavení měřicí platformy cDAQ 9178 a pro měření a ukládání dat z jednotlivých modulů je potřeba připojit do celkového zapojení i počítač.

Pro správnou funkci celého navrženého systému je možné připojit jakýkoliv počítač, osobní nebo přenosný s příslušnou softwarovou a hardwarovou výbavou. Hardwarovou výbavou je myšleno osazení počítače síťovou kartou s možností podpory toku dat, nazvaným *jumbo packed* a konektorem RJ 45.

5.2. Proudové přizpůsobení

Vlastnosti stupně-výstupních portů PFI měřicí platformy cDAQ 9178 jsou zobrazeny v tabulce 10 a v tabulce 11.

Tabulka 10: Výstupní parametry konektoru PFI platformy cDAQ 9178 pro horní úroveň výstupního napětí [4]

podmínky	minimální výstupní napětí [V]
Zdroj 100 μ A	4,65
Zdroj 2 mA	3,60
Zdroj 3,5 mA	3,44

Tabulka 11: Výstupní parametry konektoru PFI platformy cDAQ 9178 pro spodní úroveň výstupního napětí [4]

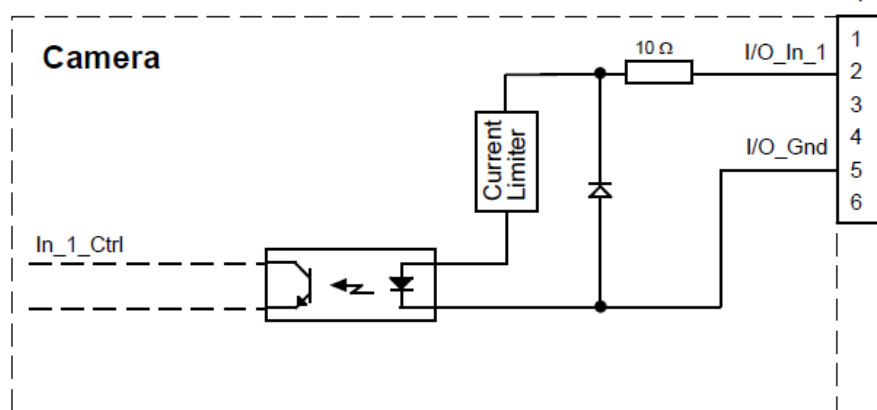
podmínky	maximální výstupní napětí [V]
Zdroj 100 μ A	0,10
Zdroj 2 mA	0,64
Zdroj 3,5 mA	0,80

V tabulce 12 jsou zobrazeny napěťové a proudové vlastnosti vstupního portu kamery Basler acA 133-60gc, tento port je použit pro synchronizaci měřených dat a snímání obrazu.

Tabulka 12: Parametry vstupního portu In_1 kamery Basler acA 1300-60gc při standardním napájení

popis	maximální výstupní napětí [V]
napětí indikující log. 0	0 V až +1,4 V
rozsah napětí, ve kterém není definovaná logická úroveň	+1,4 V až +2,2 V
napětí indikující log. 1	> +2,2 V

Na obrázku 13 je zobrazen vstupní obvod kamery Basler acA 1300-60gc pro externí spouštění.

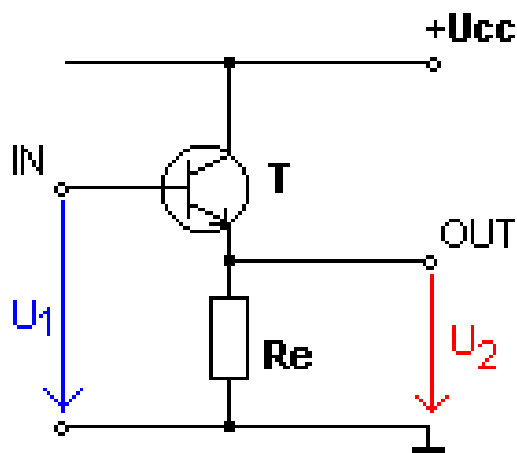


Obrázek 13: Obvod vstupní linky In_1 kamery Basler acA 1300-60gc [12]

Proudový omezovač, na obrázku 13, omezuje tok proudu do kamery v rozmezí 5 mA až 15 mA. Maximální výstupní proud, který je možný odebrat z PFI konektoru měřicí platformy cDAQ 9178, je 8 mA. V tabulkách je však uveden zdroj maximálně 3,5 mA. Protože na signálovém vstupu má kamera rozmezí vstupního proudu 5-15 mA [12], tak je potřeba proud odebíraný z měřicí platformy upravit tak, aby nedošlo k nenávratnému poškození platformy.

Z tohoto důvodu bylo vytvořeno proudové přizpůsobení pomocí emitorového sledovače. Toto přizpůsobení je nutnou součástí celkového zapojení měřícího systému a je vřazeno mezi kameru a měřicí platformu cDAQ 9178.

Na obrázku 14 je základní zapojení emitorového sledovače, emitorový se mu říká proto, že výstup z tranzistorů je veden z emitorů. Oproti zapojením, kde je výstup veden z kolektoru má velkou výhodu pro vedení signálu a to že, neobrací fázi signálu o 180°.



Obrázek 14: Základní schéma emitorového sledovače

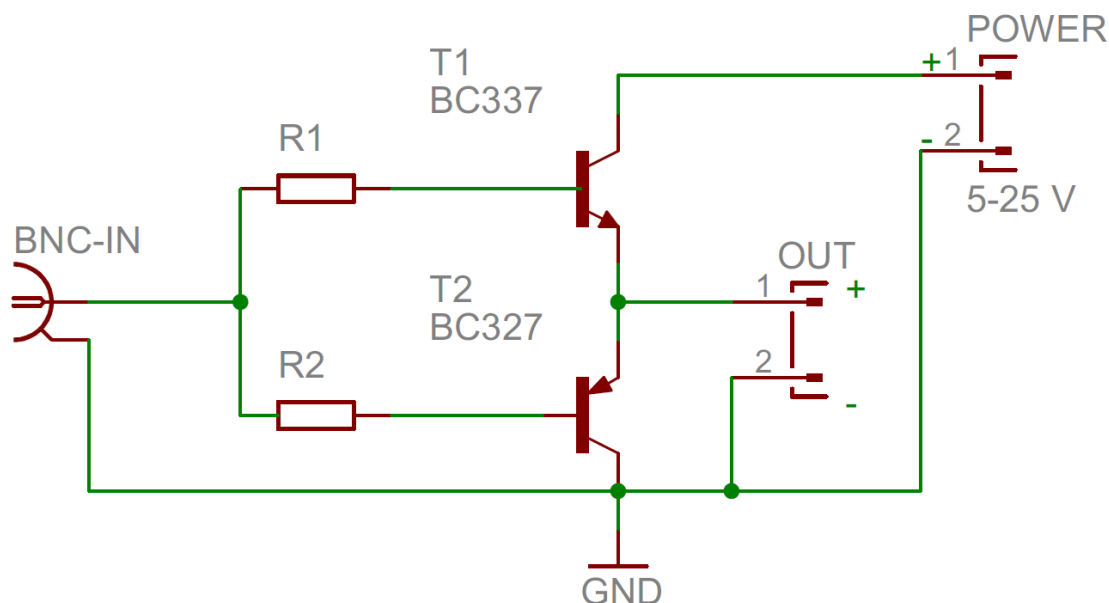
Jak je vidět na obrázku 14, tak ze vstupního kontaktu vede přímá vazba na tranzistor, z toho vyplývá, že na výstupu bude stejná hodnota napětí, jako je na vstupu. Tím není myšlena jen polarita signálu, ale zároveň i téměř stejná velikost. Při sepnutí tranzistoru T dojde k úbytku napětí U_{BE} na polovodičovém přechodu báze-emitor. Toto napětí je úměrné přibližně 0,5 V. Proto na výstupu bude vstupní napětí zmenšené o tuto hodnotu.

Vstupní impedance takového nejednoduššího obvodu, jako je na obrázku 14, je dána odporem R_e a vnitřním odporem tranzistoru. Pro uzpůsobení našeho signálu pro časování spouštění kamery byl použit obvod se dvěma tranzistory, jak jde vidět na obrázku 15. Můžeme říct, že v zapojení na obrázku 15 je odpor R_e nahrazen druhým tranzistorem T2. Při sepnutém tranzistoru T1 je tranzistor T2 uzavřen, tím se jeho vnitřní odpor blíží k nekonečnu, čímž se vstupní impedance celého zapojení ještě zvýší.

Vysokou vstupní impedancí je zajištěn velmi malý vstupní proud. Proud, který je možné odebírat z obvodu, jsou dány proudovou zatížitelností zdroje POWER a maximálním možným kolektorovým proudem tranzistoru.

Zkreslení signálu průchodem emitorovým sledovačem je v podstatě nulové. U zapojení, které je zobrazeno na obrázku 15, nedochází k žádnému časovému posunu výstupního signálu vůči vstupnímu. Jediným zkreslením zůstává oslabení vstupního signálu o napětí, které je potřeba k překonání bariéry pro otevření tranzistoru, tedy již zmiňovaných 0,5 V.

Na obrázku 15 je zobrazeno zapojení, které je použito v této diplomové práci jako zesilovací činitel signálu pro časování externí kamery Basler acA1300-60gc.



Obrázek 15: Elektrické schéma emitorového sledovače

Rezistory R1 a R2 byly zvoleny tak, aby při zkratu v obvodu za těmito rezistory nedošlo k nárůstu proudu nad 2 mA. Určení těchto rezistorů bylo na základě Ohmova zákona pro zvolený bezpečný maximální proud 1 mA.

$$R = \frac{U}{I} \quad [1]$$

$$R = \frac{5}{1 \cdot 10^{-3}} = 5000 \, \Omega$$

Kde: R... odpor rezistoru
U... napětí na rezistoru
I ... proud tekoucí rezistorem

Pro dostatečnou proudovou bezpečnost byl zvolen rezistor z řady E12 s nejbližší nižší hodnotou odporu než hodnota vypočítaná. Byly zvoleny rezistory o odporu 4700Ω.

Protože je proudové zesílení H_{FE} tranzistorů BC 337 a BC 327 v rozmezí 250 – 600, tak je možné vypočítat proud, který poteče z měřící platformy do emitorového sledovače. Víme, že výstupem poteče proud I_{OUT} minimálně 5 mA a maximálně 15 mA.

Pro maximální zatížení vstupních obvodů budeme počítat s tabulkově minimálním proudovým zesílením H_{FE} tranzistoru. Pak maximální vstupní proud I_{IN} bude:

$$I_{IN} = \frac{I_{OUT}}{H_{FE}} \quad [2]$$

$$I_{IN} = \frac{15 \cdot 10^{-3}}{250 \cdot H_{FE}} = 60 \mu A$$

Kde: I_{IN} ... proud tekoucí do báze tranzistoru

I_{OUT} ... proud tekoucí z emitoru tranzistoru

H_{FE} ... proudové zesílení tranzistoru

Z výše uvedeného výpočtu vyplývá, že při maximálním proudu tekoucím z emitorového sledovače, bude při nejhorších podmínkách téct proud z měřicí platformy do emitorového sledovače o velikosti $60 \mu A$. Tyto podmínky jsou spolu s vypočítanými rezistory R1 a R2 dostatečnou ochranou měřicí platformy a zajišťují potřebný výkon pro spouštění snímání kamery Basler acA 1300-60gc v požadovaných intervalech

Protože výstupní porty PFI0 a PFI1 měřicí platformy cDAQ 9178 mají konektory typu BNC, tak jako konektor pro vstupní signál byl použit stejný, tedy BNC. Výstupní konektory a konektory pro napájení byly zvoleny na takzvané banánky, které usnadní připojení kabeláže pro časování kamery a od napájecího zdroje.

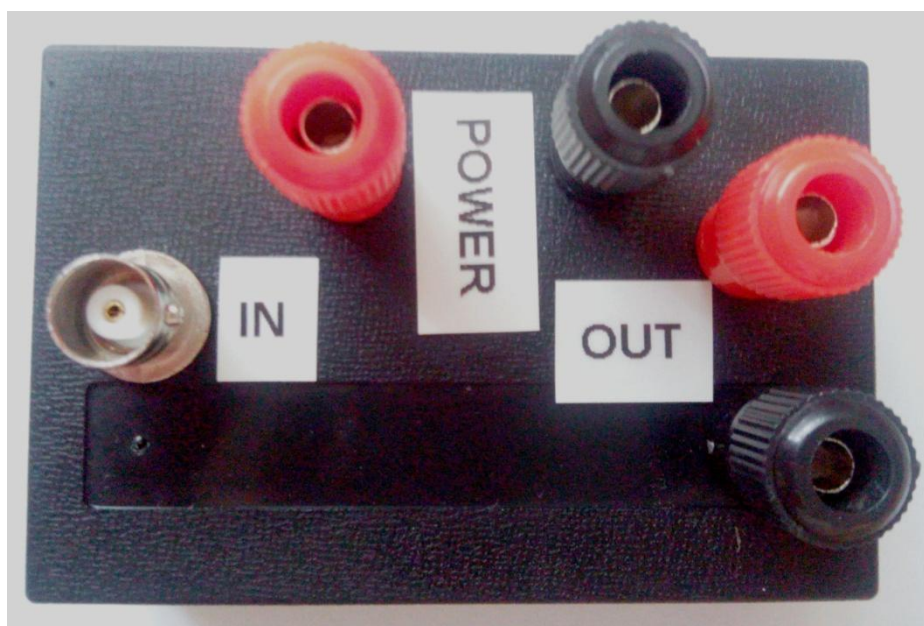
V tabulce 13 jsou vypsány použité součástky pro vytvoření reálného obvodu emitorového sledovače.

Tabulka 13: Součástky pro konstrukci emitorového sledovače

označení	součástka	typ
R1 , R2	rezistor	4,7 k Ω
T1	NPN tranzistor	BC 327 - 40
T2	PNP tranzistor	BC 337 - 40

Pro jednoduchost obvodu emitorového sledovače byla zvolena možnost realizovat zapojení na univerzální desce plošných spojů a nevytvářet vlastní plošný spoj.

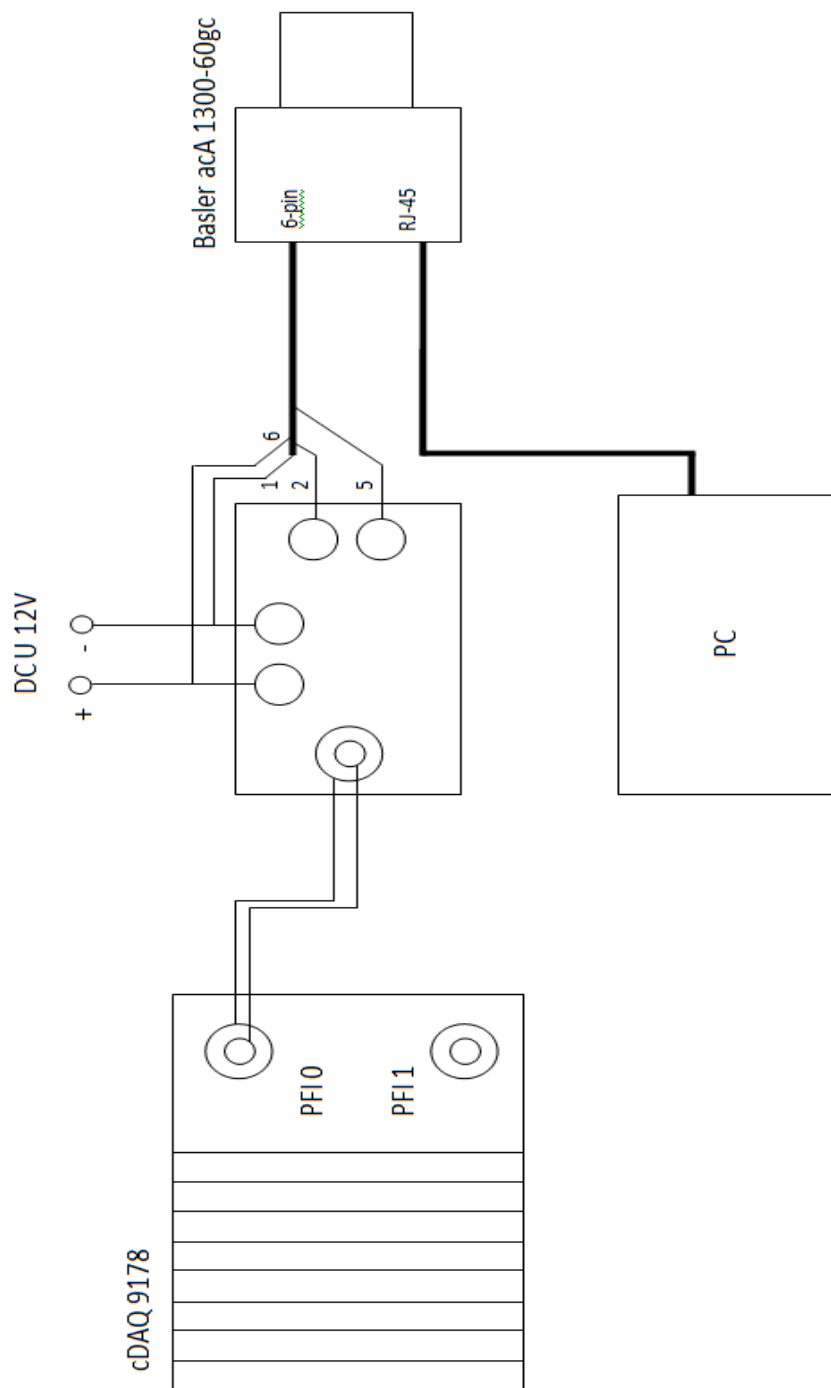
Na obrázku 16 je zobrazen hotový výrobek pro výkonové přizpůsobení signálu z měřicí platformy cDAQ 9178 pro spouštění kamery Basler acA 1300-60gc . Lze vidět, že vstupní portem je již zmiňovaný BNC konektor, ostatní konektory umožňují jednodušší připojení kamery a napájecího zdroje. Svorky „*POWER*“ pro napájení emitorového sledovače mohou být použity i jako místo pro připojení napájecích kontaktů kamery (viz. obrázek 11).



Obrázek 16: Celkový výrobek pro výkonové přizpůsobení - emitorový sledovač

5.3. Celkové hardwarové zapojení

Celkové zapojení měřicího systému pro snímání obrazu kamerou Basler acA 130-60gc je blokově zobrazeno na obrázku 17.



Obrázek 17: Celkové blokové hardwarové zapojení měřicího systému pro snímání obrazu kamerou Basler acA 1300-60gc

5.3.1. Hardwarová konfigurace

Pro správnou komunikaci mezi jednotlivými prvky vytvořeného systému musela být nejprve vytvořena hardwarová konfigurace některých zařízení. Zejména správné nastavení komunikačních vlastností přenosu obrazu mezi kamerou Basler acA 1300-60gc a počítačem, do kterého byly snímány obrazy přenášeny pomocí ethernetové linky.

V této kapitole jsou uvedeny vlastnosti kamery Basler acA 1300-60gc a osobním počítačem s běžnou síťovou kartou.

5.3.2. Konfigurace počítače

Klasická síťová karta v osobním nebo přenosném počítači s operačním systémem Windows je tímto systémem nastavena na parametry vyhovující pro prohlížení internetu a komunikaci mezi jednotlivými počítači.

Z důvodu možného velkého toku dat doporučuje výrobce kamery Basler acA 1300-60gc povolit, v nastavení síťové karty počítače, používání datového rámce typu Jumbo na hodnotu 9 kB MTU. Toto nastavení udává maximální velikost IP datagramu, kterou je možné vysílat/přijímat danou síťovou kartou. V základním nastavení je povolená velikost datagramu jen 1500 B.

Nastavení síťové karty je v systému Windows možné ve správci zařízení -> vlastnosti síťové karty -> upřesnit -> rámec typu Jumbo -> hodnota -> 9 kB.

Každý počítač má svou ochranu z hlediska napadení z vnější sítě. Permanentně je v počítači zapnutá firewall ochrana a obezřetnější mají zapnutou i antivirovou ochranu. Obě tyto ochrany mohou zamezit přenosu přijímaných dat z kamery. Proto je žádoucí mít během snímání vypnutý firewall. Někdy je nutné vypnout i zmiňovanou přídatnou antivirovou ochranu.

5.3.3. Konfigurace kamery Basler acA 1300-60gc

V kameře Basler acA 1300-60gc je důležité nastavit tři parametry. A to jsou *Read timeout*, *Write timeout* a *Packet size*.

Read timeout a *Write timeout* udávají hodnotu času v milisekundách. Tyto časy znamenají dobu, za kterou kamera ohlásí chybu a ukončí přenos, pokud v této době nedojde k zápisu, změně vstupního signálu nebo se ke kameře nedostane potvrzovací

paket z počítače o obdržených datech. Tyto „timeouty“ se kontrolují při spuštění snímání kamery v jakémkoliv režimu.

Pokud je známa požadovaná frekvence snímání kamery, pak oba timeouty mohou být nastaveny na základě této znalosti. Tedy pokud víme, že frekvence snímání obrazu bude v řádech desítek hertz, pak může být hodnota *Read/Write timeoutů* nastavena na nižší hodnotu, aby bylo zachyceno přerušení přenosu co nejdříve. Při příliš vysokém timeoutu by mohlo dojít ke ztrátě i několika snímků v řadě a uživatel by si toho ani nevšiml.

Naopak při nižší snímací frekvenci a externím spouštěním by kamera, při dlouhých timeoutech, hlásila chybu přenosu při každém zapnutí a to ještě dříve než by bylo možné dostat z kamery první snímek. Například mějme nastavenou kameru Basler acA 1300-60gc na tyto parametry:

- *Write timeout*: 300
- *Read timeout*: 300
- Hardwarové spouštění

Dále mějme signál, pro spouštění kamery Basler acA 1300-60gc, který má obdélníkový průběh o frekvenci 3 Hz. To znamená, že by kamera měla poslat obraz 3 krát za vteřinu. Problém je, že *timeout* vyprší ještě dříve, než přijde požadavek na sejmutí prvního obrazu kamerou. Kamera tak zahlásí chybu před hranou signálu, která spustí snímání prvního obrazu.

Vlastnost *Packet size* kamery Basler acA 1300-60gc udává velikosti jednotlivých paketů, které bude kamera vysílat do počítače. Tato vlastnost by měla být ošetřena již zmínovaným nastavením *Jumbo rámce* v síťové kartě počítače (viz. 5.3.2). Některé síťové karty však tento rámec nepodporují, i když v nastavení síťové karty tato možnost existuje. V tomto případě je potřeba nastavit *Packet size* uvnitř kamery. Jak již bylo zmíněno, základní nastavení velikosti paketů v síťových kartách je 1500 B. Proto je potřeba tuto hodnotu nastavit i v kameře. V jiném případě není síťová karta schopna přijímat obraz z kamery.

Pro úlohu snímání úhlu natočení volantu bude stačit spouštěcí signál o frekvenci 15 Hz, minimálně však 8 Hz. Z toho vyplývá nastavení kamery Basler acA 1300-60gc a počítače, které je zapsáno v tabulce 14.

Tabulka 14: Nastavené hardwarové parametry kamery Basler acA 1300-60gc a počítače

zařízení	parametr	hodnota
kamera Basler acA 1300-60gc	Read timeout	200
	Write timeout	200
	Packet size	1500
počítač	rámec typu Jumbo	9 kB

6. REALIZACE PROGRAMOVÉ ČÁSTI

Pro vytvoření celkové softwarové části bylo potřeba rozdělit úkol na několik samostatných okruhů. Jednotlivé kroky byly rozděleny do těchto částí:

- Komunikace s měřicí platformou cDAQ 9178
- Navázání komunikace mezi PC a kamerou Basler acA 1300-60gc
- Vytvoření a export synchronizačního signálu
- Tvorba programu pro sběr dat
- Tvorba programu pro zpracování obrazu

6.1. Programové vybavení počítače

Každé zařízení, připojované k osobnímu počítači musí mít vytvořený software, který je zpravidla součástí balení tohoto hardwaru. To není výjimkou ani u obou hardwarových zařízení, použitých v této diplomové práci.

Pro měřicí platformu cDAQ 9178 je základem pro komunikaci s tímto zařízením program LabVIEW od firmy National Instrument. LabVIEW je grafický programovací nástroj určený zejména pro zpracování signálů a dat. Samotné LabVIEW není dostačujícím programem pro umožnění komunikace s měřicí platformou. Základní program Labview musí být rozšířen o program NI-DAQTMmx, který doplní základní program o bloky, umožňující ovládání měřicí platformy.

Při nainstalování LabVIEW je součástí programového balíčku od NI i program NI MAX, tento program umožňuje kontrolu nad připojenými zařízeními, které jsou schopny být propojené s LabVIEW. Dále je možné vytvořit si v tomto programu simulovanou měřicí platformu s potřebnými moduly. V NI MAX je možná kontrola vlastností připojeného hardwaru a jejich změna.

Základním programem pro komunikaci s kamerou Basler acA 1300-60gc je Pylon Viewer, který zobrazí jednotlivé obrazové zařízení připojené k PC a rozdělí je do skupin, dle typu připojení. Tento program umožní zejména náhled kamery a její základní nastavení. Pro nastavení komunikační části kamery s GigE připojením slouží program Pylon IP configurator. Po nastavení základních vlastností kamery v Pylon IP configuratoru je přehlednější dále upravovat nastavení kamery v programu NI MAX.

Vytvoření spouštěcího signálu a jeho export byl vytvořen v programu LabVIEW. Pro zjednodušení ovládání hlavních parametrů kamery Basler acA 1300-60gc bylo vhodné

zahrnout základní atributy kamery do stejné části programu pro časování signálu. Pro možnost ovládání kamery z programu LabVIEW je potřeba nainstalovat nastavbu základního programu. Vision Acquisition Software rozšíří LabVIEW o programovací bloky, které umožní ovládání kamery. Pak mohou být nastavovány parametry jako rozlišení, zesílení, čas expozice a další.

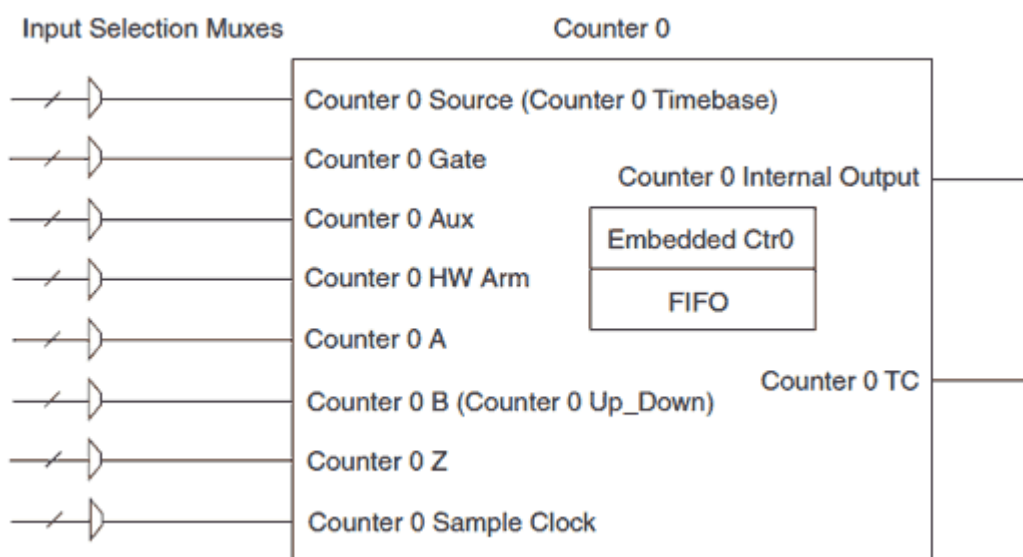
Posledním nutným programem pro vytvoření této diplomové práce je Matlab. Jedná se o simulační a skriptovací programovací jazyk. V tomto prostředí bylo vytvořeno zpracování obrazu pro určení natočení volantu.

6.2. Snímání obrazu a dat

Pro snímání obrazu a dat v jednom okamžiku je nutné vytvořit časovací signál, který obě operace spustí. Musí být zajištěno vhodné nastavení snímací kamery. V této kapitole je vysvětlen postup pro zajištění synchronizace obrazu a měřených dat.

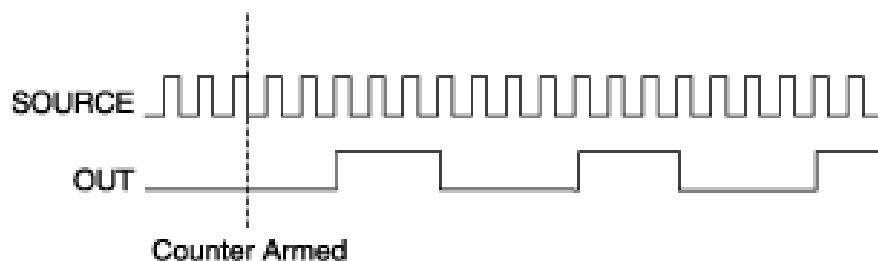
6.2.1. Spouštěcí signál

Pro vytvoření spouštěcího signálu, který časuje snímání jednotlivých obrazů kamerou, bylo využito vnitřního časovače a čítače měřicí platformy cDAQ 9178. Konkrétně ctr_0. Na obrázku 18 je zobrazen čítač 0 měřicí platformy cDAQ. Jedná se o 32-bitový čítač a frekvenční generátor.



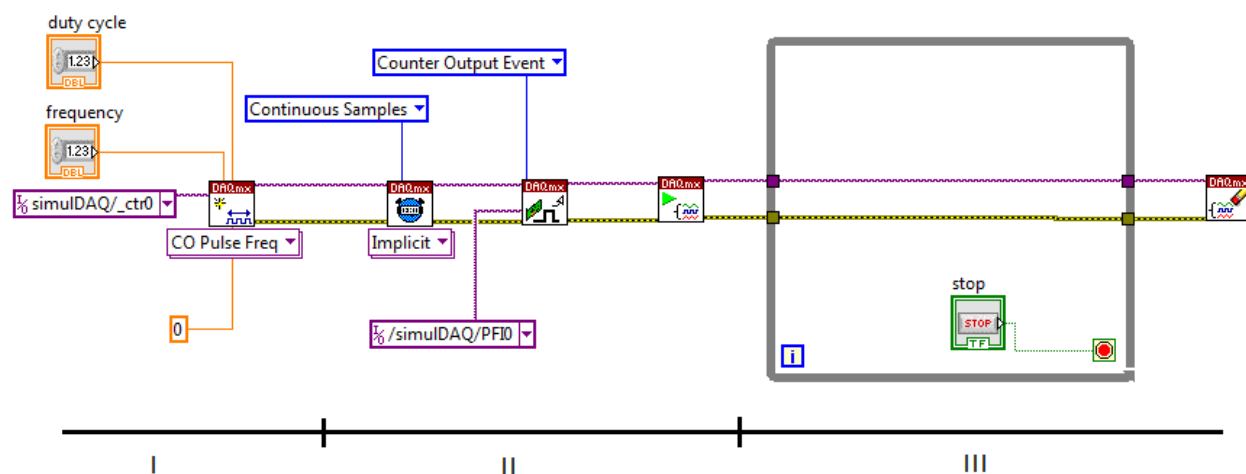
Obrázek 18: Schematické znázornění vnitřního čítače ctr_0 měřicí platformy cDAQ 9178 [4]

Pro vytvoření signálu pro časování kamery Basler acA 1300-60gc byl použit čítač 0 platformy cDAQ 9178 jako zdroj kontinuálních pulsů. Na obrázku 19 je znázorněna funkce použitého časovače jako zdroje obdélíkového signálu. Výstupní signál *OUT* je pak na výstupu čítače (Counter 0 Internal Output) měřicí platformy cDAQ 9178 [4].



Obrázek 19: Chování čítače v módu continuous pulse train Generation, měřicí platforma cDAQ 9178 [4]

Šířka pulsu požadovaného signálu a jeho frekvence je dána uživatelem ve vytvořeném programu v LabVIEW. Na obrázku 20 je zobrazeno blokové zapojení pro vytvoření signálu a jeho následný export.



Obrázek 20: Vytvoření spouštěcího signálu pro kameru Basler acA 1300-60gc v programu LabVIEW

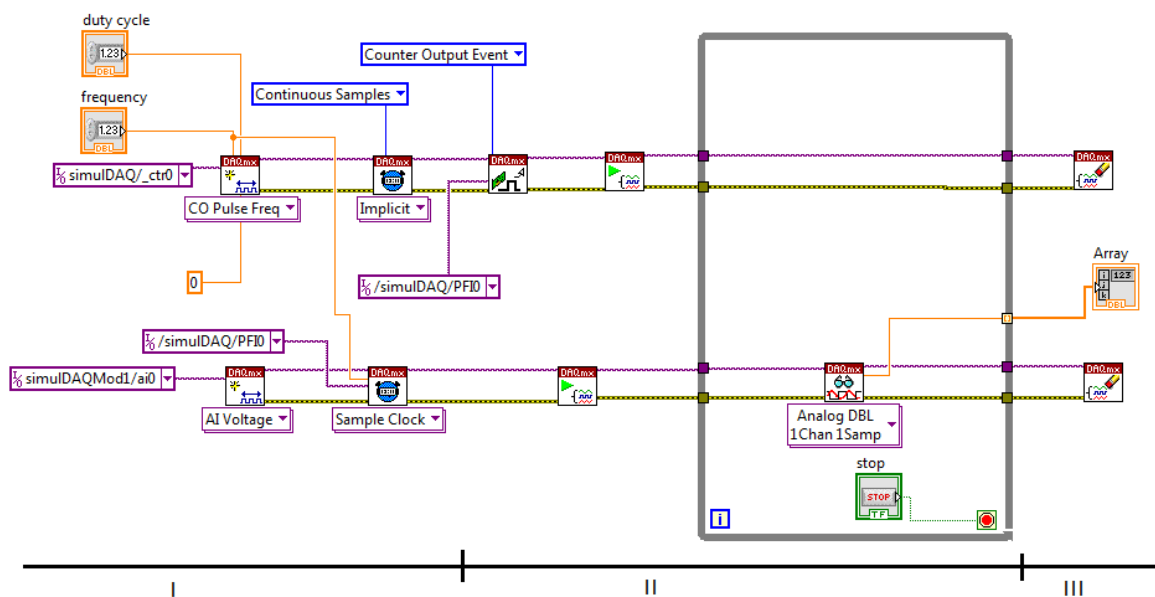
Popis obrázku 20:

- část I: vytvoření spouštěcího signálu pomocí čítače ctr0 o požadované frekvenci (frequency) a šířky pulsu (duty cycle), vytvořený signál má nulové zpoždění
- Část II: udává počet snímků, které mají být generovány, v tomto zapojení je generování bez omezení, dále je pak zvolený signál v části I exportován na vnější port PFI0 zvolené platformy cDAQ
- Část III: zacyklení programu, pro neustálé vysílání signálu na port PFI0 a následné ukončení programu po dodržení ukončovacích podmínek.

Pro problematiku snímání natočení volantu je dostačující frekvence časovacího signálu 10 Hz a je vhodné zvolit střidu 0,5.

6.2.2. Snímání dat

Pro snímání dat z jednotlivých modulů měřicí platformy je potřeba určit časy snímání a počet snímaných hodnot. Pro zajištění synchronizace snímaného obrazu kamerou a dat, které jsou měřeny pomocí zásuvných modulů, je nutné použít stejný signál. Proto je pro časování měření dat použit signál, který je vytvořen v kapitole 6.2.1. Pro demonstraci je na obrázku 21 zobrazen program, který umožňuje snímání hodnot jedním modulem, konkrétně analogovým modulem na pozici 1 v měřicí platformě cDAQ 9178. Měřené hodnoty jsou indexací seřazeny za sebe a po ukončení programu jsou uloženy v poli Array. Popisované zapojení je ve spodní části obrázku 21 v horní části je již popisované vytvoření spouštěcího signálu.



Obrázek 21: Zapojení časovacího signálu a snímání dat z měřicího analogového modulu Mod1 platformy cDAQ 9178

Popis dolní části obrázku 21:

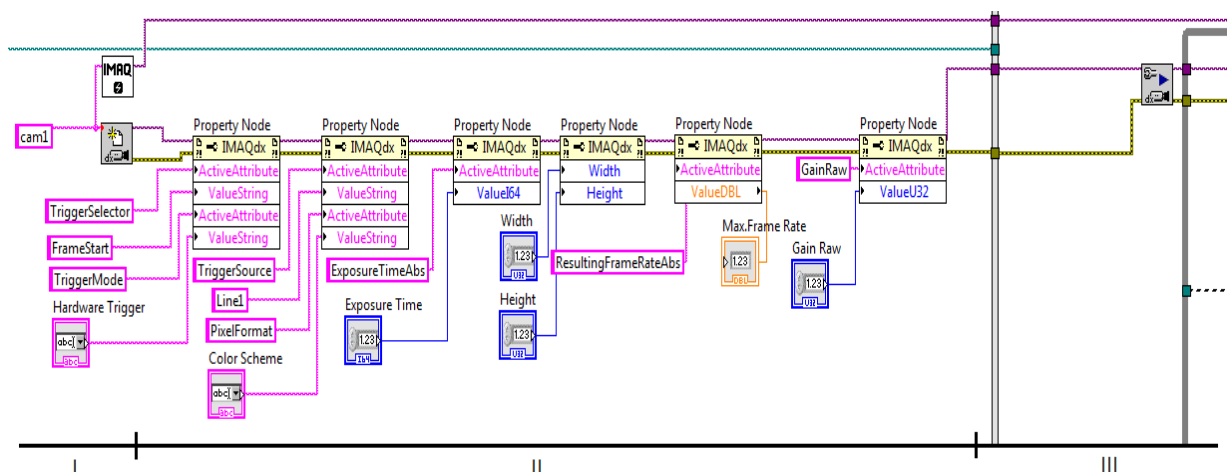
- Část I: otevření komunikačního portu s měřicím analogovým modulem Mod1, časování snímání hodnot – zdrojem je stejný signál, jako je vytvořen v horní části programu, tedy signál z portu PF10
- Část II: snímání hodnot, které jsou na vstupu měřicího modulu Mod1 a jejich ukládání do paměti pomocí indexace
- Část III: ukončení komunikace mezi počítačem a měřicí platformou cDAQ, zobrazení měřených hodnot v poli Array

Stejným způsobem, jako je zajištěno synchronizované snímání měřených hodnot na modulu Mod1 je možná synchronizace dalších zapojených modulů.

Externím pracovištěm na ústavu automobil a traktorů ÚADI, strojní fakulty, nebylo blíže specifikováno rozložení měřicích modulů v platformě cDAQ 9178. Z toho důvodu byl vytvořen simulovaný modul, na obrázku 21 označen jako *ai1*. Pro nastavení programu pro jiné moduly nebo více modulů je nutné změnit název modulu, popřípadě rozšířit program o další spouštění modulů stejným způsobem jako je spouštěn *ai1*.

6.2.3. Nastavení kamery

Pro snímání obrazu je nejprve potřeba nastavit vlastnosti kamery, které umožní získat kvalitní snímek z kamery. Na obrázku 22 je zobrazena část programu v LabVIEW, které umožňuje nastavení potřebných atributů kamery. Všechny potřebné vlastnosti, které bylo potřeba měnit a jejich názvy byly zjištěny z programu NI MAX. Názvy atributů kamery, které jsou vypsány v NI MAX, musely být zapsány do programu LabVIEW bez mezer mezi slovy, bez závorek a s velkými počátečními písmeny každého slova. Například v NI MAX je atribut s názvem „Resulting frame rate (abs)“, pak v programu LabVIEW musel být atribut napsán jako „ResultingFrameRateAbs“.



Obrázek 22: Nastavení vlastností kamery Basler acA 1300-60gc pomocí programu LabVIEW

Popis obrázku 22:

- Část I: vytvoření protokolu pro komunikaci s kamerou cam1 (viz NI MAX)
- Část II: změna atributů zvolené kamery, atributy mohou být z kamery i vyčítány, viz atribut Resultin frame rate (abs)
- Část III: zápis změněných atributů do kamery

Použité atributy kamery Basler acA 1300-60gc

Trigger selector: nastaven na hodnotu „Frame start“, což znamená, že kamera bude čekat na signál, který určí, kdy bude zahájeno snímání.

Trigger mode: určuje, zda spouštění kamery bude softwarově nebo hardwarově, ve vytvořeném programu je výběr hardware trigger ON/OFF

Trigger source: zdroj spouštění, pro hardwarové spouštění kamery musí být nastaven na „Line1“, aby kamera Basler acA 1300-60gc detekovala signál, připojený na pinu I/O_1

Pixel format: udává v jaké kvalitě bude obraz snímán, ve vytvořeném programu jsou na výběr:

Mono 8 – osmi-bitové rozlišení pixelu, šedotónový rozsah barev

Bayer RG8 – osmi-bitové rozlišení pixelu, barevný obraz

Bayer RG12 – deseti-bitové rozlišení pixelu (dva bity jsou 0), barevný obraz

YUV 422 Packed – deseti-bitové rozlišení pixelu, převod na YUV barevný formát

Width: rozlišení obrazu, udává počet pixelů na šířku obrazu

Height: rozlišení obrazu, udává počet pixelů na výšku obrazu

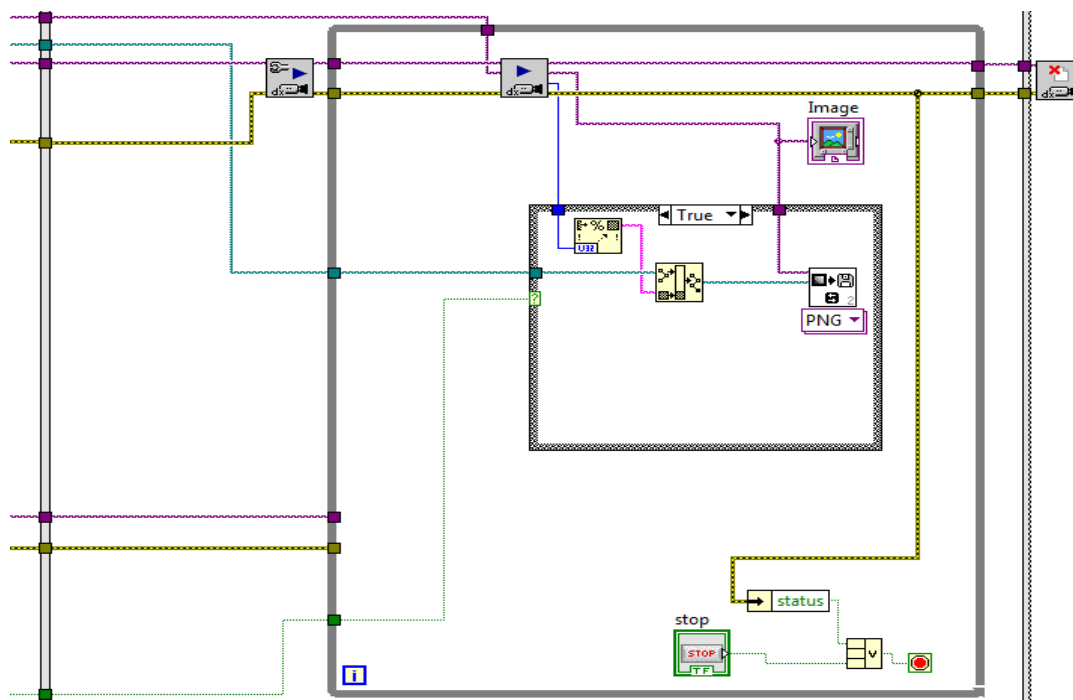
Exposure time: nastavení délky expozice, udává se v μs , čím větší, tím déle bude osvětlován senzor, při příliš vysokém čase může docházet k rozmazání snímku.

Gain raw: zesílení signálu, pro větší dynamický rozsah obrazu, minimálně 0, maximálně 95, s větším zesílením je obraz světlejší

Resulting frame rate: atribut, který je vyčítán z kamery, jedná se o maximální možnou rychlost snímání kamery při daném nastavení

6.2.4. Spuštění snímání a uložení obrazu

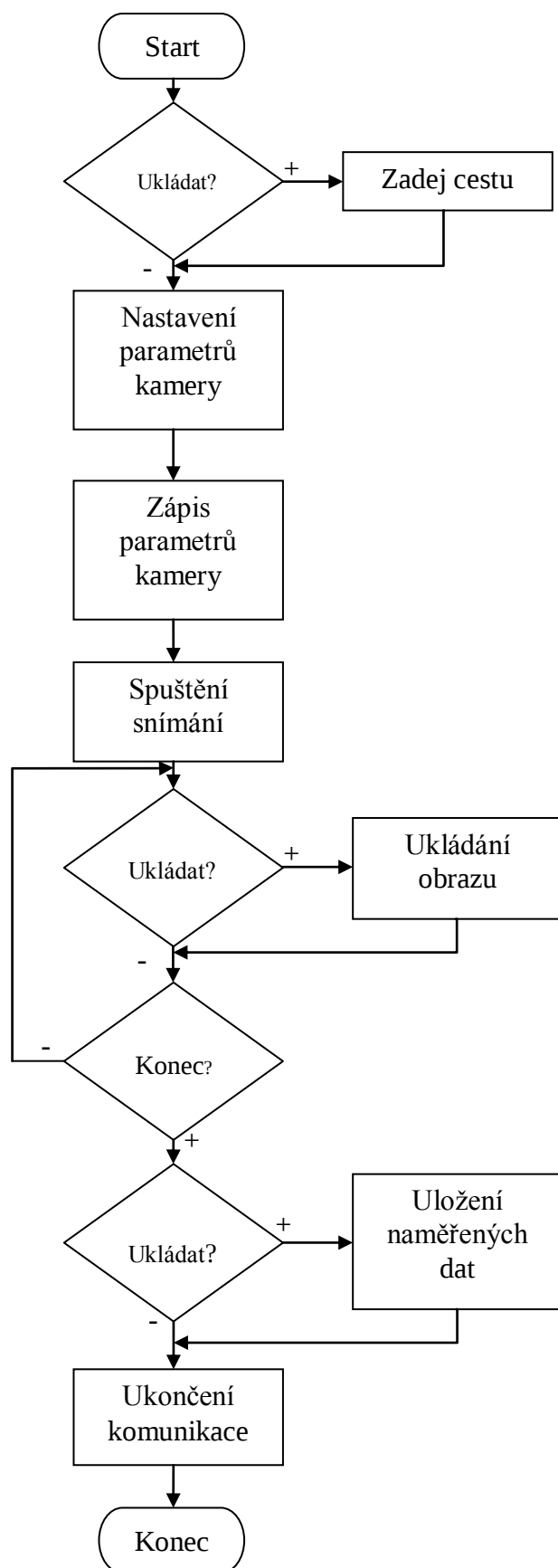
Po nastavení vlastností kamery se může spustit samotné snímání. Na obrázku 23 je zobrazena poslední část programu pro snímání obrazu pomocí kamery Basler acA 1300-60gc, ovládanou přes LabVIEW.



Obrázek 23: Část programu pro ukládání snímaného obrazu z kamery Basler acA 1300-60gc

Snímání kamerou musí běžet v nekonečné smyčce, která se dá ukončit jen tlačítkem STOP nebo při selhání programu. Uvnitř smyčky *while* je podmínka *case*, která udává, zda bude obraz ukládán nebo ne. Pokud je zvoleno ukládání obrazu a je určena cesta, kam má být obraz ukládán, pak je z kamery zjištěno číslo snímaného obrazu a obraz se uloží ve formátu PNG do určené složky. Jako název snímků je dáno jejich pořadové číslo. Po ukončení snímání se ukončí i komunikace s připojenou kamerou.

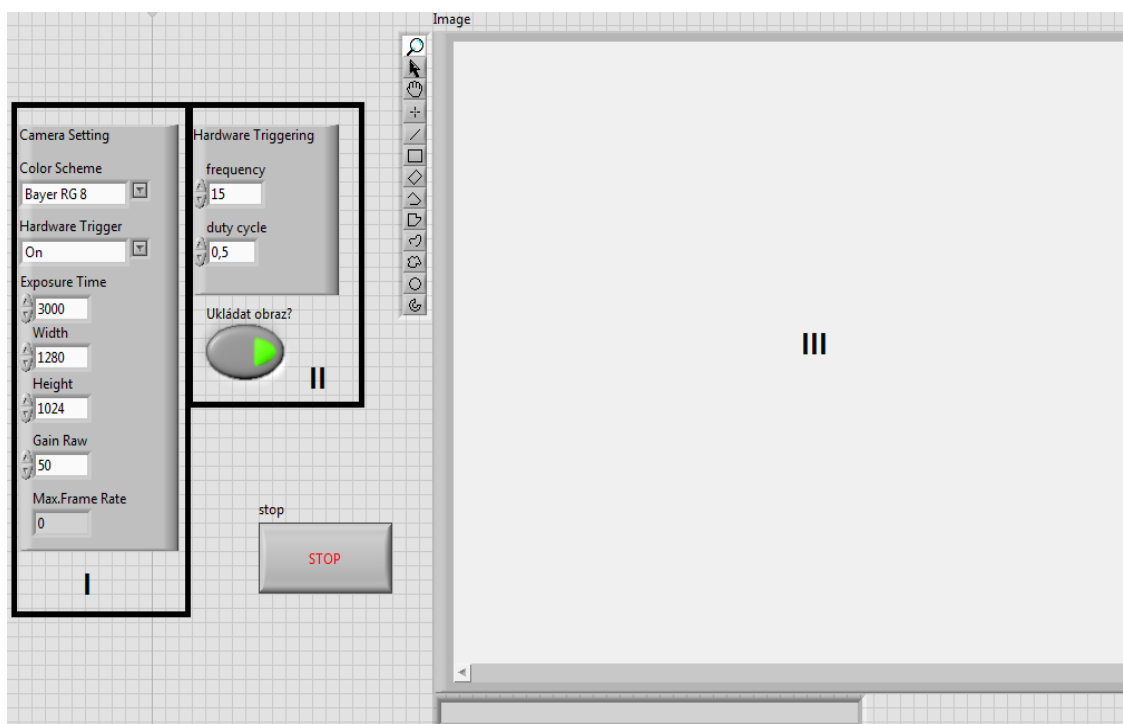
Blokový diagram celého programu pro obsluhu kamery Basler acA 1300-60gc a nastavení snímání je zobrazen na obrázku 24.



Obrázek 24: Vývojový diagram programu pro snímání a ukládání obrazu

6.2.5. Uživatelské rozhraní

Pro nastavení potřebných parametrů uživatelem bylo v prostředí LabVIEW vytvořeno uživatelské rozhraní. Rozhraní je přehlednější pro uživatele a umožňuje nastavit parametry jen z přednastavených hodnot. Toto rozhraní je zobrazeno na obrázku 25.



Obrázek 25: Uživatelské rozhraní pro ovládání kamery Basler acA 1300-60gc

Popis uživatelského rozhraní:

- Část I: prostor pro nastavení vlastností kamery, jako jsou barevné schéma, rozlišení a další
- Část II: prostor pro nastavení parametrů spouštěcího signálu, tedy jeho frekvence a jeho střídání, dále je zde volba, zda se bude snímáný obraz ukládat
- Část III: prostor pro zobrazení právě snímáného obrazu, vhodné pro kalibraci kamery

6.3. Zpracování obrazu

Snímání a následné uložení obrazu bylo popsáno v předchozích kapitolách. Nyní je nutné získané obrazy zpracovat. Zpracování samotných obrazů je prováděno v programovacím prostředí Matlab.

6.3.1. Příprava sekvence obrazů

V prvním kroku programu je potřeba určit cestu k adresáři s uloženými fotkami. Při spuštění programu je tedy uživatel požádán o zadání umístění fotogalerie, která má být zpracovávána. Pro vytvoření seznamu obrazů, které jsou umístěny v udané složce, se musel nejprve určit počet obrazů. Po zjištění počtu souborů ve složce je nutné nepočítat s prvními dvěma soubory, protože tyto soubory jsou systémové a udávají vlastnosti složky. Dále bylo nutné počítat s možností, že v určené složce mohou být uloženy měřená data, jako jeden soubor. V případě že je v adresáři soubor s názvem „data“, tak je dále počítáno s počtem obrazů o jedna menším.

Po určení zdrojové složky a počtu obrazů je nutné vytvořit samotný seznam obrazů. Pro vytvoření seznamu byla vytvořena nová datová struktura. Každá buňka vytvořeného pole má čtyři prvky, které vypovídají o obrazu. Tyto prvky jsou:

- *img*: v tomto parametru je uloženo jméno obrazu, pod kterým je obraz uložen v paměti počítače
- *points*: obsahem jsou čtyři čísla, která udávají pozici zkoumaných bodů v obraze, uloženy v pořadí [x1 y1 x2 y2]
- *rotation*: udává vypočítaný úhel, ve kterém je volant natočený
- *direction*: udává směr rotace volantu

Pro další zpracování sekvence musí být obrazy správně seřazeny, protože po načtení nejsou načteny jména obrazů v pořadí 1,2,3 atd., ale pokud je obrazů více než 10, pak jsou prvotně načteny v pořadí 1,11,12 ... 2,21, ... Proto byla vytvořena funkce pro seřazení existujícího pole, podle jeho názvu. Funkce se nazývá *serad_P* a je založena na principu bubblesort. Principem je srovnávání sousedních prvků, v našem případě jejich názvů. Pokud jsou tyto dva prvky seřazeny nesprávně, tak se vymění. Takto se dokola prochází celé pole, dokud se nevymění žádný ze sousedních prvků.

6.3.2. Předzpracování obrazu

Prvním krokem pro úpravu načteného obrazu je jeho převod z RGB do YCbCr prostoru. Tímto převodem vznikne tak jako u RGB modelu tří-dimenzionální matice obrazu. Rozdílem mezi RGB a YCbCr je, že jednotlivé roviny v 3D matici RGB modelu odpovídají jedné barvě, tedy červené, zelené a modré. Roviny matice YCbCr jsou v tomto pořadí: rovina Y odpovídá jasů obrazu, rovina Cb odpovídá modré barvě a Cr barvě červené.

Dále se pracuje jen s první vrstvou modelu YCbCr, tedy s šedotónovým obrazem.

Pro určení úhlu natočení volantu je potřeba zvýraznit určité body obrazu. V této diplomové práci byly zvoleny dva body pro určení úhlu natočení. A to bod uprostřed volantu a bod na horním okraji. Příklad tohoto uspořádání je na obrázku 26.



Obrázek 26: Vzor uspořádání značek na volantu

Jelikož přístrojové desky osobních automobilů jsou obvykle černé, tak je předpokladem pro další úpravu tmavší pozadí volantu. Bílé nebo světlé plochy nebo odlesky, které jsou menší, než značky jsou dalším postupem odfiltrovány.

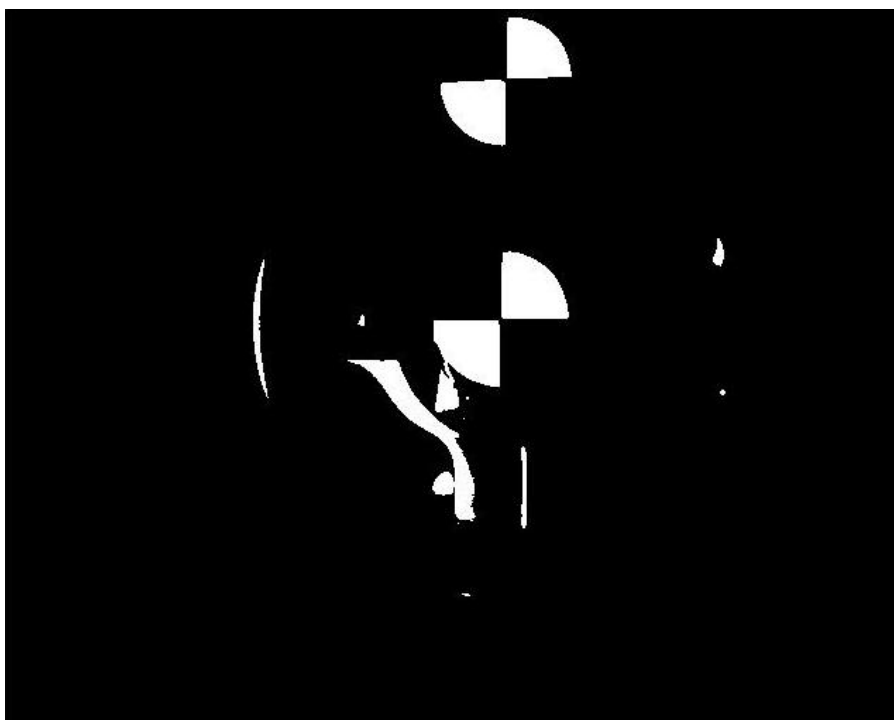
Po převodu obrazu na šedotónový je na řadě převod do binární podoby, tedy jen černou a bílou barvu v obraze. Převod na binární obraz je vytvořen pomocí prahování.

Postup je ten, že se určí práh jasu, který rozdělí obraz na dvě půlky, tedy, zda bude daný pixel bílý nebo černý.

Určení prahu pro převod obrazu do binární podoby byl proveden na základě příkazu *graythresh(I)*, kde *I* je obraz, na který budeme prahování aplikovat. *Graythresh* je funkce, která vrátí desetinné číslo v rozmezí 0-1, které udává globální práh obrazu na základě Otsu metody. [13]

Po určení prahu následuje převod na samotný binární obraz. Tím vznikne obraz, na kterém jsou viditelné již zmiňované odlesky a menší světlé části obrazu. Obrázek 26 je po převedení na binární obraz zobrazen na obrázku 27. Na tomto obraze jsou velmi znatelné rušivé objekty, které je nadále potřeba odstranit, abychom mohli přesně lokalizovat samotné značky.

Pro odstranění rušivých objektů v binárním obrazu je použita řada morfologických operací. První operací je eroze. Eroze na základě strukturního elementu *B* dochází k zjednodušení obrazu. Pomocí eroze se zmenšují binární objekty v obrazu. V případě velmi malého objektu dojde až k jeho zmizení, záleží na tvaru a velikosti elementu *B*. Vzorec pro výpočet eroze obrazu je číslo 3.



Obrázek 27: Obraz po převedení do binární podoby

$$I \ominus B = \{p \in \mathcal{E}^2 : p + b \in I \text{ pro } \forall b \in B\} \quad [3]$$

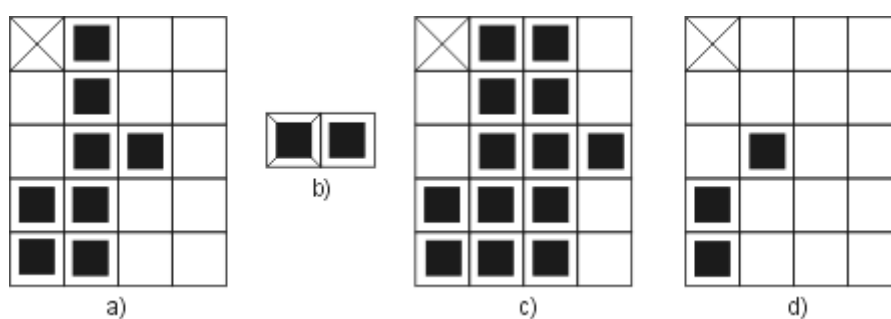
Kde: I ... původní obraz

B ... strukturní element

b ... pixel strukturního elementu

p ... pixel výstupního obrazu

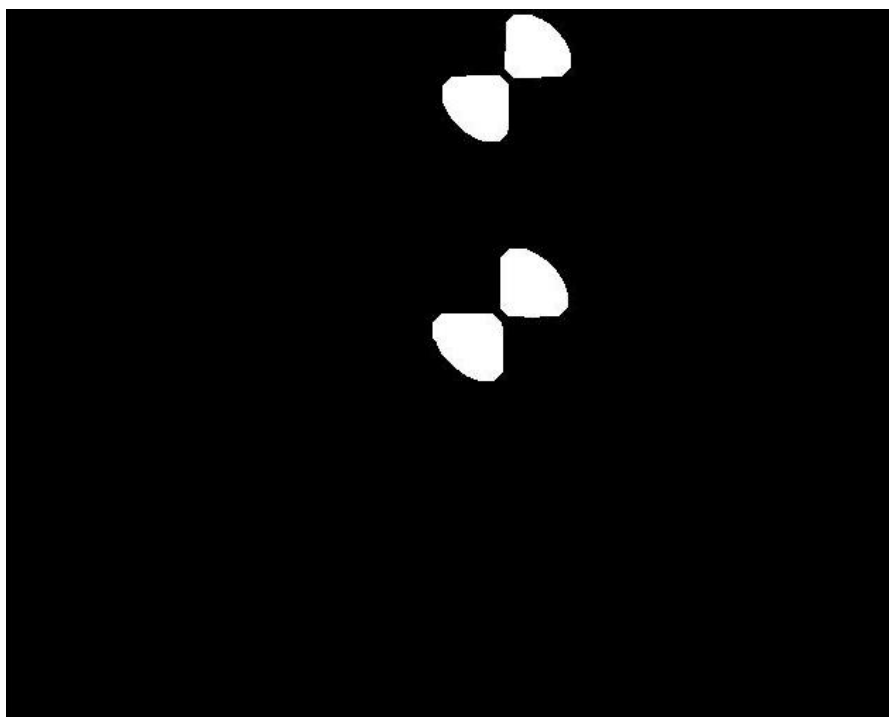
Pro příklad je na obrázku 28 (d) zobrazen postup úpravy jednoduchého obrazu pomocí eroze. Eroze aplikovaná na obrázek 27 je znázorněna na obrázku 29.



Obrázek 28: Příklad funkce dilatace (c) a eroze (d) na původním obraze (a)



Obrázek 29: Binární obraz po morfologické operaci eroze



Obrázek 30: Binární obraz po morfologické operaci eroze a dilatace

Dalším krokem úpravy je opačná transformace obrazu. Jedná se o dilataci obrazu, která opět zvětší objekty, které v obraze zůstaly. Eroze a dilatace nejsou inverzními operacemi, právě proto, že některé objekty mohou zaniknout a zpětnou dilatací se v obraze již nezobrazí. Dilatace je vektorový součet množin I a B . Obrázek 29 po aplikování dilatace je zobrazen na obrázku 30. Aplikování dilatace probíhá dle vzorce 4.

$$I \oplus B = \{p \in \mathcal{E}^2 : p = i + b \in I \text{ pro } \forall i \in I; \forall b \in B\} \quad [4]$$

Kde: I ... původní obraz

B ... strukturní element

b ... pixel strukturního elementu

p ... pixel výstupního obrazu

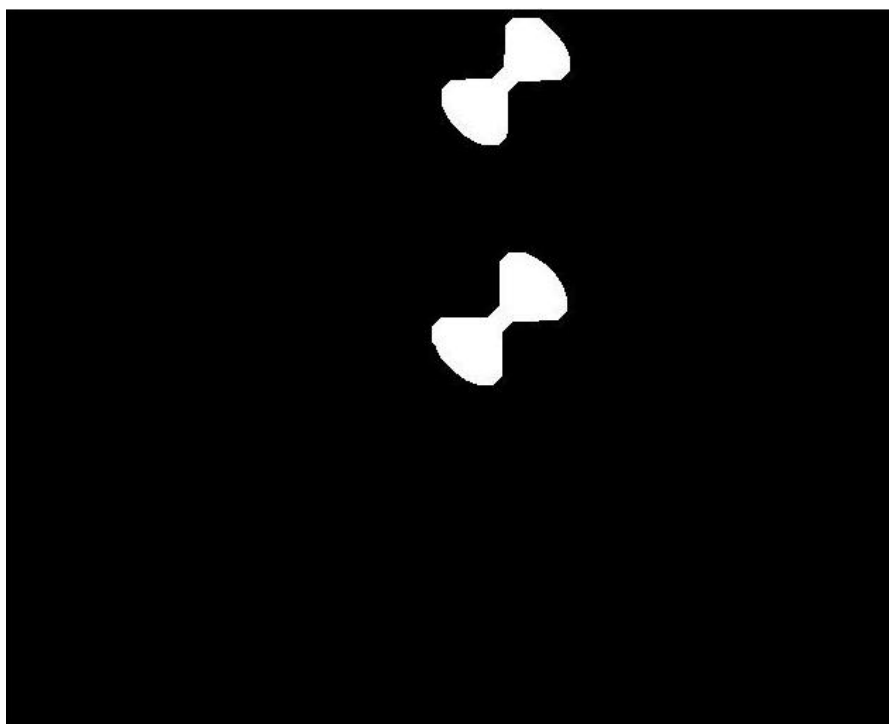
Poslední metodou v předzpracování obrazu je morfologická operace nazvaná uzavření. Tato operace je definována pomocí eroze a dilatace. Uzavření zachovává

celkový tvar objektu v obraze a spojuje blízké objekty a zaplňuje malé díry v objektu. Rovnice pro uzavření je zapsána jako rovnice 5. Výsledek morfologické operace uzavření, aplikované na obrázek 30 je zobrazen na obrázku 31.

$$I \bullet B = (I \oplus B) \ominus B \quad [5]$$

Kde: I ... původní obraz

B ... strukturní element



Obrázek 31: Aplikace operace uzavření na obrázek 30

6.3.3. Určení pozice značek v obraze

Z obrazu již byly vysegmentovány samotné značky. Pro výpočet úhlu natočení volantu musela být nejprve určena pozice těchto značek. Pro určení pozice byla použita takzvaná amplitudová projekce obrazu. To znamená, že se počítá součet jasových stop v obraze. Počítá se vždy jedním směrem, horizontálně nebo vertikálně. Jedná se o součet hodnot všech pixelů v každém řádku / sloupci. Pro horizontální amplitudovou projekci platí rovnice 6, jedná se tedy o součet hodnot pixelů ve sloupci.

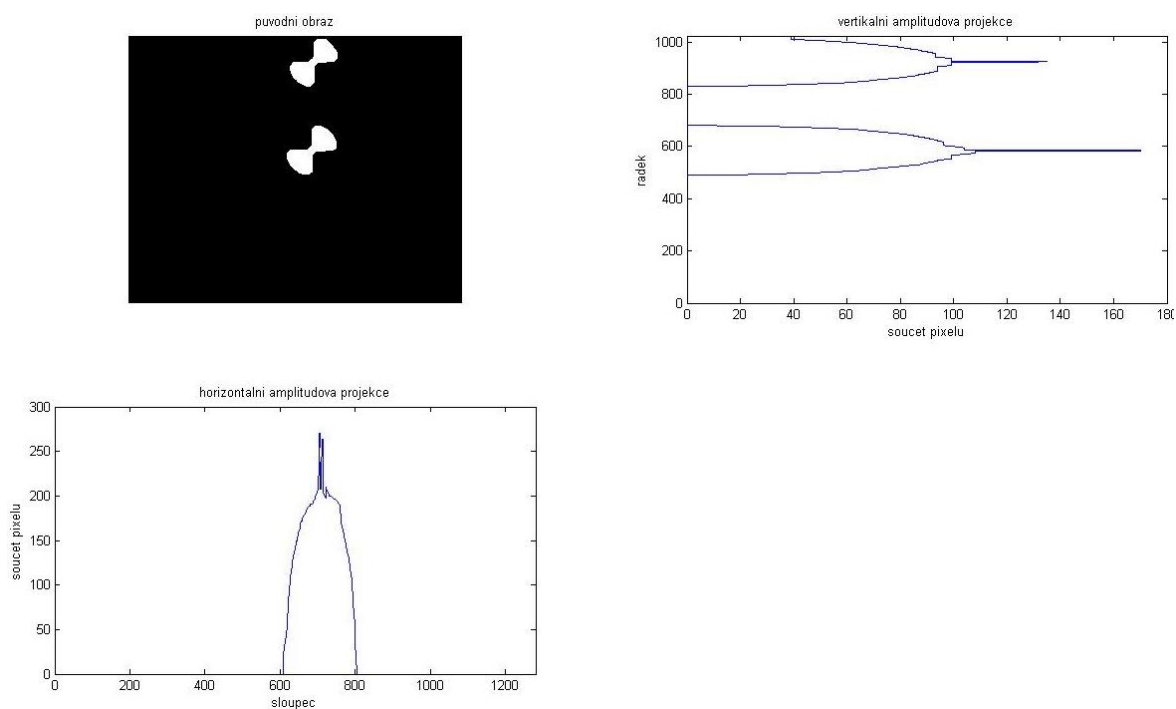
$$S_j = \sum_{i=1}^n p_{i,j} \quad [6]$$

Kde: S_j ... součet pixelů ve sloupci j

$p_{i,j}$... pixel obrazu na i -tém řádku a j -tém sloupci

n ... počet řádků

Tím dostaneme přibližnou pozici bodů v obraze. Pokud se však značky v jednom ze směrů překrývají, pak není možné získat přesnou pozici obou bodů. Příklad výsledku amplitudové projekce, aplikované na obrázek 31 je zobrazen na obrázku 32.



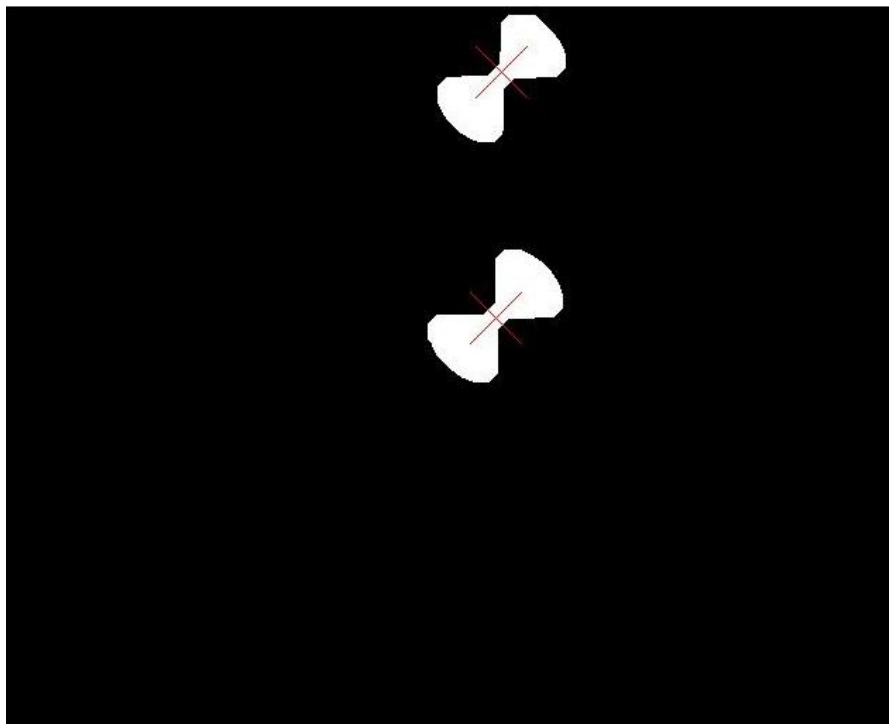
Obrázek 32: Aplikace amplitudové projekce, vertikální AP (vpravo), horizontální AP (dole)

Jak je vidět na obrázku 32, značky se v horizontální amplitudové projekci překrývají přesně, to však není nikdy zajištěno. Proto bylo nutné zjistit, ve kterém z obou směrů amplitudové projekce existují dva oddělitelné vrcholy projekce.

Po určení směru, ve kterém se značky nepřekrývají, byly v tomto směru vytvořeny dvě submatice. Tyto submatice reprezentovaly prostor, ve kterém se nacházel každá ze značek. V případě, jaký je na obrázku 32 byly vytvořeny submatice, které obsahovaly na šířku stejný počet pixelů, jako zdrojový obraz a na výšku byla každá submatice o 10

pixelů větší, než šířka každého nenulového úseku grafu. Poté byla amplitudová projekce aplikována znovu, zvlášť na každou z těchto submatic.

Určením okrajů každé ze značek byl určen střed značky, rozdělením nenulového úseku amplitudových projekcí na poloviny. Určení pozice značek je na obrázku 33.



Obrázek 33: Určení pozice středu značek

6.3.4. Určení úhlu natočení volantu

Byly určeny pozice obou značek v obraze, pro určení úhlu je třeba ale znát, která z těchto značek je na středu volantu. Jako středová značka se určuje ta, která je nejbližší středu celého obrazu, proto je žádoucí, aby střed volantu byl na středu snímání kamery. Vytvořená funkce, která určuje pozici značek, vrací čtyři čísla, která udávají x-ové a y-ové pozice každé značky. Jako první značka je vždy značka na okraji volantu.

Úhel natočení volantu se počítá aplikací goniometrické funkce arkus tangens. Výpočet úhlu natočení je v rovnici 7.

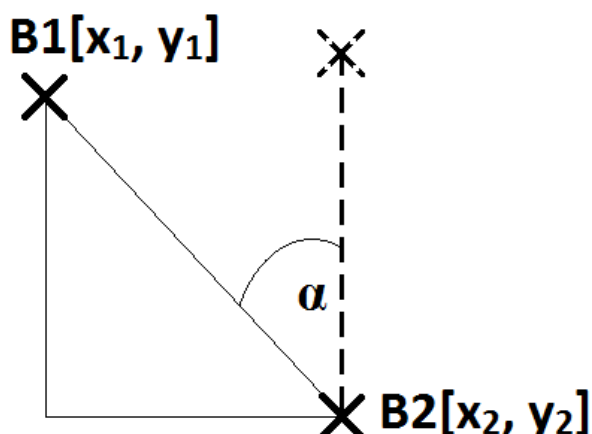
$$\alpha = \arctan\left(\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}\right) \quad [7]$$

Kde: α ... úhel natočení

x_1, x_2 ... x-ové souřadnice 1. a 2. bodu

y_1, y_2 ... y-ové souřadnice 1. a 2. bodu

Na obrázku 34 je znázornění výpočtu úhlu natočení volantu.



Obrázek 34: Znázornění výpočtu úhlu natočení volantu pomocí bodů B1 a B2

Celkový úhel natočení byl určen až při sekvenci obrazů za sebou. Protože volant u automobilu lze otočit o více než 360° , tak bylo nutné ošetřit i tuto alternativu. Společně s možnostmi točení volantu vlevo nebo vpravo a otočení o 360° je do struktury pole ukládán ve formě zkratk. V tabulce 15 jsou vyznačeny zkratky, které jsou použity pro určení směru a celkového úhlu natočení.

Tabulka 15: Význam zkratk použitých v programu pro určení úhlu natočení volantu

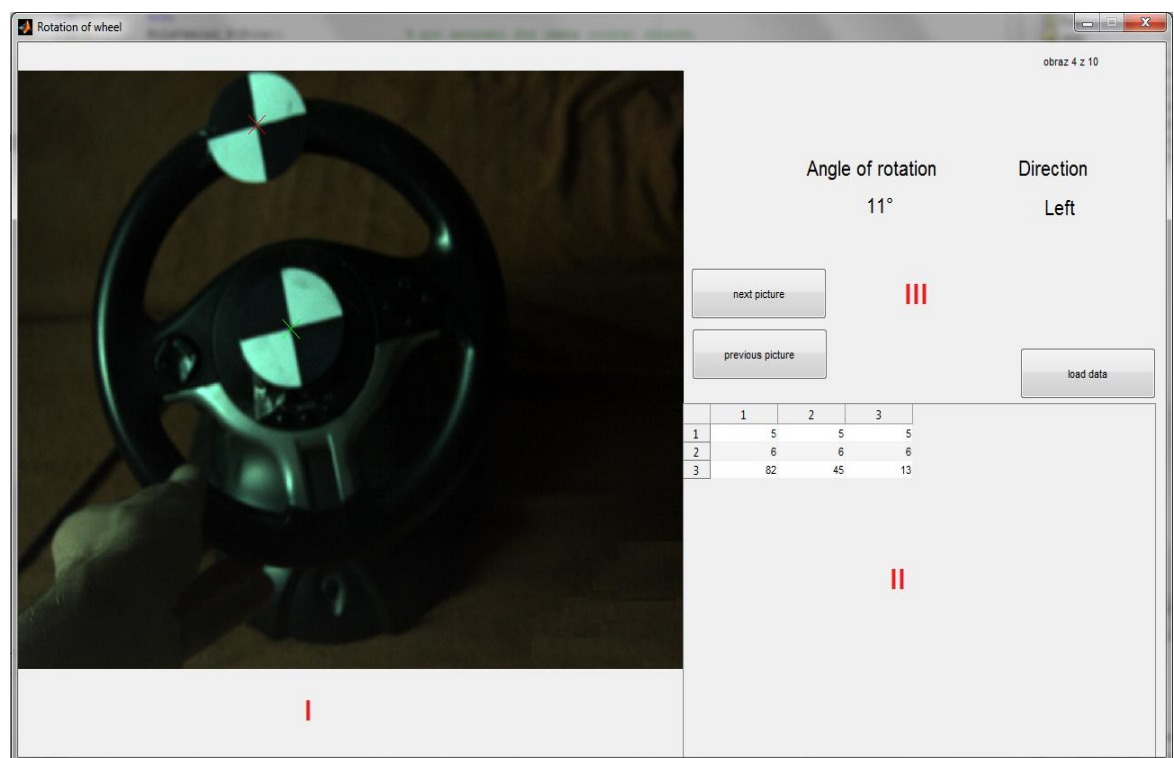
Zkrat ka	význam
L1	Otočení volantu vlevo, méně než 360°
L2	Otočení volantu vlevo, více než 360°
P1	Otočení volantu vpravo, méně než 360°
P2	Otočení volantu vpravo, více než 360°

Výpočet úhlu natočení o více než 360° vychází ze sekvence obrazů. Proto je požadováno, aby při spuštění snímání obrazu byly kola vozidla v přímém směru, tedy úhel natočení volantu blízký nule.

6.4. Uživatelské rozhraní

Pro zobrazení výsledků výpočtů a naměřených dat bylo vytvořeno uživatelské rozhraní, které je zobrazeno na obrázku 35. Uživatelské rozhraní bylo rozděleno do tří částí, které jsou na obrázku 35 označeny červenými římskými číslicemi:

- část I: prostor pro zobrazení nasnímaného obrazu
- část II: tabulka pro naměřená data
- část III: prostor pro zobrazení vypočítaného úhlu a směru rotace volantu, tlačítka pro posun mezi jednotlivými obrazy, tlačítko pro načtení naměřených dat



Obrázek 35: Uživatelské rozhraní pro zobrazení výsledku výpočtu rotace volantu

V tabulce 16 je souhrn všech vypracovaných programů a funkcí pro určení úhlu natočení volantu z obrazu. Tabulka obsahuje název funkce a její stručný popis.

Tabulka 16: Seznam funkcí, vytvořených pro výpočet úhlu natočení volantu

Název programu	Popis programu
nacitani_obrazu.m	hlavni program, ze kterého jsou volány ostatní funkce pro výpočet úhlu natočení volantu
Serad_P	funkce pro seřazení pole dle názvů obrazů
vypocet.m	- funkce pro uskutečnění samotného zpracování obrazu a následný relativní výpočet úhlu natočení - výstupem je pole s názvy obrazů a jejich vlastnostmi
AmProj.m	- funkce pro aplikaci amplitudové projekce na celý obraz - výstupem je pozice značek v obraze
AP.m	- funkce pro aplikaci amplitudové projekce na dvě vyříznuté části původního obrazu - výstupem je pozice značky v každém z obrazů
rot_way.m	funkce pro určení absolutního úhlu natočení volantu, vychází ze sekvence obrazů
guid.fig	schéma uživatelského rozhraní
guid.m	funkce pro obsluhu uživatelského rozhraní

7. VERIFIKACE SYSTÉMU

Pro otestování přesnosti výpočtu úhlu natočení volantu byl použit herní volant „joyrider pro“ s určováním polohy na základě potenciometru.

7.1. Úhel natočení volantu

Snímání natočení volantu „joyrider pro“ je zajištěno pomocí potenciometru uvnitř zařízení. Potenciometr uvnitř použitého volantu měl odpor v rozmezí 0 kΩ až 50 kΩ a průběh odporu byl lineární. Rozsah natočení volantu odpovídal rozsahu $\pm 100^\circ$ od středové polohy. Pro určení převodu mezi odporem potenciometru a úhlem natočení volantu bylo potřeba určit okrajové polohy. Změřené vlastnosti volantu jsou uvedeny v tabulce 17.

Odpor potenciometru R byl měřen pomocí digitálního multimetru Mastech M-3900. Úhly α , jsou zjištěné meze rotace volantu pro určení převodní konstanty k.

Tabulka 17: Mezní hodnoty úhlu natočení volantu

Úhel natočení volantu [°]	R [kΩ]
0	25,1
-90	8,7
+90	42,3

Dle rovnice 8 platí pro převod odporu na úhel konstanta $0,187 \Omega/^\circ$.

$$k = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}} \quad [8]$$

$$k = \frac{42,3 - 8,7}{90 + 90} = 0,187 \Omega/^\circ$$

Kde: $R_{\max}$...odpor potenciometru při $+90^\circ$

$R_{\min}$...odpor potenciometru při -90°

$\alpha_{\max}$... úhel $+90^\circ$

$\alpha_{\min}$... úhel -90°

k ... převodní konstanta

Pro vyzkoušení výpočtu úhlu natočení volantu bylo nasnímáno 14 snímků v rozmezí $\pm 100^\circ$, při kterých byl zároveň změřen odpor R potenciometru uvnitř testovacího volantu. Naměřené a vypočítané hodnoty úhlů natočení volantu α jsou v tabulce 18. Výpočet úhlu natočení volantu ze změřeného odporu R je naznačen v rovnici 9. Úhel α_R určuje úhel, vypočítaný dle rovnice 9, úhel α_{PROG} určuje úhel, vypočítaný pomocí vytvořeného programu.

Tabulka 18: Naměřené a vypočítané hodnoty úhlu natočení volantu pro 14 po sobě jdoucích snímků

Číslo snímku	R [k Ω]	α_R [°]; směr	α_{PROG} [°]; směr	Rozdíl [°]
1	24,5	3,21; vlevo	3; vlevo	0,21
2	19,7	28,88; vlevo	29; vlevo	0,12
3	12,5	67,38; vlevo	65; vlevo	2,38
4	8,8	87,17; vlevo	88; vlevo	0,83
5	6,5	99,47; vlevo	99; vlevo	0,47
6	15,0	54,01; vlevo	61; vlevo	6,99
7	21,7	18,18; vlevo	16; vlevo	2,18
8	28,0	15,51; vpravo	15; vpravo	0,51
9	33,1	42,78; vpravo	44; vpravo	1,22
10	38,6	72,19; vpravo	74; vpravo	1,81
11	43,4	97,86; vpravo	98; vpravo	0,14
12	37,3	65,24; vpravo	65; vpravo	0,24
13	33,0	42,25; vpravo	43; vpravo	0,75
14	26,5	7,49; vpravo	9; vpravo	1,51

$$\alpha_R = \frac{|R - 25,1|}{k} \quad [9]$$

$$\alpha_R = \frac{|24,5 - 25,1|}{0,187} \doteq 3,21^\circ$$

Kde: α_R ... úhel vypočítaný pomocí odporu potenciometru R

R ... odpor potenciometru

k ... převodní konstanta

Jak je vidět v tabulce 18, tak rozdíl mezi vypočítanými úhly se v osmi případech pohybuje v jednotkách desetin stupně.

Protože použitý volant byl již značně používaný, tak i potenciometr uvnitř volantu měl v některých polohách značnou vůli. Značky v použitých obrazech byly nalezeny přesně. Proto jsou vzniklé rozdíly mezi vypočítanými hodnotami přisuzovány právě nepřesnosti potenciometru.

7.2. Souhrn dosažených výsledků

Prostřednictvím programovacího prostředí LabView byl vytvořen program, obsluhující měřicí platformu cDAQ 9178. Ve stejném prostředí bylo zajištěno vytvoření a export spouštěcího signálu pro kameru Basler acA 1300-60gc. Pro synchronizaci měřených dat platformou cDAQ 9178 a snímání obrazu kamerou Basler acA 1300-60gc byl využit výstupní port PFI platformy cDAQ 9178.

Externím pracovištěm ÚADI byla poskytnuta kamera Basler acA 1300-60gc. Pro snímání úhlu natočení volantu byla tato kamera využita. Ve skriptovacím prostředí Matlab byl vytvořen program pro výpočet úhlu natočení volantu a pro prezentaci získaných údajů. V kapitole 7.1 je zobrazeno zkušební měření pomocí herního volantu „Joyrider pro“ a vytvořeného programu.

Pro správný výpočet programu je nutné, aby plocha snímacího čipu kamery byla rovnoběžně s plochou rotace volantu. Dále je pak nutné, aby střed snímacího čipu byl co nejbližší středu rotace volantu, aby nedocházelo ke zkreslení výsledku. Tyto podmínky může být obtížné splnit při instalaci do vozidla. Bylo by vhodné použít pro přesnější snímání dvou kamer a využít triangulace pro určení přesného úhlu natočení a odstranění požadavku na pozici jedné kamery.

Protože při řízení vozidla je specifické pozvolné otáčení volantu, tak pro snímání úhlu natočení volantu je dostatečná frekvence 10 Hz.

8. ZÁVĚR

V první části diplomové práce byly vysvětleny rozdíly mezi jednotlivými typy snímacích čipů a jejich vlastnosti. Poté byly zmíněny možnosti snímání barevného obrazu, tedy způsoby vnímání barevného spektra, nutné pro správné sestavení algoritmu pro zpracování digitálního obrazu.

Pro představení jednotlivých skupin kamer byly vybrány zástupci každé skupiny z obchodního trhu.

Dále se v této diplomové práci zabývalo vlastnostmi použité kamery Basler acA 1300-60gc. Zejména hardwarovými vlastnostmi pro externí časování spouštění kamery. Z vlastností kamery vyplývá, že pro snímání úhlu natočení volantu je kamera dostačující. Jelikož rychlost snímání natočení volantu je dostačující již při 10 Hz.

Byl vytvořen program, obsluhující kameru a snímání dat pomocí měřicí platformy cDAQ 9178.

Pro výkonové přizpůsobení spouštěcího signálu byl vytvořen proudový zesilovač, který umožnil proudové zatížení měřicí platformy cDAQ 9178 pro časování kamery.

Po odzkoušení synchronizace snímání kamery se sběrem dat byl vytvořen program pro určení úhlu natočení volantu. Program byl vytvořen ve skriptovacím prostředí Matlab. Jedná se o program využívající identifikace polohy dvou značek na volantu. Po lokalizaci značek v obraze byl proveden výpočet úhlu natočení volantu na základě goniometrické funkce kotangens. Protože se jedná o aplikaci, využívající snímání pomocí jen jedné kamery, tak je toto měření závislé na umístění kamery vůči volantu. Pro prezentaci výsledků bylo vytvořeno uživatelské prostředí, které zobrazuje zkoumaný obraz a vyznačenou polohu bodů, umožňuje přepínat mezi jednotlivými obrazy. Dále uživatelské rozhraní umožňuje načtení naměřených dat a jejich zobrazení v tabulce.

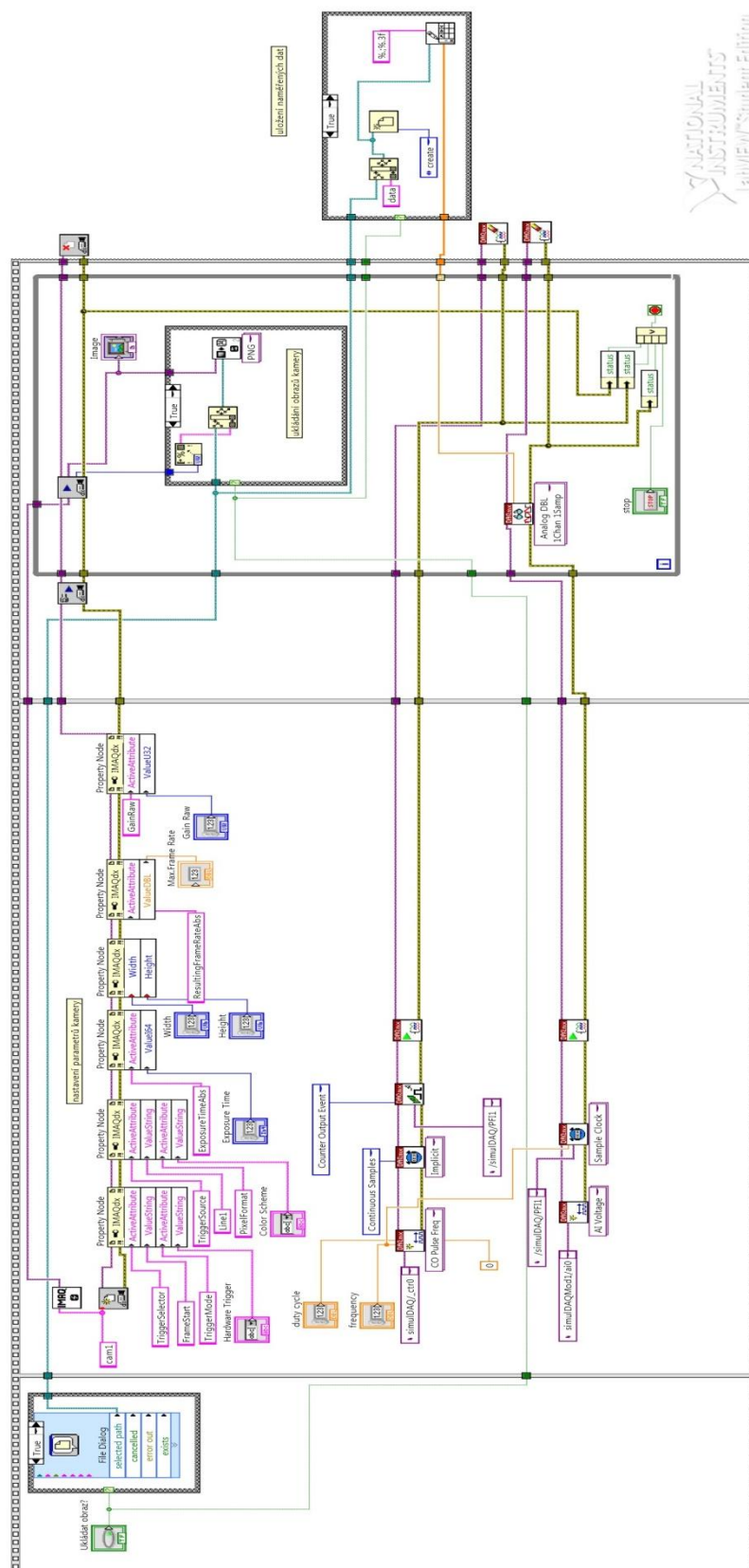
V kapitole 7 byl vyzkoušen program pro výpočet úhlu natočení volantu na herním volantu. Za pomoci měření odporu snímacího potenciometru byl určen úhel natočení volantu a ten srovnán s úhlem, vypočítaným pomocí vytvořeného programu.

Použitá literatura:

- [1] QUACH, Alvin. Complementary Metal-Oxide Semiconductor Sensors [online]. Santa Barbara, 2010 [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: http://www.writing.ucsb.edu/faculty/holms/technology_report_Alvin%20Quach2.pdf. University of California Santa Barbara.
- [2] ŽBÁNKOVÁ, Pavla. Co je to CCD. In: Co je to CCD [online]. 2002 [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: http://www.fch.vutbr.cz/~zmeskal/obring/presentace_2002/07_ccd_senzory.pdf
- [3] NATIONAL INSTRUMENTS. Smart Cameras for Embedded Machine Vision [online]. 2008 [cit. 12.11.2014]. Dostupné z: http://www.ni.com/pdf/products/us/cat_ni_1742.pdf
- [4] NATION INSTRUMENT. NI cDAQ-9178. 2014, 119 s. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/372838d.pdf>
- [5] NATIONAL INSTRUMENT. NI 9214. 2014, 5 s. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/209414>
- [6] NATIONAL INSTRUMENT. NI 9217. 2014, 5 s. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/208804>
- [7] NATIONAL INSTRUMENT. NI 9219. 2014, 4 s. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/208789>
- [8] NATIONAL INSTRUMENT. NI 9229. 2014, 6 s. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/208796>
- [9] NATIONAL INSTRUMENT. NI 9237. 2014, 8 s. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/208791>
- [9] NATIONAL INSTRUMENT. NI 9239. 2014, 5 s. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/208797>

- [10] NATIONAL INSTRUMENT. NI 9411. 2014, 6 s. Dostupné z:
<http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-169>
- [11] NATIONAL INSTRUMENT. NI 9862. 2014, 15 s. Dostupné z:
<http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-97>
- [12] Basler ace. *USER'S MANUAL FOR GigE CAMERAS* [online]. 2015, č. 3
[cit. 2015-04-12]. Dostupné z:
http://www.baslerweb.com/media/documents/AW00089318000_ace%20GigE%20Users%20Manual.pdf
- [13] Matlab documentation. *Mathworks* [online]. 2015 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/matlab/?refresh=true>

Příloha



Obrázek 36: Celkový program pro obsluhu kamery aca 1300-60gc a měřicí platformy cDAQ 9178