

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

STANOVENÍ ČASU SNÍMÁNÍ KAMER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

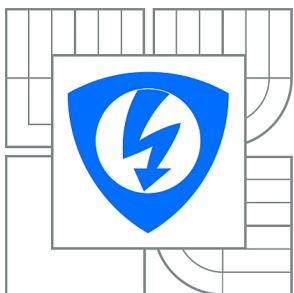
MATÚŠ ADAMEC

BRNO 2015



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

STANOVENÍ ČASU SNÍMÁNÍ KAMER

CAMERA TIMING DETERMINATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

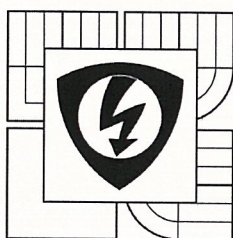
MATÚŠ ADAMEC

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILOSLAV RICHTER, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Matuš Adamec

Ročník: 3

ID: 154669

Akademický rok: 2014/15

NÁZEV TÉMATU:

Stanovení času snímání kamer

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vytvořte metodiku pro testování pořadí a vzájemných časových relací při získávání snímků z více kamer.

- 1) Nastudujte problematiku současného snímání scény pomocí více kamer. Popište možné způsoby snímání scény kamerami (tv režim, sw spouštění, hw spouštění apod.) a z nich plynoucí možné vzájemné časové relace snímání i v závislosti na nastavení kamer (frekvence a pořadí snímání, synchronizace ...). Stanovte vlastnosti mající vliv na dobu "sejmutí" při online zpracování a při uložení a následném zpracování snímků.
- 2) Popište možné metody zjištění času pořízení snímku pomocí kamer.
- 3) Navrhněte a realizujte SW postup pro stanovení času (vzájemných relací) snímání kamer.
- 4) Zhodnoťte dosažené výsledky, stanovte jejich přesnost a kvalitu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Hlaváč V., Šonka M.: Počítačové vidění, Grada, Praha 1992, ISBN 80-85424-67-3

Faugeras O.: Three-Dimensional Computer Vision, The MIT Press 1993

Termín zadání: 9. 2. 2015

Termín odevzdání: 25.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Richter, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Táto bakalárska práca popisuje postup vytvorenia metodiky pre stanovenie poradia a vzájomných časových relácii snímkou získavaných z viacerých kamier. Táto metodika rieši danú úlohu tým, že určí uhol natočenia rotujúceho vzoru a svietiacu kombináciu na luminescenčných displejoch, ktoré sa nachádzajú na navrhnutom prípravku. Oba parametre sú deterministicky meniace sa v čase. Na základe zistených parametrov v zachytených snímkach kamerami, ktoré snímali pracujúci prípravok je možné stanoviť poradie a vzájomné časové relácie snímkou.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

spracovanie obrazu, detekcia čiar, detekcia kružnice, časy snímania snímok, synchronizácia kamier

ABSTRACT

This bachelor thesis describes how to create a methodics for determination order and relative timescales of frames from several cameras. This methodics solves the task thereby that it determines rotation angle of rotating pattern and shining a combination of the luminescent displays, located at designed preparation. Both parameters are varying deterministically in time. Based on the parameters identified in the captured images by cameras, which sensed the operating preparation, the order and relative timescales frames can be determined.

KEYWORDS

image processing, line detection, circle detection, times shooting frames, synchronization of cameras

ADAMEC, M. *Stanovení času snímání kamer*: bakalárska práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2015. 63 s. Vedúci práce bol Ing. Miloslav Richter, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Stanovení času snímání kamer“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/nebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorskom, o právach súvisejúcich s právom autorským a o zmeně niektorých zákonov (autorský zákon), vo znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánu Ing. Miloslavovi Richterovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	10
1 Úvod do problematiky snímania scény kamerami	11
1.1 Režimy spúšťania snímania kamier	11
1.2 Vlastnosti majúce vplyv na dobu odsnímania snímky pri spracovaní .	13
2 Metódy zistenia času zachytenia snímok pomocou kamier	15
2.1 Prípravok pre rotáciu vzoru konštantnou rýchlosťou	16
2.1.1 Časť prípravku s motorom a snímačom otáčok	17
2.1.2 Regulátor otáčok	18
2.1.3 Návrh riadiaceho algoritmu pre regulátor otáčok	20
2.1.4 Popis menu ovládania regulátora	22
3 Postup pre stanovenie času snímania kamier	25
3.1 Nájdenie stredu a polomeru rotujúceho vzoru	25
3.2 Určenie uhlu natočenia vzoru	31
3.3 Určenie počtu svietiacich segmentov na luminiscenčných displejoch . .	33
3.4 Stanovenie vzájomných časových relácií	38
3.5 Uživatelské prostredie	39
4 Stanovenie času snímania kamier	42
4.1 Stanovenie času snímania kamier s rozhraním FireWire, pri internom spúšťaní snímania	42
4.2 Stanovenie času snímania kamier s rozhraním FireWire, pri externom spúšťaní snímania	44
4.3 Stanovenie času snímania kamery s rozhraním USB	45
5 Stanovenie presnosti a kvality dosiahnutých výsledkov	50
6 Záver	54
Literatúra	56
Zoznam príloh	58
A Priložené CD	59
A.1 Zdrojový kód programu pre testovanie poradia a vzájomných časo- vých relácií získavania snímok	59
A.2 Zdrojové a hlavičkové súbory programu riadiaceho činnosť prípravku	59

A.3	Video záznamy pre testovanie	59
A.4	Plošné spoje prípravku	59
A.5	Funkcie pre komunikáciu s prípravkom	60
B	Schéma regulátora otáčok	63

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Časový sled snímání snímkou kamerou při internom spúšťaní snímání	12
1.2	Časový sled snímání snímkou kamerou při externom spúšťaní snímání	13
2.1	Prípravok zobrazujúci definované sa meniacu scénu	15
2.2	Blokové schéma prípravku pre rotáciu vzoru konštantnou rýchlosťou .	16
2.3	Časť prípravku s motorom a optickým snímačom otáčok.	17
2.4	Schéma optického snímača otáčok.	18
2.5	Regulátor otáčok s budičom motora.	19
2.6	Schéma budiča jednosmerného motora.	20
2.7	Závislosť rýchlosti otáčania vzoru na čase pri konštantnom akčnom zásahu o hodnote 3000	21
2.8	Závislosť rýchlosti otáčania vzoru na čase pri konštantnom akčnom zásahu o hodnote 6350	21
2.9	Vývojový diagram pre reguláciu otáčok.	23
2.10	Závislosť rýchlosti otáčania vzoru na čase pri regulácií na konštantnú hodnotu 14ot/s	24
2.11	Závislosť rýchlosti otáčania vzoru na čase pri regulácií na konštantnú hodnotu 72ot/s	24
3.1	Celkový algoritmus stanovenia času snímání kamier	25
3.2	Algoritmus nájdenia stredu a polomeru rotujúceho vzoru	25
3.3	Detekcia kružníc pomocou kruhovej Houghovej transformácie(CHT) .	26
3.4	Hľadanie jednej čiary z viacerých detegovaných	28
3.5	Nájdenie jednej čiary vo vybraných snímkach	29
3.6	Vybrané čiary z ktorých sa počítajú priesečníky	30
3.7	Detail vybraných čiar z ktorých sa počítajú priesečníky	30
3.8	Algoritmus určenia uhlu natočenia vzoru	31
3.9	Použitá geometrická transformácia	31
3.10	Rozšírenie transformovaného obrazu	33
3.11	Rozdelenie snímky do viacerých oblastí	34
3.12	Prahovanie oblasti snímky, kde sa nachádzajú luminiscenčné displeje .	35
3.13	Model klasifikátora počtu svietiacich segmentov	36
3.14	Algoritmus určenia prahu	37
3.15	Grafické rozhranie	39
4.1	Zapojenie pracoviska pri meraní s kamerami s FireWire rozhraním . .	42
4.2	Časový sled okamžikov zachytenia snímok z 2 kamier pri nastavenej snímkovej frekvencii 30 fps	43
4.3	Snímková frekvencia 2 kamier s nastavenou snímkovou frekvenciou 30 fps	43

4.4	Časový sled okamžikov zachytenia snímok z 2 kamier s externým spúšťaním snímania o frekvencii 20 Hz	44
4.5	Snímková frekvencia 2 kamier s externým spúšťaním snímania o frekvencii 20 Hz	45
4.6	Zapojenie pracoviska pri meraní s kamerou s USB rozhraním	45
4.7	Časový sled okamžikov zachytenia snímok z kamery pripojenej k PC pracujúcemu bez zväčšeného zataženia	46
4.8	Snímková frekvencia kamery pripojenej k PC pracujúcemu bez zväčšeného zataženia	46
4.9	Prvý detail časového sledu okamžikov zachytenia snímok z kamery pripojenej k PC pracujúcemu pri záťaži č.1	47
4.10	Druhý detail časového sledu okamžikov zachytenia snímok z kamery pripojenej k PC pracujúcemu pri záťaži č.1	47
4.11	Snímková frekvencia kamery pripojenej k PC pracujúcemu pri záťaži č.1	47
4.12	Detail časového sledu okamžikov zachytenia snímok z kamery pripojenej k PC pracujúcemu pri záťaži č.2	48
4.13	Snímková frekvencia kamery pripojenej k PC pracujúcemu pri záťaži č.2	48
5.1	Zobrazenie situácie pri výpočte chyby spôsobenej rozlíšením kamery .	52
B.1	Schéma regulátora otáčok	63

ÚVOD

V dnešnej dobe sa čoraz viac nasadzujú systémy, ktorých činnosť je riadená na základe informácie získanej z jedného alebo viacerých obrazov. Obrazy získavajú kamery s vhodne nastavenými parametrami snímania. V mnohých prípadoch je dôležité vedieť, či snímky prijímané z kamier sú v správnom časovom slede a či viaceré kamery použité v danej aplikácii pracujú synchronne. Preto sa táto práca venuje stanoveniu poradia a vzájomných časových relácii snímok získaných z viacerých kamier.

Nato, aby toto bolo možné stanoviť, tak je potrebný referenčný zdroj, ktorý bude zobrazovať testovaciu scénu. Testovaciu scénu zobrazuje prípravok, ktorý snímajú kamery. Prípravok rotuje vzorom konštantnou rýchlosťou, pričom po každej celej otáčke vzoru zmení svietiacu kombináciu na sedem segmentových luminiscenčných displejoch. Pomocou softvérového postupu sa zo zachytených snímok stanovujú požadované časové relácie. Softvérový postup bol vložený do grafického užívateľského prostredia, vďaka čomu je jeho použitie komfortnejšie. Ďalej sa v práci nachádzajú výsledky merania s rôznymi kamerami a ich nastaveniami, pričom sa využil navrhnutý prípravok a softvérový postup. Nakoniec je v práci stanovenie presnosti a kvality dosiahnutých výsledkov.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY SNÍMANIA SCÉNY KAMERAMI

Kamera je zariadenie slúžiace k zachyteniu obrazu. Pri opätovnom snímaní scény a ukladaní zachytených snímok vznikne video záznam. Pri rovnomernom snímaní, frekvencia s akou sníma kamera snímky odpovedá snímkovej frekvencii f_s , ktorej jednotka je fps (frames per second/ snímky za sekundu). V dnešnej dobe v drvivej väčšine kamera obsahuje polovodičový snímací čip, na ktorý dopadá svetlo zo snímanej scény. Snímací čip obsahuje bunky, ktoré predstavujú jednotlivé body, z ktorých sa bude skladať zachytený snímok zobrazujúci snímanú scénu. Počet buniek udáva rozlíšenie snímkou, uvádzané v jednotkách px (pixel). Bunky majú svoju plochu a zosilnenie, ktorým je možné regulovať jas na zachytených snímkach. Čas expozície t_e je doba, kedy na snímací čip kamery dopadá svetlo a čip toto svetlo zachytáva.

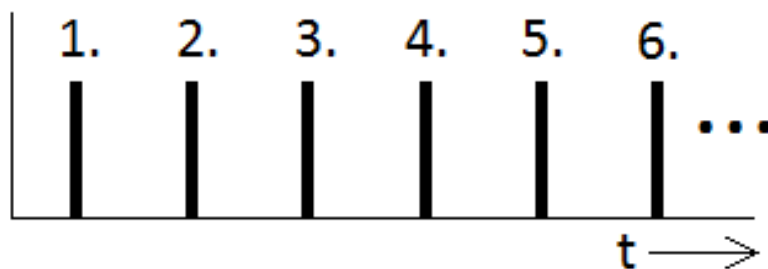
Kamery sú pripojené k zariadeniu pre uloženie a spracovanie snímok pomocou komunikačného rozhrania. To musí byť schopné prenášať snímky dostatočnou rýchlosťou, aby sa zachytené snímky nehromadili v pamäti kamery. Schopnosť preniesť snímky včas musí byť obzvlášť skontrolovaná, ak viaceré kamery používajú zdieľané rozhranie pre komunikáciu.

V mnohých aplikáciach je potrebná synchronizácia kamier. Jedným z možných príkladov je kontrola výrobku na dopravnom páse, kedy je nutné spustiť snímanie kamier v čase, kedy sa výrobok nachádza v mieste snímanom kamerami. Pri nesynchronnej činnosti kamier, by sa na zachytených snímkach nemusel nachádzať celý výrobok, prípadne žiadna jeho časť, čo by znemožnilo požadovanú kontrolu výrobku. Synchronizácia je možná viacerými spôsobmi v závislosti na režimoch spúšťania snímania kamier, ktoré sú popísané v nasledujúcej podkapitole.

1.1 Režimy spúšťania snímania kamier

Spúšťanie snímania kamier môže byť interné alebo externé. Pri internom spúšťaní, spúšťa snímanie snímok kamera pomocou vnútorných elektronických obvodov. Väčšinou sa vyžaduje rovnomerné spúšťanie snímania, z čoho vyplýva, že snímková frekvencia má byť konštantná a časové odstupy medzi okamžikmi zachytenia snímok budú rovnaké ako to zobrazuje obr. 1.1. Režim, kedy kamera pracuje s interne spúšťaným snímaním sa tiež nazýva "televízny režim". V niektorých prípadoch je potrebné zaznamenať snímok za dlhší časový úsek, než je perióda snímkovej frekvencie. V takom prípade sa vynechá určitý počet zachytených snímok a uloží sa len jeden za požadovanú dobu. Týmto spôsobom je možné zosynchronizovať snímanie kamier s iným zariadením. Pri niektorých kamerách pri internom spúšťaní nemusí

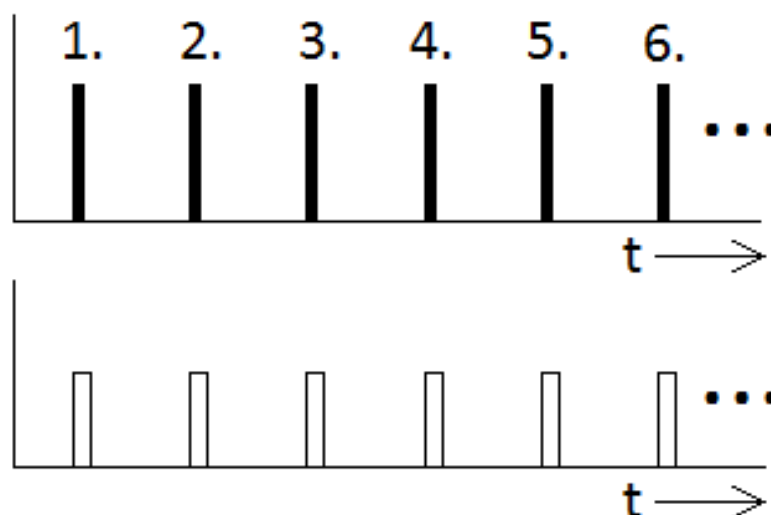
byť snímková frekvencia konštantná, ale býva premenná v závislosti od úrovne osvetlenia scény. Keď scéna je málo osvetlená, tak kamera predĺži čas expozície a zníži snímkovú frekvenciu, aby na snímací čip mohlo dopadnúť dostatok svetla pre zachytenie snímky vyhovujúcej kvality. Takto pracujú niektoré kamery určené pre širokú verejnosť k nakrúcaniu vlastných video záznamov. Kamery určené pre priemyselné aplikácie mávajú možnosť nastavenia konštantnej snímkovej frekvencie.



Obr. 1.1: Časový sled snímania snímkou kamerou pri internom spúšťaní snímania

Pri externom spúšťaní, spúšťa snímanie externý signál privedený do kamery. Externý signál obsahuje pulzy. Nástupná hrana pulzu spustí snímanie jednej snímky, ako to je vidieť na obr. 1.2, kde v hornej časti obrázku sa nachádza časový sled zachytenia snímkou a v spodnej časti je zobrazený externý signál. Spúšťanie snímania je oneskorené od nástupnej hrany pulzu. Trvanie tohoto oneskorenia predstavuje veľmi krátku dobu v porovnaní s časom snímania ďalšej snímky, preto v obrázku nie je vyznačené. Ak počas doby expozície snímky alebo počas vyčítavania snímky z kamery príde pulz na spustenie nového snímania, tak tento pulz bude ignorovaný, z čoho vyplýva, že ani vysokou hodnotou frekvencie externého signálu nemožno zvýšiť hodnotu snímkovej frekvencie cez jej maximum udané výrobcom. Externé spúšťanie sa využíva v aplikáciach, kde je nutné synchronizovať snímanie kamery s iným zariadením.

Pomocou obidvoch metód snímania je možná synchronná činnosť viacerých kamier. Pri internom spúšťaní je nutné dbať nato, aby nastavené snímkové frekvencie boli rovnaké na všetkých kamerách, aby počet vynechaných snímkou bol tiež všade rovnaký a aby elektronický obvod udržiaval snímkovú frekvenciu s dostatočnou presnosťou. Ďalej je potrebné aby spustenie snímania viacerých kamier nastalo v rovnaký čas. Pri externom spúšťaní stačí len priviesť rovnaký signál pre spúšťanie na všetky kamery. Navyše pri tomto spúšťaní sa nemôže stať, že kamery vypadnú zo synchronizmu kvôli nepresnosti oscilátorov v elektronických obvodoch kamier pre spúšťanie snímania.



Obr. 1.2: Časový sled snímania snímkou kamerou pri externom spúšťaní snímania

Ďalším spôsobom synchronizácie snímania kamier pri internom spúšťaní je možnosť, kedy sa spustí snímanie na viacerých kamerách v jednom okamžiku. Následne v okamžiku, kedy sú snímky potrebné, sa pošle žiadosť o zaslanie snímky každou kamerou. Po zaslaní snímok, kamery čakajú na príchod ďalšej žiadosti o snímok.

Po použití kamier s konkrétnymi nastaveniami v reálnej aplikácii, je nutné posudzovať a hodnotiť nemennosť respektíve kolísanie snímkovej frekvencie, fázový posuv pri synchronizácii viacerých kamier a prípadné výpadky snímania.

1.2 Vlastnosti majúce vplyv na dobu odsnímania snímky pri spracovaní

Po odsnímaní snímky nasleduje jej prenos do pripojeného zariadenia pre jej spracovanie. Doba prenosu t_p musí byť menšia než je perióda snímkovej frekvencie. Doba prenosu snímky je ovplyvnená objemom dat jednej snímky, rýchlosťou komunikačného rozhrania kamery a prípadným zdieľaním komunikačnej zbernice s inými kamerami. Ak po prenose nasleduje online spracovanie, tak musí byť zaručené, že doba spracovania snímky bude menšia než doba periódy snímkovej frekvencie. V opačnom prípade môže dôjsť ku zahlteniu procesora zariadenia pre spracovanie, čo môže viesť ku výpadkom rovnomerného snímania, či k úplnému zastaveniu snímania. Doba spracovania snímky je ovplyvnená rozlíšením snímky, počtom jasových úrovní pripadajúcich na jeden bod obrazu, výpočtovým výkonom zariadenia pre spracovanie snímky a výpočtovou náročnosťou algoritmu pre spracovanie.

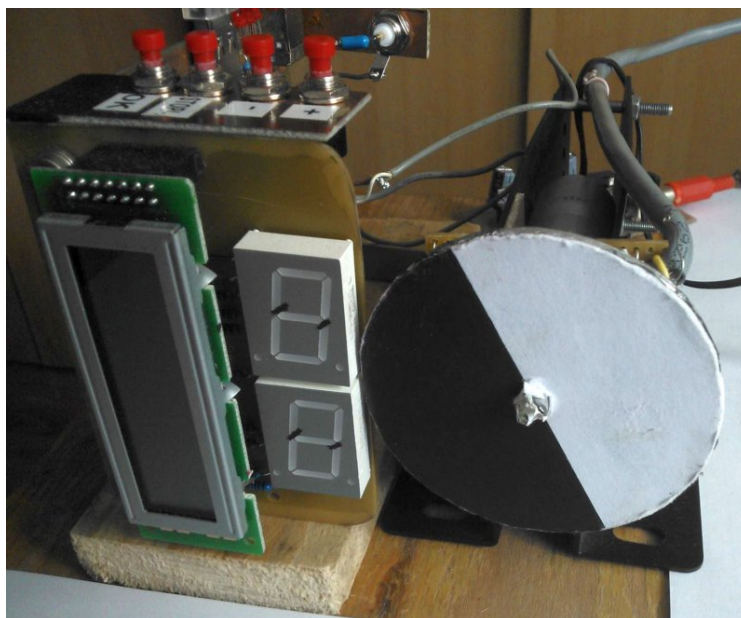
Ak doba prenosu t_p jednej snímky alebo viacerých snímok z viacerých kamier pri zdieľaní komunikačnej zbernice je väčšia než perióda snímkovej frekvencie, tak môže dôjsť ku zahľteniu komunikačnej zbernice. To sa môže prejavovať výpadkami rovnomerného snímania, prípadne zastavením snímania. Aby sa tomuto predišlo, tak sa musia snímky ukladať v pamäti kamery alebo zariadenia pripojeného ku kamere. Takto uložené snímky sa nespracúvajú online, preto čas spracovania nemusí byť kratší ako čas periódy snímkovej frekvencie. Pri tomto spracovaní nie je možné vyhodnocovať a riadiť činnosť procesu počas jeho vykonávania na základe informácie získanej zo snímok, ako tomu je pri online spracovaní.

2 METÓDY ZISTENIA ČASU ZACHYTENIA SNÍMOK POMOCOU KAMIER

Zistenie času zachytenia snímok sa dá pomocou analýzy signálu v elektronickom obvode pre spúšťanie snímania, ktorým sa spúšťa snímanie kamery. Tento signál ale obvykle nebýva vyvedený z kamery, preto je nutné použiť inú metódu.

Jednou z možných metód zistenia času zachytenia snímok, by mohlo byť stanovenie času, kedy prišli nasnímané snímky do zariadenia pre ich spracovanie či prípadnú archiváciu. Presnosť stanovenia takto získaného času závisí od zariadenia a jeho softvérového vybavenia, v prípade osobného počítača PC teda od samotného hardvéru a aj jeho operačného systému a softvéru ktorý stanovuje časy príchodu. Toto je nežiadúce, navyše stanovené časy by presne neodpovedali času zachytenia snímok, pretože nepočítajú s časom pre spracovanie snímky v samotnej kamere a časom pre prenos snímky cez zbernicu.

Preto je vhodnejšie použiť inú metódu, pri ktorej testované kamery snímajú definovane sa meniacu scénu v čase, pričom čas zachytenia snímok sa stanovuje na základe informácie, ktorú nesú zachytené snímky. Táto metóda je nezávislá na použitom zariadení a jeho softvérovom vybavení. Pre túto metódu je nutné vytvoriť spomínanú definovane sa meniacu scénu v čase. Bolo by možné použiť lcd displej,



Obr. 2.1: Prípravok zobrazujúci definovane sa meniacu scénu

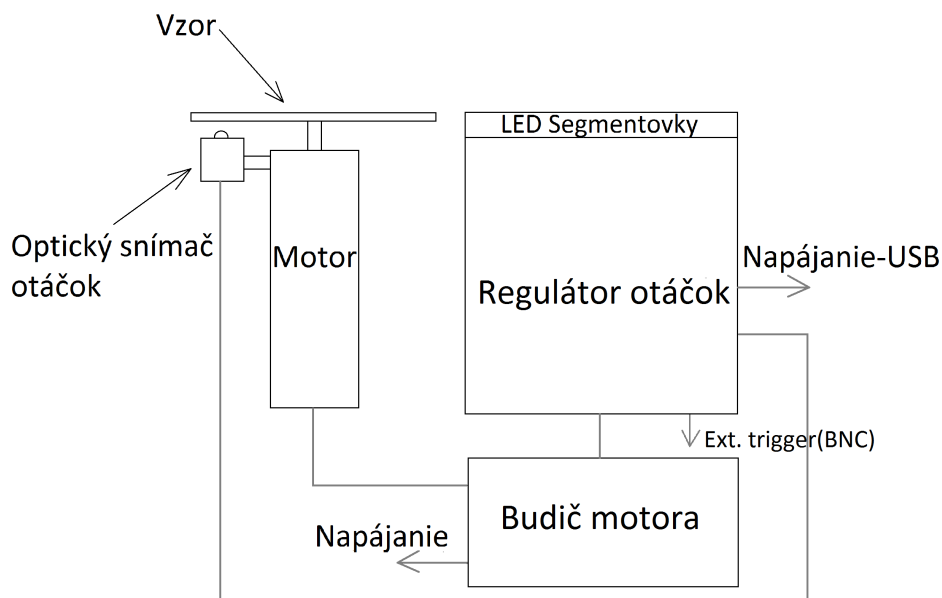
na ktorom by sa definovane menil zobrazovaný obraz. Táto možnosť nie je vhodná, pretože je nutné počítať s odozvou displeja a tiež s nedostatočnou rýchlosťou, ktorá je

obmedzená obnovovacou frekvenciou. Preto sa zrealizoval prípravok, ktorý je vidieť na obrázku obr. 2.1.

Ide o prípravok pre rotáciu vzoru konštantnou rýchlosťou, ktorý po každej otáčke zmení kombináciu svietiacich segmentov na luminiscenčných sedem segmentových displejov. Na základe známej hodnoty rýchlosti otáčania vzoru, uhlu natočenia vzoru a kombinácii svietiacej na sedem segmentových displejoch zachytených na snímkach z kamier, je možné stanoviť ich čas zachytenia, vzájomné časové relácie a ich poradie. Detailný popis prípravku je v nasledujúcej podkapitole.

2.1 Prípravok pre rotáciu vzoru konštantnou rýchlosťou

Pri jeho tvorbe bola kladená požiadavka, aby rotácia vzoru bola plynulá a aby bol schopný dosiahnuť vysokých aj nízkych rýchlostí otáčania. Prípravok sa skladá z troch častí a to zo samotného motoru, na ktorom je pripevnený vzor so snímačom otáčok, regulátora otáčok a nakoniec budiča jednosmerného motoru. Časti prípravku sú zobrazené na obr. 2.2.



Obr. 2.2: Blokové schéma prípravku pre rotáciu vzoru konštantnou rýchlosťou

2.1.1 Časť prípravku s motorom a snímačom otáčok

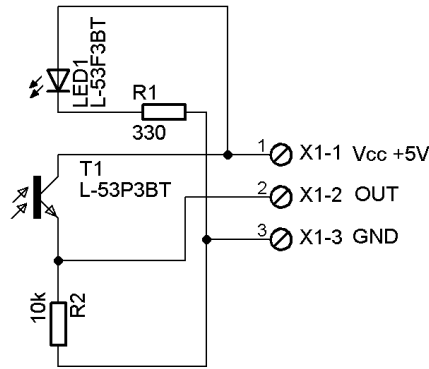
Táto časť obsahuje vysokoobrátkový jednosmerný kartáčový motor MEZ P20N 306. Motor je uložený v plechovom stojane. Vďaka tomu, že dosahuje vysokých rýchlostí otáčania hriadele až 18000ot/min, tak umožňuje vytvoriť vhodnú scénu aj pre vysokorýchlostné kamery. Na jeho hriadeli je umiestnený hliníkový kotúč ako je vidieť na obrázku obr. 2.3, na ktorom je nalepený vzor, ktorý snímajú kamery.



Obr. 2.3: Časť prípravku s motorom a optickým snímačom otáčok.

Na plechovom stojane je tiež nainštalovaný optický snímač otáčok. Pracuje na princípe odrazu svetelného lúča z luminiscenčnej diódy od reflexnej plochy hliníkového kotúča do fototranzistora. Na kotúču je ponechaná malá lesklá plocha a zvyšná plocha je prekrytá čiernou PVC páskou, ktorá prerušuje svetelný lúč. Vďaka tomu môže byť zmeraný čas jednej otáčky, z ktorého je stanovená rýchlosť otáčania vzoru. Použitie jednej odrazovej plochy na kotúču sa ukázalo ako veľmi vhodné, pretože pri použití viacerých odrazových plôch vznikali chyby stanovenia rýchlosti otáčania, ktoré záviseli na šírke každej reflexnej plochy a na presnom geometrickom rozložení odrazových plôch. Na obrázku obr. 2.4 je vidieť zapojenie snímača.

Použitím luminiscenčnej diódy a fototranzistoru pracujúcich v infračervenej oblasti na vlnovej dĺžke $\lambda = 940 \text{ nm}$, sa zmenšil rušivý svetelný vplyv okolia. Na výstupe snímača OUT je napätie 340 mV predstavujúce logickú jednotku v okamžiku, keď najväčšia časť svetelného lúča sa odráža od odrazovej plochy a dopadá na fototranzistor a napätie 80 mV predstavujúce logickú nulu, keď naopak najväčšia



Obr. 2.4: Schéma optického snímača otáčok.

časť svetelného lúča je pohltená na čiernej ploche. Signál s tohoto snímača sa ďalej spracúva v regulátore otáčok.

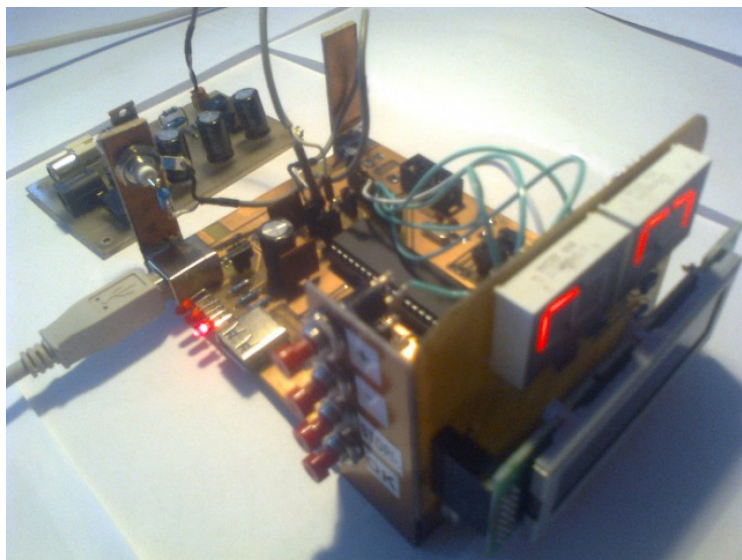
2.1.2 Regulátor otáčok

Činnosť regulátora je naprogramovaná v mikrokontroléri od firmy Atmel ATmega16, ktorý je zapojený v súlade s [5]. Schéma regulátora sa nachádza v prílohách na obrázku obr. B.1. Regulátor sa napája cez USB konektor, pomocou ktorého dokáže komunikovať s PC. Činnosť regulátora je naprosto nezávislá od PC a celá je riadená len použitým mikrokontrolerom. Preto sa nevyžaduje spojenie s PC a regulátor môže byť napájaný len s USB adaptérom. S PC komunikuje cez sériovú linku mikrokontrolera v spojení s prevodníkom zo sériovej linky na USB od firmy FTDI, typ FT232RL. Jeho zapojenie sa vykonalo podľa [7]. Rýchlosť komunikácie pre sériovú linku je 19200 Bd, s 8 dátovými bitmi, bez parity a 1 stop bit. Do PC dokáže regulátor poslať údaj o aktuálnej rýchlosti otáčania po každej celej otočke vzoru, ale aj z PC je mu možno zadať rýchlosť otáčania.

Pri práci so znakovým displejom sa použila knižnica z [8] a pri sériovej linke sa použila knižnica z [9].

Regulátor ďalej obsahuje konektor pre pripojenie snímača otáčok, štyri tlačidlá pre obsluhu regulátora a lcd displej pre zobrazenie aktuálneho nastavenia.

Dva luminiscenčné sedem segmentové displeje spoločne s rotujúcim vzorom tvoria definované scény v čase. Stav počítadla celých otáčok vzoru zobrazujú luminiscenčné displeje. Po každej otáčke sa rozsvieti jeden segment prvého displeja, až postupne svietia všetky segmenty displeja. Po vykonaní ďalšej otáčky, všetky segmenty prvého displeja zhasnú a rozsvieti sa jeden segment druhého displeja, nastane prenos. Pri ďalších otáčkach sa postupne rozsvetujú segmenty prvého displeja, až



Obr. 2.5: Regulátor otáčok s budičom motora.

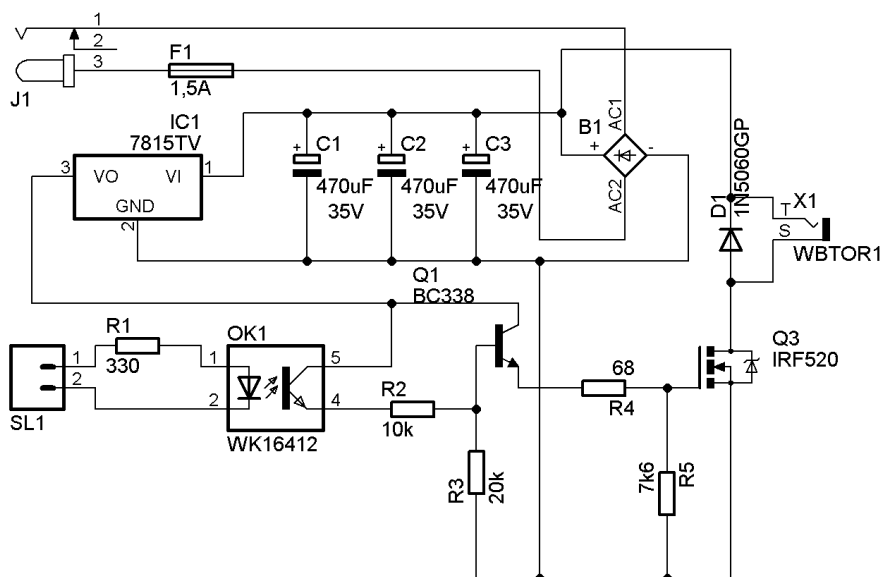
pokým nesvietia všetky a nenastane opäť prenos. Celý proces sa neustále opakuje, až pokým nesvietia všetky segmenty na oboch displejoch, kedy po príchode ďalšej otáčky všetky segmenty zhasnú a celý proces začína od začiatku.

Na výstupe BNC konektora (Ext. trigger) je štartovací impulz pre spúšťanie snímania kamier, ktoré majú možnosť externého spúšťania. Výstup BNC konektora je cez odpor pripojený na pin mikrokontroleru. Hodnota odporu je $R=125\ \Omega$ a zabraňuje vzrásť výstupnému prúdu nad maximálnu dovolenú hodnotu prúdu jedného pinu mikrokontrolera. Dĺžka trvania impulzu je $5\ \mu s$ a jeho amplitúda je $5\ V$.

Ďalej sa v regulátore nachádza tlačidlo pre celkový reštart mikrokontrolera a výstup PWM modulovaného signálu pre budič motora.

Pre motor sa navrhol budič podľa [6], ktorého schéma je na obrázku obr. 2.6. Otáčky motora sa regulujú pomocou PWM modulácie. Tú zabezpečuje 16 bitový čítač/časovač mikrokontrolera, do ktorého vstupuje signál o frekvencii $16\ MHz$. Motor je spínaný pomocou výkonového mosfet tranzistoru. Budič je galvanicky oddelený pomocou optočlena od regulátora a má aj vlastné napájanie.

Meranie rýchlosti otáčania vzoru v_{rot} sa vykonáva pomocou analógového komparátora zabudovaného v mikrokontroléri a časovača. Na neinvertujúci vstup komparátora sa privádza signál s optického snímača otáčok. Na invertujúci vstup sa pripojí napätie z potenciometru označeného ako U_HIGH , ktoré je o $40\ mV$ menšie ako veľkosť napätia odpovedajúca logickej jednotke z optického snímača a spustí sa časovač. Keď zo snímača príde signál napätovo vyšší ako je napätie pripojené na invertujúci vstup, tak nastane prerušenie, ktoré na invertujúci vstup komparátora pripojí napätie z druhého potenciometru označeného ako U_LOW , ktoré je o $15\ mV$ vyššie



Obr. 2.6: Schéma budiča jednosmerného motora.

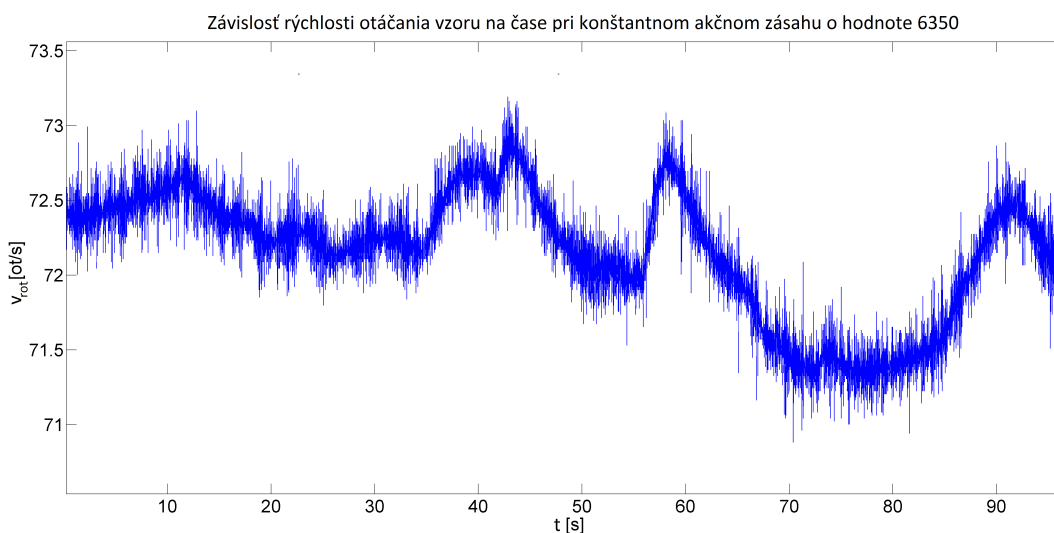
ako veľkosť napätia odpovedajúca logickej nule z optického snímača. Následne po príchode signálu zo snímača s nižším napätím než je napätie pripojené na invertujúci vstup, znova nastane prerušenie a na invertujúci vstup komparátora sa pripojí napätie s prvého potenciometru označeného ako U_HIGH . Tento dej sa cyklicky opakuje s tým, že pri prvom opisovanom prerušení sa vďaka údaju z časovača a známej taktovacej frekvencie určí čas obehu jednej otáčky a následne aj rýchlosť otáčania vzoru v_{rot} . Celý algoritmus je ešte ošetrený pre prípad veľmi pomalého otáčania vzoru alebo prípadného státia vzoru, kedy rýchlosť v_{rot} menšiu ako 0,2 ot/s vyhodnotí ako nulovú. Týmto spôsobom merania času jednej otáčky pomocou dvoch napätí, ktoré sa porovnávajú s napätím na snímači sa vyhlo chybným výpočtom rýchlosti, pretože pri rotácii hliníkového kotúča dochádza k jeho vibráciám a lúč sa nie vždy odrazí priamo do fototranzistoru.

2.1.3 Návrh riadiaceho algoritmu pre regulátor otáčok

Najprv sa priviedol na motor konštantný akčný zásah a sledoval sa priebeh rýchlosti otáčania vzoru v_{rot} po ukončení prechodového deja. Regulátor po každej celej otáčke vzoru, poslal aktuálnu rýchlosť otáčania. Zo zaslaných rýchlosti otáčania vzoru bolo možné určiť uplynutý čas medzi jednotlivými zaslanými rýchlosťami. Na obrázkoch obr. 2.7 a obr. 2.8, môžeme sledovať získaný priebeh rýchlosti otáčania vzoru v_{rot} , pri dvoch rôznych hodnotách akčného zásahu po ukončení prechodového deja. Hodnota akčného zásahu predstavuje hodnotu v 16 bitovom registry, ktorý riadi triedu PWM modulácie.



Obr. 2.7: Závislosť rýchlosti otáčania vzoru na čase pri konštantnom akčnom zásahu o hodnote 3000



Obr. 2.8: Závislosť rýchlosti otáčania vzoru na čase pri konštantnom akčnom zásahu o hodnote 6350

Vidíme, že priebeh kmitania rýchlosti v_{rot} je náhodný a jeho kmitanie je spôsobené náhodne pôsobiacou poruchou. Za najväčší zdroj tejto poruchy považujem vibrácie prípravku, spôsobené rotáciou vzoru. Na priebehoch môžeme pozorovať šum. Ten je možné odstrániť pomocou priemeru z viacerých nameraných rýchlostí otáčania. Tu ale nastáva problém, pretože pri nízkych hodnotách v_{rot} okolo 1 ot/s, by pri použití priemeru, informácia o rýchlosti otáčania vzoru prichádzala v dlhých časových rozstupoch, čo by bolo neprípustné. Preto do požadovanej rýchlosti otáčania

vzoru $v_n = 3.9$ ot/s sa nepoužíva priemer, ale každá nameraná hodnota rýchlosti a od hodnoty 4 ot/s sa začína používať priemer. Počet vzorkou n , z ktorých sa určuje priemerná hodnota sa zvyšuje s narastajúcou hodnotou v_n a určí sa podľa vzorca 2.1,

$$n = \text{round} \left(\frac{v_n}{3 \log_{10}(v_n)} \right) \quad (2.1)$$

kde *round* je funkcia pre zaokrúhlenie.

Po každej aktualizácii údajov o rýchlosti otáčania vzoru sa vykoná úprava akčného zásahu podľa algoritmu, ktorý je zobrazený na obr. 2.9, kde v_{rot} je zmeraná rýchlosť otáčania vzoru a v_n je požadovaná rýchlosť otáčania vzoru. Pri veľmi pomalom otáčaní aktualizácia rýchlosti nastáva za veľmi dlhú dobu, prípadne pri státi vzoru nenastane nikdy, preto program pre reguláciu po určitej dobe bez aktualizácie údajov upraví akčný zásah podľa starých údajov. Vo vývojovom diagrame obr. 2.9 sú konštanty pre ktoré platí $\text{const3} > \text{const2} > \text{const1} > 1$, z čoho vyplýva, že čím viac sa líši požadovaná rýchlosť otáčania vzoru od aktuálnej, tým viac zvyšuje resp. znižuje regulátor akčný zásah. Pomocou týchto konštánt a konštanty K sa nastavuje regulácia. Vo vývojovom diagrame pre prehľadnosť chýbajú podmienky, ktoré obmedzujú akčný zásah aby nepretiekol cez maximálnu hodnotu registra pre PWM moduláciu alebo nedostal sa do záporných hodnôt.

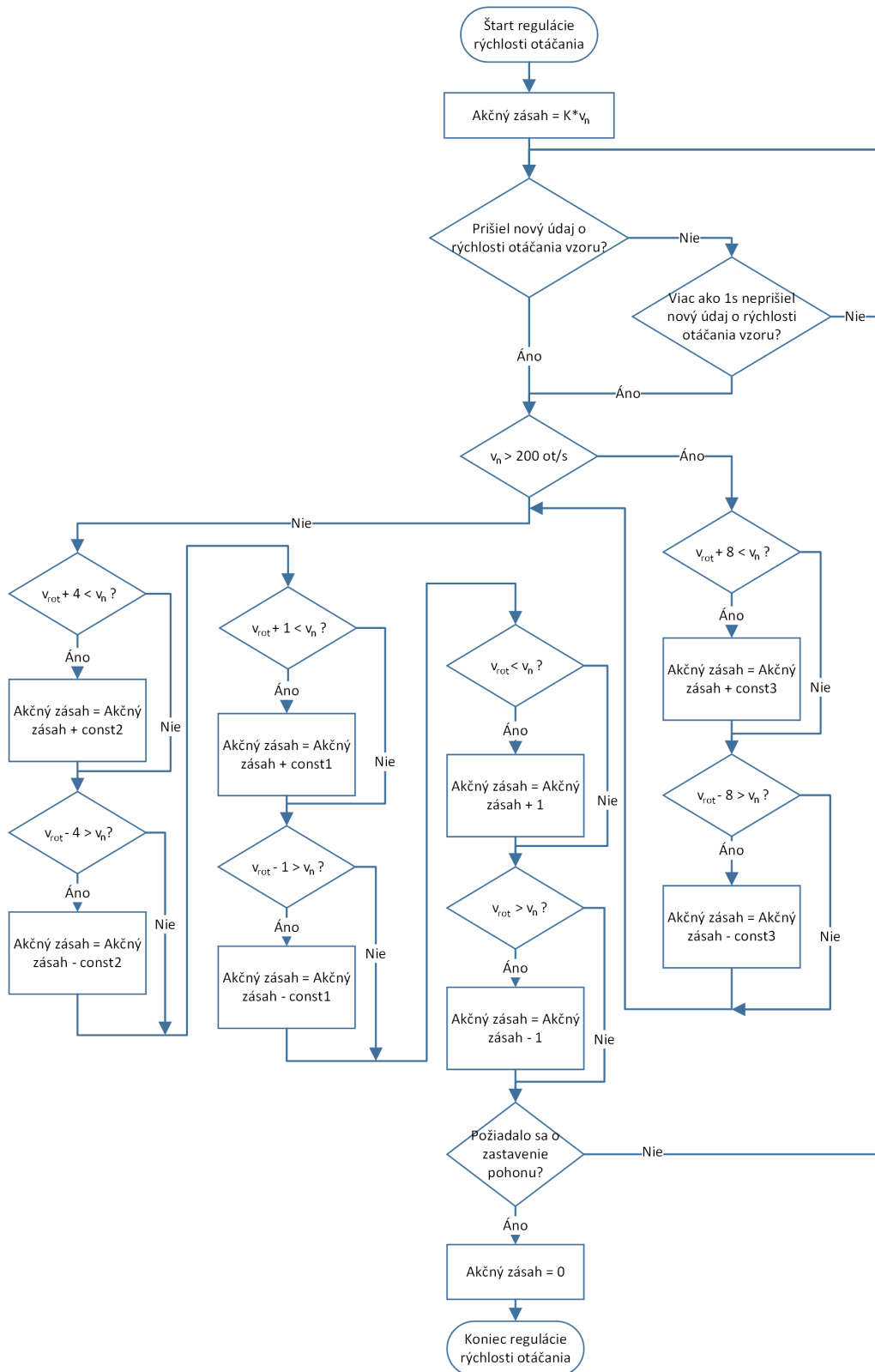
Po aplikovaní riadiaceho algoritmu, môžeme zmerať a zobrazíť priebehy regulácie pri žiadanej konštantnej rýchlosti otáčania, ktoré sú na obrázkoch obr. 2.10 a obr. 2.11.

Presnosť s akou regulátor reguluje rýchlosť otáčania, ovplyvňuje presnosť stanovenia času snímania kamier a bude podrobnejšie rozobratá v kapitole 5.

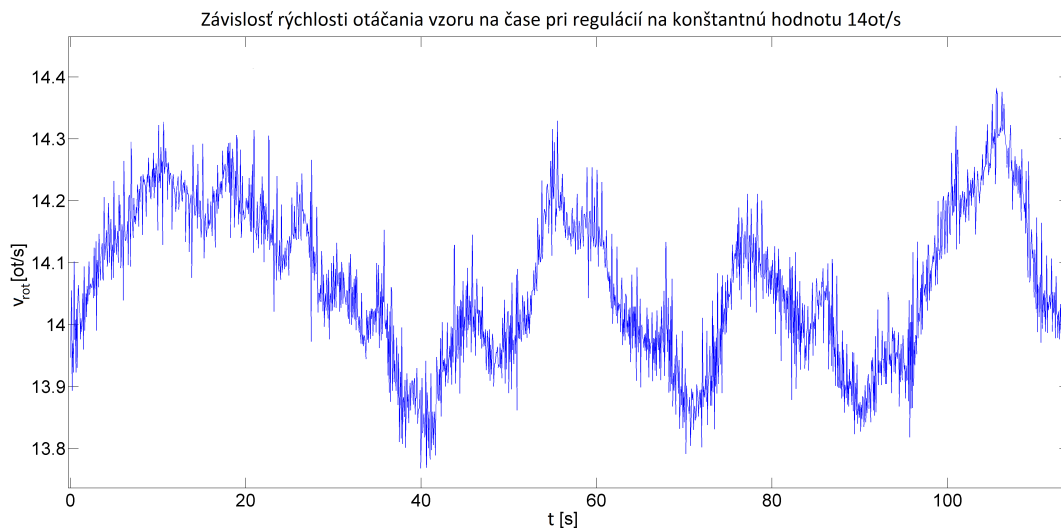
2.1.4 Popis menu ovládania regulátora

Po zapnutí regulátora sa zobrazí úvodné menu, kde je nutné zadať kolký impulz v poradí generovaný pri každej otáčke vzoru, bude odoslaný na výstup BNC konektora pre externé spúšťanie kamier. Ak sa zadá napr. 3x, tak pri každej tretej otáčke sa pošle jeden štartovací impulz. Po potvrdení tlačidlom OK sa zadá rýchlosť otáčania vzoru pomocou klávesnice od 0,2 ot/s po 250 ot/s. Tlačidlami + a - sa zvyšuje resp. znižuje požadovaná rýchlosť otáčania v príslušnom mieste a pomocou tlačidla STOP/-> sa prepína medzi jednotlivými číslicami. Voľba sa potvrdí tlačidlom OK. Následne sa vzor roztočí na požadovanú rýchlosť, ktorú je možno priebežne sledovať na displeji. Tlačidlom STOP/-> sa motor zastaví a zobrazí sa úvodné menu.

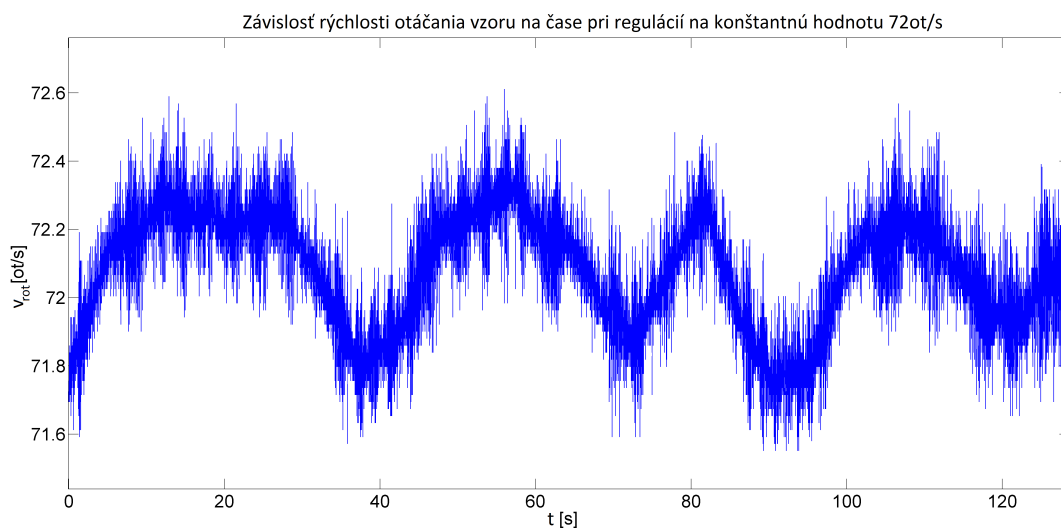
V priebehu vykonávania regulácie je možné, meniť rýchlosť otáčania vzoru pomocou zaslania príkazu po sériovej linke a tiež po sériovej linke môže byť z regulátora



Obr. 2.9: Vývojový diagram pre reguláciu otáčok.



Obr. 2.10: Závislosť rýchlosti otáčania vzoru na čase pri regulácii na konštantnú hodnotu 140t/s

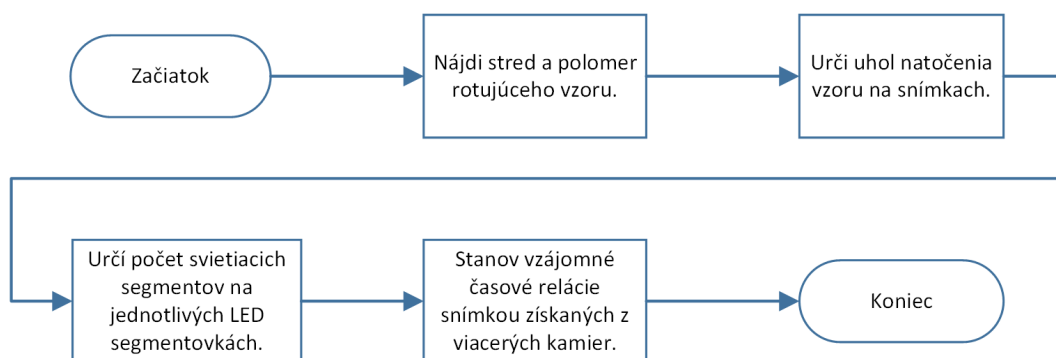


Obr. 2.11: Závislosť rýchlosti otáčania vzoru na čase pri regulácii na konštantnú hodnotu 720t/s

posielaná aktuálna rýchlosť otáčania vzoru. Komunikáciu s regulátorom po sériovej linke zabezpečujú funkcie napísané v programovom prostredí Matlab.

3 POSTUP PRE STANOVENIE ČASU SNÍMANIA KAMIER

Stanovenie času snímania kamier vychádza z určenia uhlu natočenia vzoru a svietiacej kombinácii na luminiscenčných displejoch zachytených na snímkach z kamier. Celkový algoritmus je vidieť na obr. 3.1.

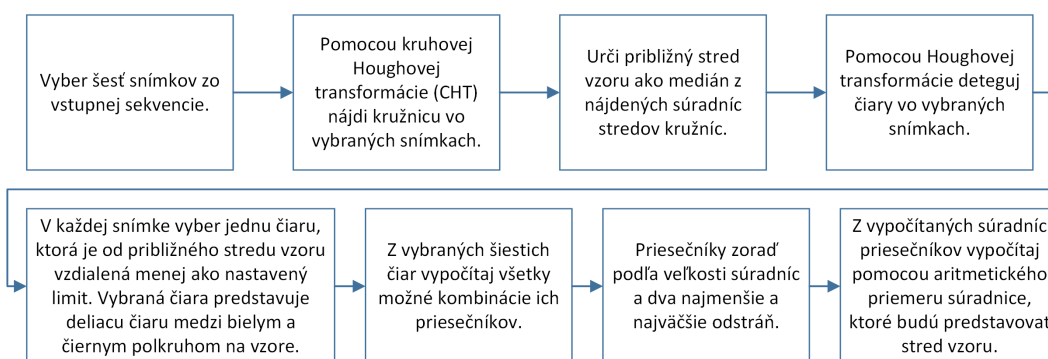


Obr. 3.1: Celkový algoritmus stanovenia času snímania kamier

Algoritmus na obr. 3.1 najprv nájde stred a polomer rotujúceho vzoru. Jednotlivé kroky tejto operácie budú popísané v nasledujúcej podkapitole.

3.1 Nájdenie stredu a polomeru rotujúceho vzoru

Nájdenie stredu a polomeru vzoru sa skladá z ďalších dielčích krokov, ktoré sú zobrazené na obr. 3.2.

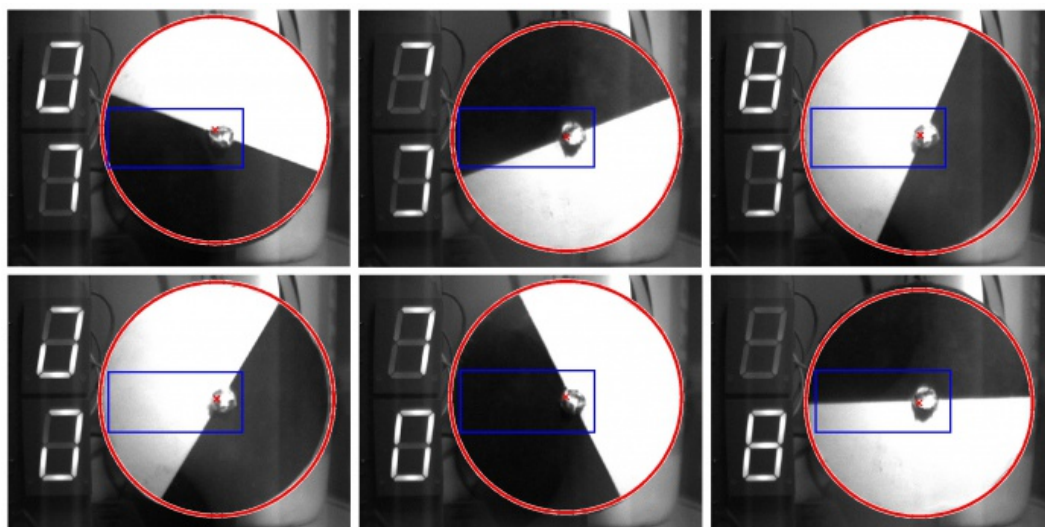


Obr. 3.2: Algoritmus nájdenia stredu a polomeru rotujúceho vzoru

Najprv sa zo vstupnej zachytenej sekvencie snímkov, rovnomerne vyberie 6 z nich.

Pomocou kruhovej Houghovej transformácie(CHT) sa deteguje jedna kružnica vo vybraných snímkach ako môžeme vidieť na obr. 3.3. Kruhová Houghová transformácia, transformuje obraz hrán získaný konvolúciou pôvodného obrazu a Sobelovho operátora do roviny parametrov, zvanej taktiež akumulátor. Keďže kružnica je opísaná pomocou troch parametrov a to súradníc stredu kružnice x_0 , y_0 a jej polomeru r v karteziánskej súradnicovej sústave, tak akumulátor by mal mať 3 rozmery. V použitej transformácii tomu tak nie je, akumulátor je len dvojrozmerný. Dva rozmery predstavujú parametre x_0 a y_0 , tretí parameter, polomer r sa musí dopočítať pomocou fázového kódovania, ktoré používa komplexné hodnoty v akumulátore s informáciou o polomere zakódovanou vo fáze údajov v akumulátore podľa [15].

Pri použití kruhovej Houghovej transformácie je nutné zadať rozsah polomerov kružnice, ktorá sa má hľadať v snímke. Za hornú hranicu rozsahu sa volí polovica dĺžky kratšej strany snímky. Za dolnú hranicu sa volí hodnota o 100 px menšia. Ak sa pomocou transformácie v zadanom rozsahu nenájde žiadna kružnica, tak sa rozsah zmenší o 100 px a začne sa odznova. Ak sa ani pri najmenšom možnom rozsahu nenájde žiadna kružnica, tak to znamená, že na snímkoch nie je zachytený vzor, alebo snímky sú nevyhovujúcej kvality a je nutné zachytiť nové snímky vyššej kvality.



Obr. 3.3: Detekcia kružníc pomocou kruhovej Houghovej transformácie(CHT)

Po detekcii kružníc je k dispozícii 6 polomerov r a 6 súradníc stredov x_0 , y_0 nájdených kružníc. Pomocou mediánu sa určí polomer vzoru r z nájdených polomerov. Následne sa odstránia tie nájdené súradnice stredov kružníc, ktoré ležia mimo oblasť predpokladaného výskytu stredu vzoru. Oblasť predpokladaného výskytu vzoru sa vypočíta na základe určeného polomeru vzoru r . Súradnica x_0 stredu kružnice sa

musí nachádzať v intervale

$$\langle 0, 85r, max_x - 0, 85r \rangle \quad (3.1)$$

kde max_x je šírka snímku. Obdobne súradnica y_0 stredu kružnice sa musí nachádzať v intervale

$$\langle 0, 85r, max_y - 0, 85r \rangle \quad (3.2)$$

kde max_y je výška snímku. Na obr. 3.3 je oblasť predpokladaného výskytu vzoru vyznačená modrým obdĺžnikom, stredy nájdených kružníc sú vyznačené červeným krížikom a ich polomery červenou kružnicou. Na obr. 3.3 je vidieť, že každé súradnice stredu kružnice sa navzájom mierne líšia. Preto sa určia jedny súradnice x_0 a y_0 pomocou mediánu zo všetkých nájdených súradníc. Určené súradnice budeme považovať za približný stred vzoru a ďalšími krokmi ho spresníme. Presnosť určenia polomeru vzoru považujeme za dostatočnú. Pri určení súradníc a polomeru vzoru sa používal medián, pretože v niektorých prípadoch dochádzalo ku chybnjej detekcii kružnice a pomocou mediánu sa zanedbávajú parametre chybnje detegovaných kružníc.

Ďalej je nutné nájsť čiaru, ktorá oddeľuje čierne a biely polkruh vzoru. Pomocou štandardnej Houghovej transformácie vychádzajúcej z [2], pre detekciu rovných čiar sa nájdu čiary vo vybraných 6 snímkach, pričom táto Houghová transformácia využíva parametrické vyjadrenie priamky v tvare 3.3

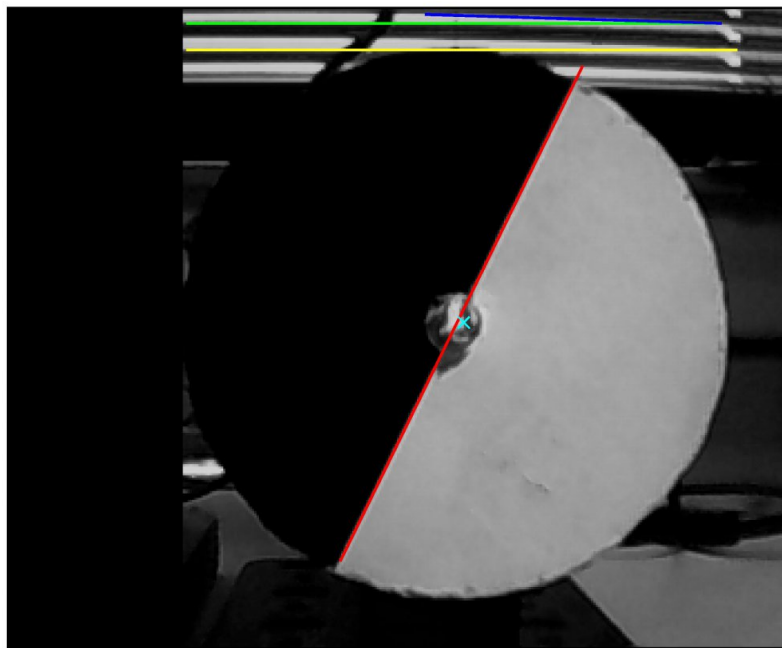
$$d = x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta) \quad (3.3)$$

pomocou ktorého vykonáva transformáciu obrazu do roviny parametrov, kde d je vzdialenosť priamky od začiatku súradnicovej sústavy a θ je uhol medzi osou x a normálou vedenou od počiatku súradnicového systému do priamky. Najprv sa v 6 vybraných snímkach odstráni oblasť naľavo od vzoru, kde sa nachádzajú luminiscenčné displeje. Do transformácie sa vkladá obraz hrán. Ten sa získa konvolúciou upravenej snímky a operátoru Prewitovej, následne sa vykoná prahovanie pomocou percentného prahu. Experimentálne sa určila jeho hodnota na 97%. Z percentného prahu sa na základe kumulatívneho histogramu obrazu hrán určí hodnota skutočného prahu použitého pri samotnom prahovaní. Vyprahovaný obraz hrán sa následne stenčí pomocou vzorca 3.4,

$$Y = X | (X \otimes B) \quad (3.4)$$

kde X je vstupný obraz hrán, B je štruktúrny element L Golayovej abecedy, symbol \otimes je morfológická operácia *tref či miň*, symbol $|$ je jednostranný množinový rozdiel a Y je výsledný stenčený obraz hrán. Obraz hrán sa neustále iteratívne stenčuje podľa 3.4, pokým sa vstupný obraz X nerovná výstupnému Y , kedy sa

dosiahla idempotentnosť. Obraz hrán sa stenčuje preto, aby výpočet klasickej Houghovej transformácie trval kratší čas. Pri kruhovej Houghovej transformácii sa obraz hrán nestenčoval preto, aby bolo možné v snímke nájsť aj kružnicu so zhoršenou kruhovitosťou. Výsledok detekcie čiar pomocou klasickej Houghovej transformácie je zobrazený na obr. 3.4.



Obr. 3.4: Hľadanie jednej čiary z viacerých detegovaných

Na obr. 3.4 je vidieť, že bolo detegovaných hneď niekoľko čiar. Je nutné nájsť čiaru, ktorá oddeľuje čierny a biely polkruh. V obr. 3.4 je vyznačená červenou farbou. Výber jednej čiary z detegovaných je založený na vzdialenosti čiary od približného stredu vzoru. Pri odvodzovaní vzorca pre výpočet vzdialenosti priamky p (nájdenná čiara) od približného stredu vzoru X sa vychádzalo z rovnice 3.5 podľa [13],

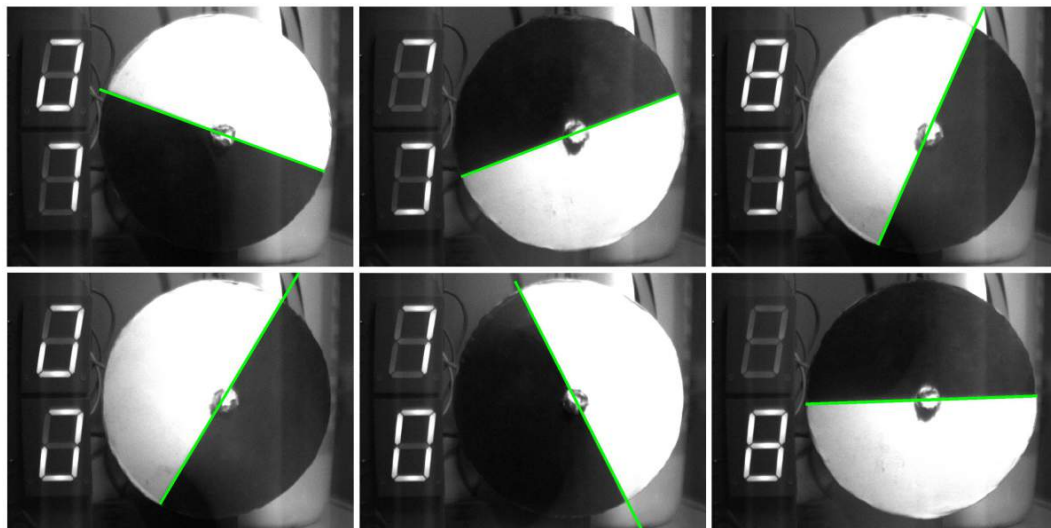
$$|X; p| = \frac{a \cdot x_0 + b \cdot y_0 + c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (3.5)$$

pričom priamka p je v tvare $p = ax + by + c = 0$. Pri ďalšom upravovaní sa bral do úvahy fakt, že nájdenné čiary majú parametre d a θ podľa rovnice 3.3. Výsledný tvar vzorca pre výpočet vzdialenosti priamky od bodu má tvar

$$|X; p| = \cos(\theta) \cdot x_0 - d + y_0 \cdot \sin(\theta) \quad (3.6)$$

Po vypočítaní vzdialenosti čiary od približného stredu vzoru sa postupne testuje, či vypočítaná vzdialenosť príslušnej čiary je menšia než nastavený limit. Poradie testovania čiar je stanovené podľa veľkosti hodnoty maxima predstavujúceho príslušnú

čiaru v akumulátore Houghovej transformácie. Čím hodnota maxima je väčšia, tým poradové číslo testovania čiary bude menšie. Keď sa pri testovaní nájde vzdialenosť menšia než nastavený limit, tak príslušná čiara je považovaná za hľadanú a prejde sa na testovanie ďalšej snímky. Takto vybrané čiary sú zobrazené na obr. 3.5.



Obr. 3.5: Nájdenie jednej čiary vo vybraných snímkach

Ďalej sa vypočítajú priesečníky všetkých možných kombinácií nájdených čiar z obrázku obr. 3.5. Pri odvodzovaní vzorca pre výpočet súradníc priesečníka dvoch priamok sa vychádzalo z tvaru rovnice 3.3, v ktorom sú zadané nájdené priamky a podľa [12]. Výsledný tvar rovnice pre súradnicu x priesečníka je

$$x = -\frac{\frac{d_2 \sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} - d_1}{\cos(\theta_1) - \frac{\cos(\theta_2) \sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)}} \quad (3.7)$$

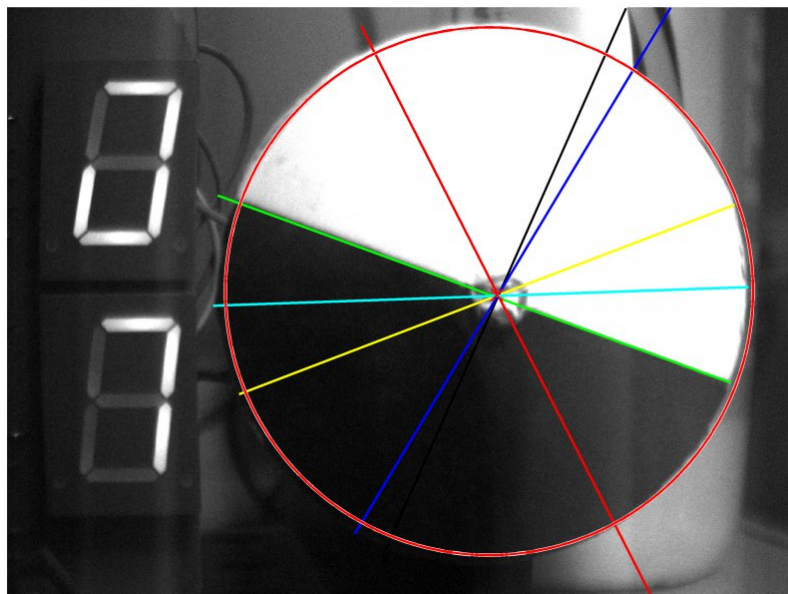
a pre súradnicu y priesečníka je

$$y = \frac{d_2}{\sin(\theta_2)} + \frac{\cos(\theta_2)}{\sin(\theta_2)} \frac{\frac{d_2 \sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)} - d_1}{\cos(\theta_1) - \frac{\cos(\theta_2) \sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)}} \quad (3.8)$$

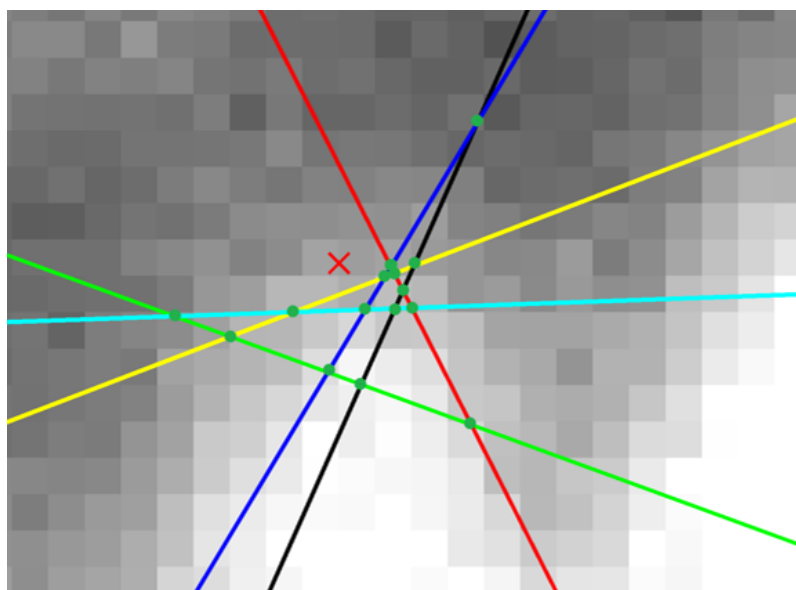
kde parametre s indexom 1 sú parametrami jednej čiary a s indexom 2 sú parametrami druhej čiary.

Na obr. 3.6 je zobrazený jeden snímok, v ktorom je vložených 6 detegovaných čiar z obrázku obr. 3.5. Na obrázku obr. 3.7 je zobrazený detail priesečníkov vyznačených zelenými bodkami.

Pomocou rovníc 3.7 a 3.8 sa vypočítajú súradnice týchto priesečníkov. Vypočítané súradnice sa zoradia podľa veľkosti, 2 najväčšie a 2 najmenšie sa zanedbajú a z



Obr. 3.6: Vybrané čiary z ktorých sa počítajú priesečníky

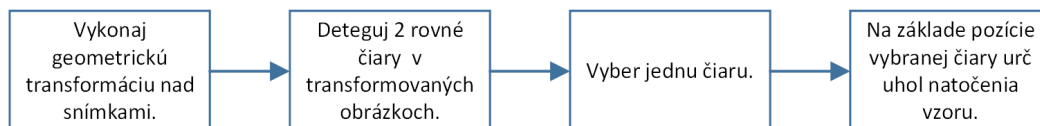


Obr. 3.7: Detail vybraných čiar z ktorých sa počítajú priesečníky

ostatných sa vypočítajú pomocou aritmetického priemeru súradnice, ktoré predstavujú stred rotujúceho vzoru s dostatočnou presnosťou.

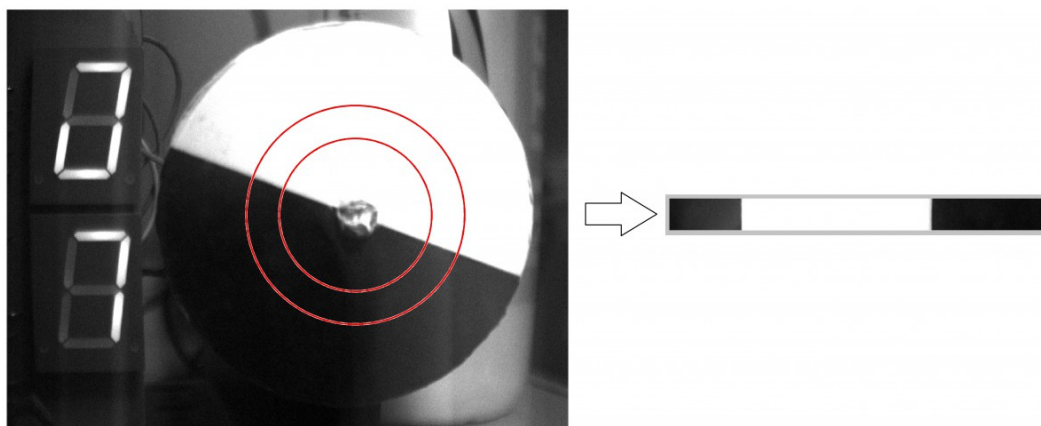
3.2 Určenie uhlu natočenia vzoru

Algoritmus určenia uhlu natočenia vzoru ϕ_{nat} sa skladá z ďalších dielčích krokov, ktoré sú zobrazené na obr. 3.8.



Obr. 3.8: Algoritmus určenia uhlu natočenia vzoru

Najprv sa vykoná geometrická transformácia, ktorá mapuje kruhový výsek na pravouhlý, ako je vidieť na obr. 3.9.



Obr. 3.9: Použitá geometrická transformácia

Použitím tejto transformácie sa ďalšie spracovanie urýchlilo. Ak by sa nepoužila táto transformácia, ale priamo by sa detegovala čiara, ktorá oddeľuje biely a čierny polkruh vzoru, ktorej uhol natočenia odpovedá uhlu natočenia vzoru, tak by mohli nastať problémy pri jej detekcii, ak by zachytené snímky boli vplyvom rotácie vzoru rozmazané.

Transformácia využíva lineárnu interpoláciu jasových hodnôt podľa [1] a parametrické vyjadrenie kružnice 3.9

$$\begin{aligned}x &= x_0 + r \cdot \cos(\varphi) \\y &= y_0 + r \cdot \sin(\varphi)\end{aligned}\tag{3.9}$$

kde φ je uhol, ktorý sa mení v intervale $\langle 0^\circ, 360^\circ \rangle$.

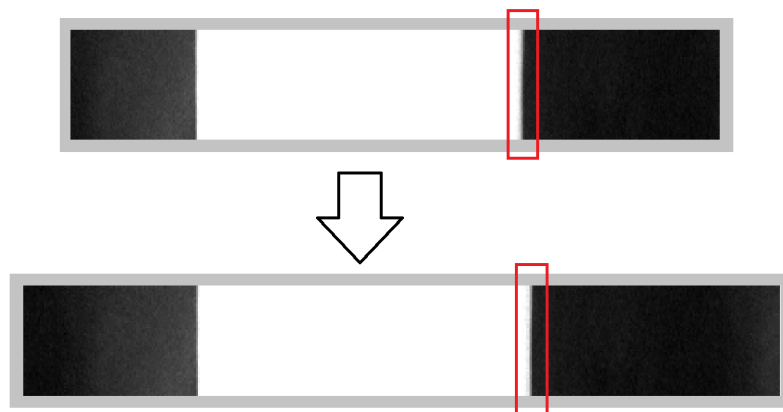
Pri transformácii je nutné zadať stred vzoru, uhol mapovania kruhového výseku φ_{map} , vonkajší a vnútorný polomer r kruhového výseku. Stred vzoru je známy z predchádzajúcich krokov. Uhol mapovania φ_{map} udáva krok, po akom sa bude meniť uhol φ v 3.9 a zároveň aj ovplyvňuje presnosť určenia uhlu natočenia. Ak uhol mapovania je $\varphi_{map}=1^\circ$, tak výsledok určenia uhlu natočenia vzoru ϕ_{nat} bude s presnosťou na 1° . Vonkajší a vnútorný polomer výseku sa určí na základe polomeru vzoru. Vonkajší polomer sa rovná polovici polomeru vzoru plus 30 px a vnútorný sa rovná polovici polomeru vzoru mínus 30 px. Ak vonkajší polomer alebo vnútorný polomer budú nadobúdať nevhodných hodnôt, tak algoritmus vypíše chybu kvôli malej veľkosti vzoru.

V transformovanom obraze sa pomocou klasickej Houghovej transformácie využívajúcej 3.3, detegujú 2 hrany, kde nastáva prechod z bielej časti vzoru do čiernej a naopak. Do klasickej Houghovej transformácie sa vkladá obraz hrán, ktorý je získaný obdobným spôsobom ako v predchádzajúcom prípade, čo znamená, že sa používa operátor Prewitovej, percentný prah a stenčovanie pomocou morfológických operácií. Hodnota percentného prahu bola experimentálne určená na 94%. Pri Houghovej transformácii sa definuje oblasť predstavujúca minimálnu vzdialenosť dvoch nájdených maxím v akumulátore. Definovaním tejto oblasti sa zabraňuje viacnásobnému nájdeniu tej istej čiary v obraze. Veľkosť oblasti v tomto prípade sa rovná jednej štvrtine rozmerov transformovaného obrazu.

Po nájdení 2 hrán v transformovanom obraze je nutné vybrať jednu z nich, ktorej poloha bude udávať uhol natočenia vzoru ϕ_{nat} . Algoritmus hľadá hranu, kde nastáva prechod z bielej časti vzoru do čiernej. Takisto by sa mohla hľadať hrana, kde nastáva prechod z čiernej časti vzoru do bielej, ktorej poloha tiež nesie informáciu o uhle natočenia vzoru ϕ_{nat} , je len nutné aby sa v každej snímke našla hrana s rovnakým prechodom medzi časťami vzoru ako v ostatných snímkach. Dielčím krokom pri hľadaní jednej hrany bolo rozšírenie transformovaného obrazu ako to zobrazuje obrázok obr. 3.10. Pri rozširovaní sa zoberie časť snímky o šírke 25 px zo začiatku transformovaného obrazu a pridá sa na jeho koniec. Obdobné rozšírenie sa vykoná presunutím časti z konca transformovaného obrazu na jeho začiatok.

Algoritmus hľadá hranu, kde nastáva prechod z bielej časti vzoru do čiernej na základe súčtu jasových hodnôt, ktoré sa nachádzajú v jednom stĺpci transformovaného obrazu, 24 px pred nájdenými hranami. Transformovaný obraz sa rozširuje kvôli ošetrovaniu prípadu, kedy sa našla hrana na pozícii vzdialenej menej ako 25 px od začiatku obrazu.

Ak sa našli hrany, ktorých parametre neodpovedajú hľadaným zvislým hranám alebo ak sa nenašla jedna hrana vôbec v transformovanom snímku, tak sa predpokladá, že snímok je buď rozmazaný alebo kamera zaslala prázdny snímok. Takýto snímok sa vynecháva pri ďalšom spracovaní a algoritmus vypíše varovanie, o ktorý



Obr. 3.10: Rozšírenie transformovaného obrazu

snímok a z ktorej kamery sa jedná.

Z polohy hľadanej hrany, ktorá je daná vzdialenosťou od začiatku súradnicovej sústavy d a hodnoty uhlu φ_{map} po ktorom sa mapuje kruhový výsek je možné určiť uhol natočenia vzoru ϕ_{nat} podľa vzorca:

$$\phi_{nat} = d \cdot \varphi_{map} \quad (3.10)$$

Ku prepínaniu svietiacich segmentov na luminiscenčných displejoch dochádza pri uhle natočenia vzoru $\phi_{nat} = 341^\circ$, preto je nutné k vypočítaným uhľom natočenia ϕ_{nat} pripočítať 19° . Ak sa pri pripočítavaní prekročí hodnota 360° uhlu ϕ_{nat} , tak sa od jeho hodnoty odpočíta 360° , čím sa zaručí, že výsledné uhly natočenia ϕ_{nat} budú v intervale $(0^\circ, 360^\circ)$. Táto operácia je nutná, kvôli ďalšiemu spracovaniu údajov. Pri natáčaní video záznamov sa musia kamery nachádzať oproti prípravku a musia byť vycentrované tak, aby boli v rovine s prípravkom.

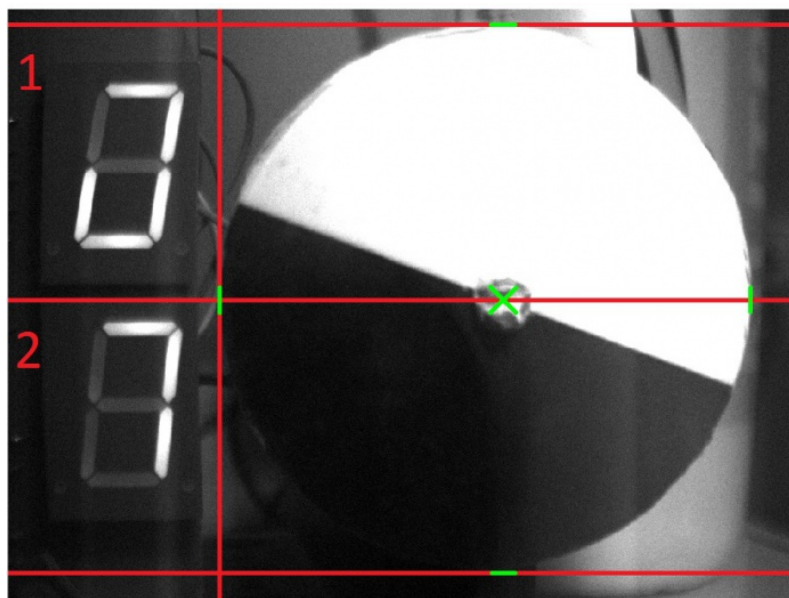
3.3 Určenie počtu svietiacich segmentov na luminiscenčných displejoch

Prípravok obsahuje 2 luminiscenčné displeje, ktoré zobrazujú stav počítadla otáčok vzoru. Po každej otáčke sa inkrementuje stav počítadla. Jeden displej zobrazuje kombinácie od 0 po 7, čo je celkovo 8 kombinácií, pričom pri prvej kombinácii nesvieti ani jeden segment, pri druhej svieti jeden segment, pri tretej dva až postupne svieti všetkých sedem segmentov pri ôsmej kombinácii. Používa sa tu prenos medzi prvým a druhým displejom pri pretečení, takže obidva displeje dokážu zobrazit 64 kombinácií. Ak nastane pretečenie druhého displeja, tak počítadlo sa vynuluje, obidvom displejom zhasnú všetky segmenty a začína sa odznova.

Na základe stredy a polomeru vzoru, sa zachytené snímky rozdelia do oblastí, ktoré sú zobrazené na obr. 3.11. Oblasti označené číslami 1 a 2 sa filtrujú pomocou konvolúcie s konvolučnou maskou h pre filtrovanie jednoduchým priemerom

$$h = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

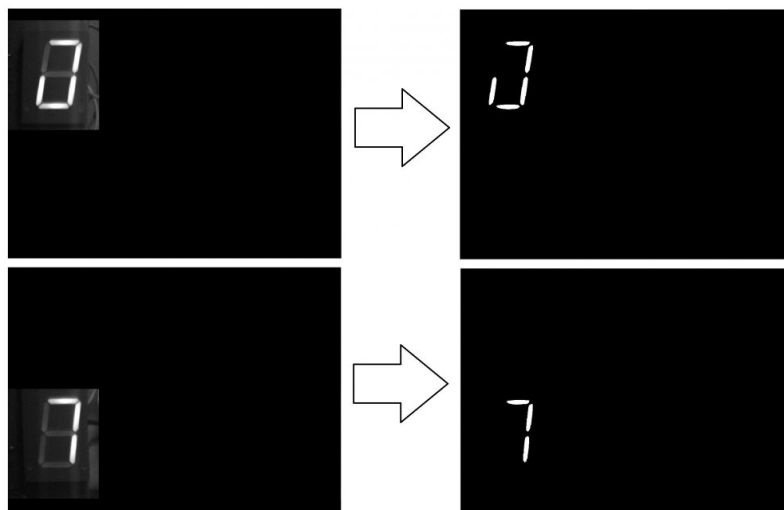
a ostatné oblasti sa odstraňujú. Výsledok po odstránení nepotrebných oblastí je zobrazený vľavo na obrázku obr. 3.12, kde oblasť 1 a 2 je vložená do samostatného nového obrazu. Umiestnenie regulátora s luminiscenčnými displejmi musí byť vždy v súlade s obrázkom obr. 3.11. To znamená, že prípravok sa musí nachádzať naľavo od vzoru tak, aby vodorovná čiara prechádzajúca stredom vzoru oddeľovala luminiscenčné displeje od seba. Predná plocha vzoru a predná plocha luminiscenčných displejov sa musí nachádzať v jednej rovine.



Obr. 3.11: Rozdelenie snímky do viacerých oblastí

Následne sa oblasti prahujú tak, aby vznikli regióny predstavujúce svietiace segmenty. Ďalej sa spočíta obvod vzniknutých regiónov o_r , na základe ktorého prebehne klasifikácia, ktorá určí počet svietiacich segmentov. Ukázalo sa, že klasifikácia pomocou obvodu regiónov je menej náchylná k chybnéj klasifikácii, než keby bola vykonávaná pomocou veľkosti regiónov.

Keďže luminiscenčné displeje sa nachádzajú v jednej rovine spolu s rotujúci vzorom, tak na základe polomeru vzoru je možné vypočítať obvod jedného segmentu o_1 podľa vzorca 3.12



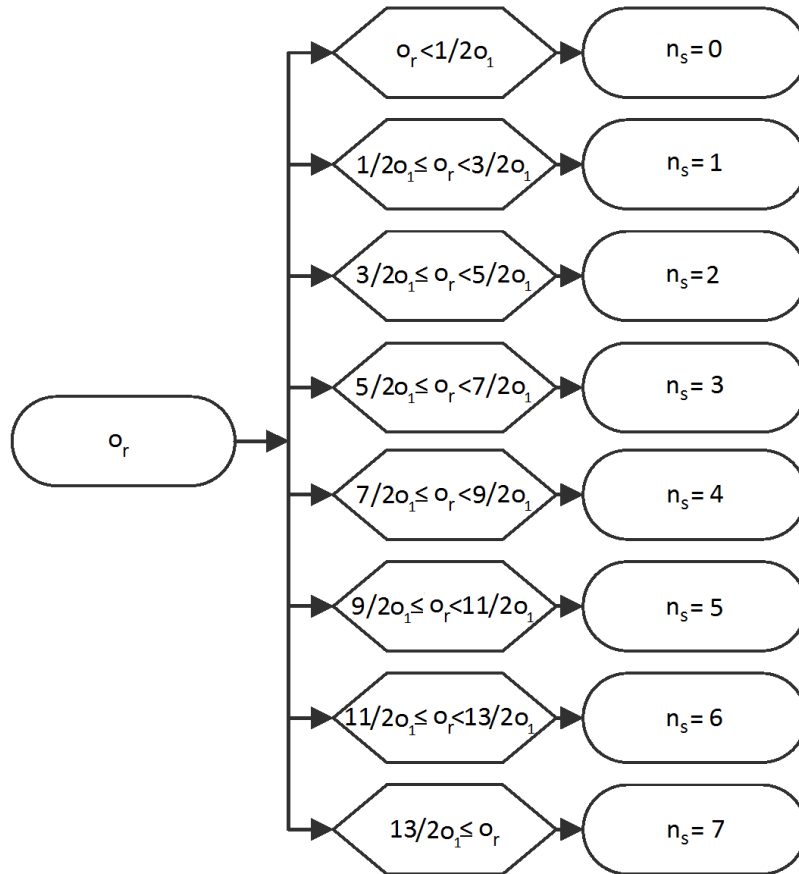
Obr. 3.12: Prahovanie oblasti snímky, kde sa nachádzajú luminiscenčné displeje

$$o_1 = K \cdot r \quad (3.12)$$

pričom experimentálne bola určená hodnota konštanty $K = 0,5$. Obvod jedného segmentu o_1 sa bude využívať pri klasifikácii. Algoritmus postupne vkladá do klasifikátora hodnoty obvodu regiónov o_r . Model klasifikátora je zobrazený na obrázku obr. 3.13. Podľa toho do akého intervalu patrí obvod regiónu o_r , tak toľko svietiacich segmentov n_s predstavuje tento región. Výsledkom popisovaného algoritmu sú počty svietiacich segmentov na prvom a druhom displeji. Pri tejto klasifikácii nastávala chyba vtedy, keď svietili všetky segmenty a zároveň po prahovaní splývali do jedného výsledného regiónu. Preto sa pásikmi z nepriehľadnej pásky prekryli oblasti medzi segmentami v strede luminiscenčných displejoch ako je vidieť na obrázku obr. 2.1.

Nato aby klasifikácia bola úspešná, tak je potrebné prahovať snímky s vhodne nastaveným prahom. Úroveň prahu určí algoritmus, do ktorého sa vloží obraz so svietiacimi segmentami a počet svietiacich segmentov na obraze. Tento algoritmus je zobrazený na obrázku obr. 3.14.

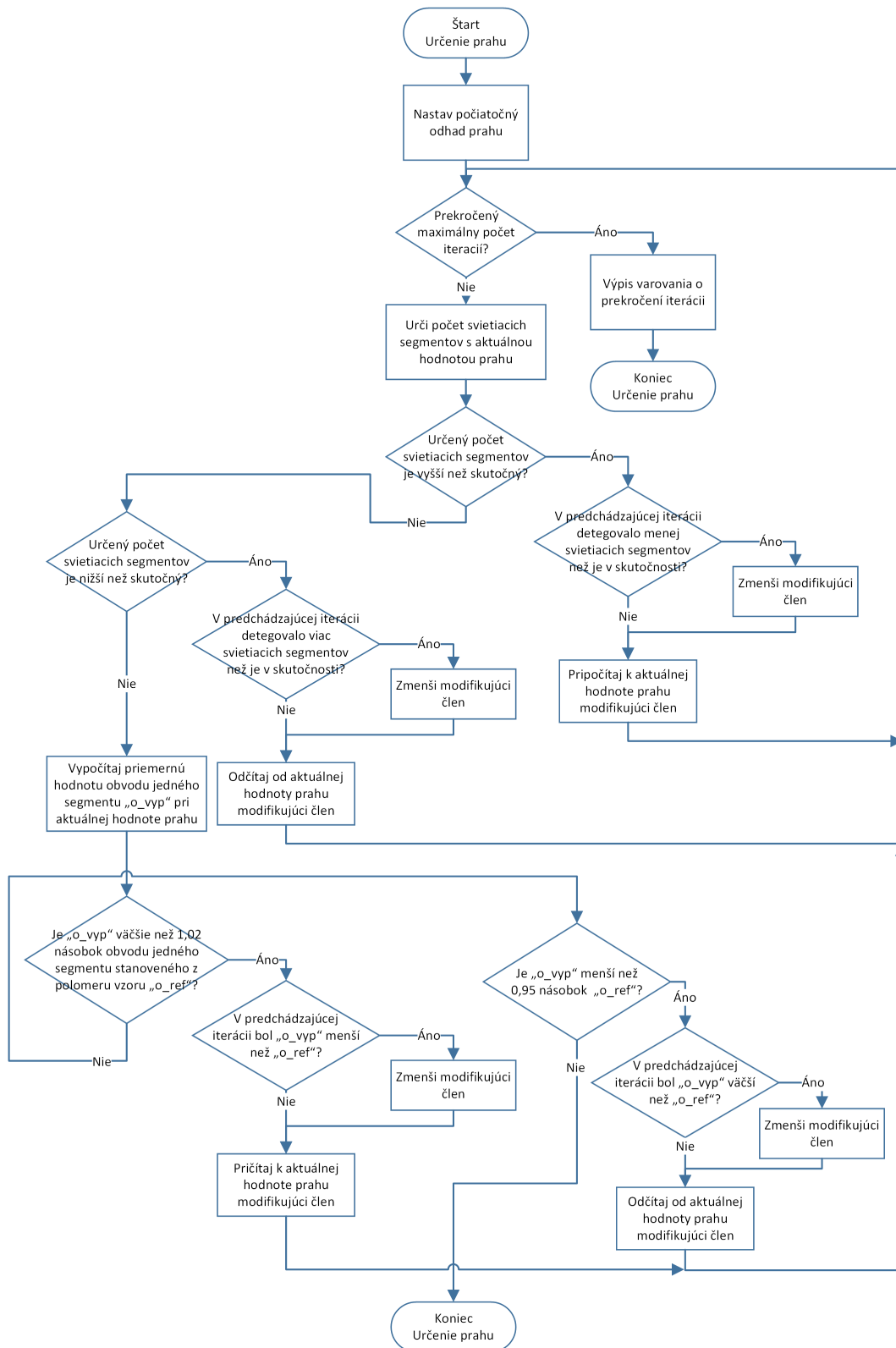
Algoritmus iteračne upravuje prah tak, aby po prahovaní obrazu a vypočítaní obvodu vzniknutých regiónov, počet určených svietiacich segmentov pomocou klasifikátora sa rovnal skutočnému počtu svietiacich segmentov na obraze. Ak sa oba počty rovnajú, tak algoritmus ďalej spresňuje hodnotu prahu. Vypočíta sa priemerná hodnota obvodu jedného segmentu o_{vyp} z prahovaného obrazu pomocou aktuálnej hodnoty prahu. Ďalej sa vypočíta obvod jedného segmentu na základe polomeru vzoru podľa 3.12, tento obvod je v obr. 3.14 označený ako o_{ref} . Algoritmus neustále upravuje prah, pokiaľ hodnota o_{vyp} sa nenachádza v intervale



Obr. 3.13: Model klasifikátora počtu svietiacich segmentov

$\langle 0, 95o_{ref}; 1, 02o_{ref} \rangle$. Interval je nastavený tak, že väčšia časť zahrňuje hodnoty obvodu menšie ako o_{ref} , čo v konečnom dôsledku spôsobuje, že sa s väčšou pravdepodobnosťou nájde prah, ktorý bude väčší než prah, pri ktorom obvod vzniknutého regiónu bude rovný o_{ref} . Takéto nastavenie intervalu je kvôli tomu, aby hodnota určeného prahu nebola príliš malá. Pri malých hodnotách prahu, po prahovaní vznikali v obraze regióny, ktoré nepredstavovali svietiace segmenty, čo vnášalo pri klasifikácii chybu. Ak ani po prekročení maximálneho počtu iterácií sa nenašla všetky podmienky splňujúca hodnota prahu, tak sa vypíše varovanie a vráti sa aktuálna hodnota prahu.

V obr. 3.14 pre prehľadnosť chýbajú podmienky, ktoré kontrolujú, či aktuálna hodnota prahu má zmysluplný význam, teda či jej hodnota sa pohybuje medzi 0% a 100%. Ak hodnota prahu pri iterácií prekročí jednu z medzí, tak sa bude hodnota prahu rovnáť prekročenej medznej hodnote a znovu sa vykoná nová iterácia. Ak ani v tomto prípade nebudú splnené všetky podmienky pre úspešné určenie prahu, tak sa vypíše varovanie a vráti sa aktuálna hodnota prahu rovná medznej hodnote.



Obr. 3.14: Algoritmus určenia prahu

3.4 Stanovenie vzájomných časových relácií

Po predchádzajúcich krokoch sú k dispozícii všetky potrebné informácie pre stanovenie vzájomných časových relácií a to konštantná rýchlosť otáčania vzoru v_n , uhly natočenia vzoru ϕ_{nat} a svietiace kombinácie segmentov na zachytených snímkach. Čas kedy i -ta snímka bola snímaná kamerou $t_s(i)$ sa vypočíta podľa 3.14

$$t_s(i) = \frac{\phi_{nat}(i)}{360v_n} + \frac{(n_{s1}(i) + 8n_{s2}(i)) - (n_{s1}(1) + 8n_{s2}(1)) + 64n_{over}}{v_n} \quad (3.13)$$

kde $n_{s1}(i)$ je počet svietiacich segmentov na prvom displeji na i -tej zachytenej snímke, $n_{s2}(i)$ je počet svietiacich segmentov na druhom displeji na i -tej zachytenej snímke, n_{over} je počet pretečení počítadla otáčok vzoru. Pretečenie počítadla otáčok vzoru sa zistí na základe kombinácie zobrazovanej luminiscenčnými displejmi. Ak kombinácia na predchádzajúcej snímke bola väčšia ako na aktuálnej, tak nastalo pretečenie a premenná n_{over} sa inkrementuje.

Týmto spôsobom sa vypočítajú časy nasnímania snímky z viacerých kamier. Od všetkých vypočítaných časov t_s sa odčíta najmenší vypočítaný čas nasnímania snímky spomedzi všetkých kamier. Tým sa tento najmenší čas posunie do času 0 s a ostatné časy sa tiež odpovedajúc k tomu posunú. Pri grafickom zobrazení času nasnímania snímok, sa v konkrétny vypočítaný čas nasnímania vykreslí zvislá čiara ako je to vidieť napr. na obr. 4.2, pričom časový okamžik nasnímania prvej snímky bude vždy v čase 0 s.

Z časov nasnímania snímok kamerou je možné vypočítať snímkovú frekvenciu pri i -tej snímke $f_s(i)$ podľa 3.14

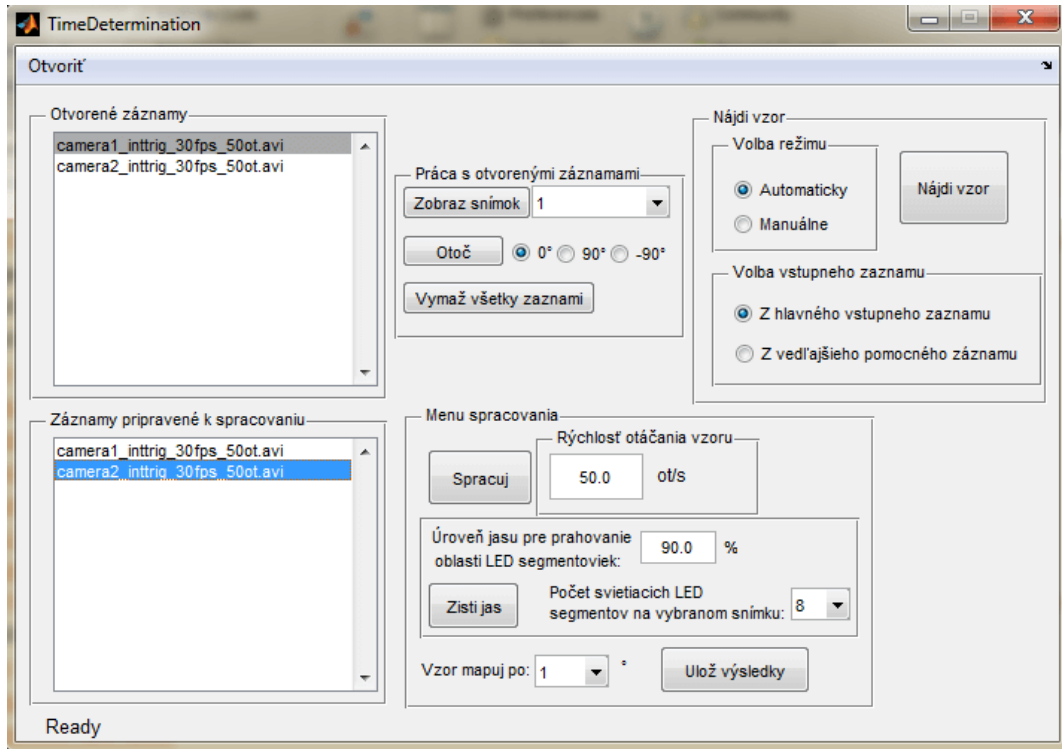
$$f_s(i) = \frac{1}{t_s(i) - t_s(i-1)} \quad (3.14)$$

Snímkovú frekvenciu f_s pri prvej zachytenej snímke nie je možné vypočítať, keďže nie je k dispozícii čas násnímania predchádzajúcej snímky, preto pri grafickom zobrazení snímkovvej frekvencie f_s sa začína s vykresľovaním až od času nasnímania druhej zachytenej snímky ako je to vidieť napr. na obr. 4.3. Ak čas nasnímania snímky sa rovná s časom nasnímania predchádzajúcej snímky, tak snímková frekvencia f_s pri danej snímke je rovná 0 fps.

Ak niektorá snímka v zachytenej sekvencii snímok nebola dostatočnej kvality, dôsledkom čoho nebolo možné určiť uhol natočenia vzoru a svietiacu kombináciu na displejoch, tak pri oboch grafických zobrazeniach sa pri vykresľovaní vypustí údaj od príslušnej snímky.

3.5 Uživatelské prostredie

Pre celý popísaný softvér pre stanovenie času snímania kamier bolo navrhnuté grafické rozhranie, pre jeho ľahšie použitie. Ukážka grafického rozhrania je na obr. 3.15.



Obr. 3.15: Grafické rozhranie

Užívateľ pridá video záznamy z viacerých kamier pomocou tlačidla *Otvoriť*. Vybraný video záznam sa načíta do pamäte a zobrazí sa v zozname pre otvorené záznamy. Program dokáže načítať video súbory v matlabovskom formáte mat, alebo vo video formáte avi. Načítaný video záznam je možné viackrát otočiť o 90° , tak aby luminiscenčné displeja sa nachádzali vľavo od vzoru. Tiež je možné zobraziť ľubovlnú snímku z video záznamu pomocou tlačidla *Zobraz snímok*.

Po načítaní videa je možné nájsť stred a polomer vzoru pomocou sekcie s názvom *Nájdí vzor*. Pri automatickom hľadaní sa použije algoritmus 3.1, pričom ako zdroj snímok pre túto operáciu sa môže použiť buď už načítaný vstupný záznam, alebo vedľajší vstupný záznam. Možnosť použitia vedľajšieho pomocného vstupného záznamu je vhodné použiť vtedy, ak pri zachytávaní snímku kamery pracovali s externým spúšťaním snímania pomocou signálu generovaného prípravkom. Vtedy uhol natočenia vzoru je na každej snímke rovnaký a algoritmus pre nájdenie stredu a polomeru vzoru nedokáže nájsť hľadané parametre s požadovanou presnosťou. Takisto

je vhodné použiť možnosť vedľajšieho záznamu vtedy, ak snímková frekvencia odpovedala rýchlosti otáčania vzoru. Pri nahrávaní vedľajšieho záznamu je nutné aby kamera a prípravok sa nachádzali na totožnej pozícii ako pri nahrávaní hlavného vstupného záznamu a aby frekvencia snímania nebola celistvým násobkom rýchlosti otáčania vzoru. V menu *Nájdí vzor* je možné zvoliť aj manuálny režim. Po jeho zvolení program zobrazí prvý snímok z načítaného video záznamu a užívateľ klikne na stred a okraj vzoru. Manuálny režim nie je doporučený kvôli chybám, ktoré môže vnieť užívateľ pri zadávaní potrebných parametrov. Po vykonaní algoritmu nájdenia vzoru sa zobrazí výsledok hľadania, ktorý je obdobný ako na obr. 3.5, kde je zobrazený nájdený stred, polomer vzoru a detegované čiary, z ktorých sa vychádzalo pri výpočte súradníc stredu. Zároveň sa príslušný video záznam objaví v zozname pre záznamy pripravené k spracovaniu. Ak užívateľ nie je spokojný s výsledkom nájdenia vzoru, tak je možné opätovne spustiť algoritmus hľadania s inými nastaveniami. Po ukončení algoritmu sa opäť zobrazí výsledok a prepíšu sa nájdené parametre.

Po nájdení vzoru na snímkach je nutné zadať rýchlosť otáčania vzoru pri zachytávaní videa kamerami. Taktiež je potrebné zadať úroveň jasnosti pre prahovanie oblastí, kde sa nachádzajú luminiscenčné displeje. K tomu je možné použiť algoritmus na obr. 3.14, ktorý požaduje snímok so svietiacimi segmentami a skutočný počet svietiacich segmentov. Užívateľ v sekcii *Práca s otvorenými záznamami* vyberie a zobrazí snímok, na ktorom svietia nejaké segmenty a ich počet zadá do poľa *Počet svietiacich LED segmentov na vybranom snímku* v sekcii *Menu spracovania*. Následným stlačením tlačidla *Zisti jas*, algoritmus určí vhodnú hodnotu pre prahovanie. Každý záznam môže mať nastavenú inú hodnotu prahu, pričom hodnota sa môže nastaviť aj manuálne. Manuálne zadanie je potrebné potvrdiť klávesou enter.

Nakoniec užívateľ vyberie veľkosť uhla, po ktorom sa bude mapovať vzor pri geometrickej transformácii. Na výber sú veľkosti 1° a $0,5^\circ$. Menšie hodnoty uhlu nie sú k dispozícii, pretože pri malých hodnotách tohoto uhlu dochádzalo k výraznému rozmazaniu obrazu po geometrickej transformácii. Výber veľkosti uhlu o hodnote $0,5^\circ$ je vhodný, ak zachytené snímky majú dostatočné rozlíšenie a kvalitu, pričom nám neprekáža dlhší čas spracovania záznamov.

Po stlačení tlačidla *Spracuj* sa spustí spracovanie záznamov, čoho výsledkom budú 2 grafy. V prvom grafe budú zobrazené časové sledy okamžikov zachytenia snímok z viacerých kamier, pričom vykreslené značky v čase nasnímania snímky budú pre každú kameru vykreslené inou farbou, ako je vidieť napr. na obr. 4.2. V druhom grafe budú zobrazené snímkové frekvencie pre viaceré kamery, pričom každá snímková frekvencia kamery bude vykreslená inou farbou. Keďže pre vykresľovanie je k dispozícii 7 farieb, tak maximálny počet načítaných záznamov je obmedzený na 7.

Výsledky je možné uložiť pomocou tlačidla *Ulož výsledky*. Uložené výsledky

budú vo forme dvoch bunkových polí a jedného vektora. Bunkové pole s názvom *Time_shooting_frames* obsahuje vektory s časmi nasnímania snímok kamerami v sekundách, pričom každý vektor predstavuje jednu kameru. Bunkové pole s názvom *Frame_rate_records* obsahuje vektory s hodnotami snímkovej frekvencie v jednotkách *fps*, pričom každý vektor predstavuje jednu kameru. Vektor s názvom *Radius_patterns* obsahuje polomery nájdených vzorov v *px*, pričom každý prvok vektora odpovedá jednej kamere.

Počas vykonávania časti navrhnutého softvérového postupu sa stav programu *Ready*, nachádzajúci sa v ľavom dolnom rohu grafického rozhrania, zmení na stav *Busy*. Počas stavu *Busy* nie je vhodné spúšťať akúkoľvek inú funkciu programu a je potrebné počkať na dokončenie aktuálneho vykonávaného procesu. Ak počas vykonávania procesu nastane problém, tak program o ňom vypíše buď varovanie alebo chybu, podľa závažnosti vzniknutého problému.

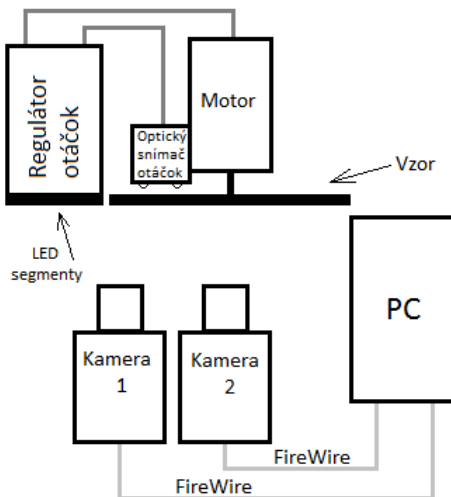
4 STANOVENIE ČASU SNÍMANIA KAMIER

Po návrhu a zrealizovaní metódy a prípravku pre stanovenie vzájomných časových relácií môžeme prejsť ku samotnému použitiu metódy pri konkrétnych nastaveniach kamier. V tejto kapitole budú opísané 3 vykonané merania s rôznymi konfiguráciami kamier. Pri meraniach sa pred prípravok, ktorý rotoval vzorom konštantnou rýchlosťou, postavili skúmané kamery, spustilo sa nahrávanie na určitú dobu a zo zachytených video sekvencií sa určili vzájomné časové relácie.

4.1 Stanovenie času snímání kamier s rozhraním FireWire, pri internom spúšťaní snímání

Pri prvom meraní, sa použili 2 kamery s rozhraním FireWire 400(IEEE 1394) od výrobcu The Imaging Source, typu DMK 31BF03. Kamery sú čiernebiele, majú CCD snímač a ich maximálna snímková frekvencia je 30 fps pri rozlíšení 1024x768 px.

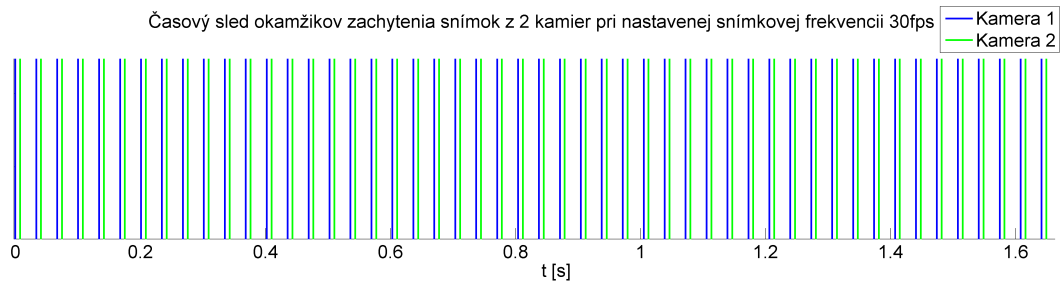
Pri meraní mali obe kamery nastavenú snímkovú frekvenciu $f_{s_n} = 30$ fps, pričom každá kamera mala svoju vlastnú kartu s FireWire rozhraním v počítači, ktorý komunikoval s kamerami a zároveň zaznamenával snímky posielané z kamier. Zapojenie pracoviska môžeme vidieť na obrázku obr. 4.1.



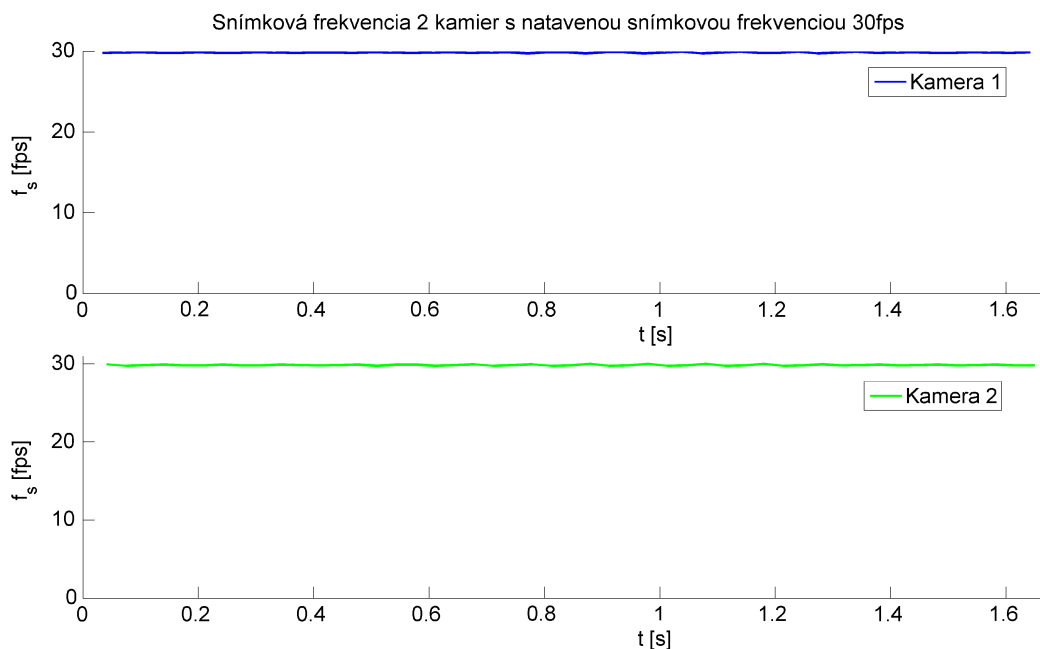
Obr. 4.1: Zapojenie pracoviska pri meraní s kamerami s FireWire rozhraním

Na počítači bol nainštalovaný operačný systém Windows 7. Pomocou programovacieho prostredia Matlab boli nastavené kamery a tiež aj prijímané a ďalej spracované snímky posielané kamerami. Rýchlosť otáčania vzoru počas merania bola $v_n = 50$ ot/s.

Výsledky merania sú zobrazené na obr. 4.2 a obr. 4.3.



Obr. 4.2: Časový sled okamžikov zachytenia snímok z 2 kamier pri nastavenej snímkovej frekvencii 30 fps



Obr. 4.3: Snímková frekvencia 2 kamier s nastavenou snímkovou frekvenciou 30 fps

Z časového sledu okamžikov zachytenia snímok obr. 4.2 je vidieť, že rozostupy medzi okamžikmi zachytenia snímok pre danú kameru sú rovnaké, z čoho vyplýva, že snímková frekvencia bola konštantná, čo potvrdzuje aj nameraná snímková frekvencia f_s na obr. 4.3. Jej hodnota sa pohybovala okolo 30 fps, čo odpovedá nastavenej snímkovej frekvencii f_{sn} , takže kamery pracovali podľa očakávania.

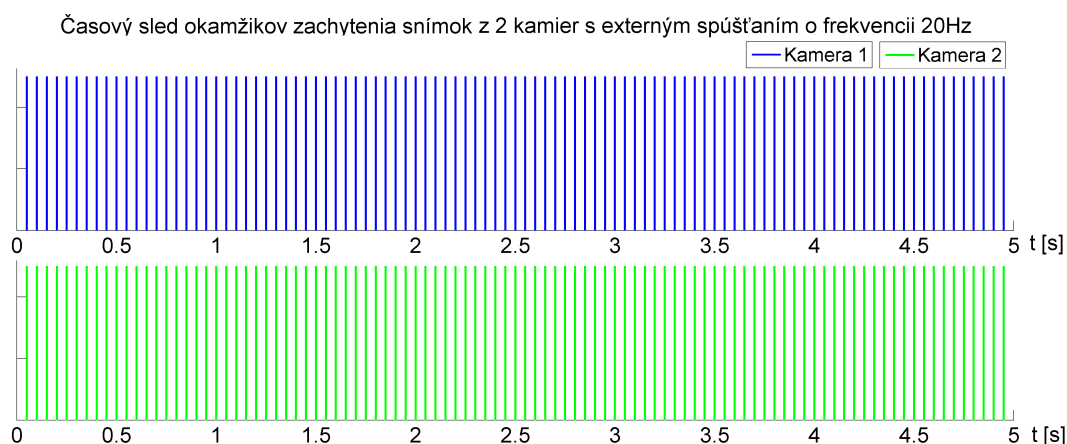
Pri tomto meraní bola snaha, o zmeranie časových relácii aj v prípade, kedy kamery zdieľajú jednu kartu s FireWire rozhraním v počítači. Táto snaha skončila neúspechom, pretože po pripojení 2 kamier do jednej karty a ich spustení, obslužný

softvér vypísal chybu o preťažení zbernice FireWire. Túto chybu vypisovali aj iné softvéry určené pre prácu s danými kamerami.

4.2 Stanovenie času snímania kamier s rozhraním FireWire, pri externom spúšťaní snímania

Pri druhom meraní sa použili tie isté kamery ako pri prvom meraní, pričom sa využila možnosť externého spúšťania snímania pomocou impulzov privedených na ich trigger vstup. Taktiež bol použitý ten istý počítač. V tomto prípade sa použil program pre záznam snímok od výrobcu kamier s názvom IC Capture. Pracovisko bolo zapojené obdobne ako pri prvom meraní obr. 4.1, len navyše z regulátora bol pripojený výstup spúšťacieho impulzu paralelne na obe kamery. Maximálna frekvencia spúšťacieho signálu snímania kamier je 30 Hz. Rýchlosť otáčania vzoru počas merania bola $v_n = 40$ ot/s, pričom pri každej druhej otáčke sa generoval impulz pre spúšťanie snímania, čiže výsledný signál pre spúšťanie mal frekvenciu 20 Hz, takže očakávaná snímková frekvencia je 20 fps.

Výsledky merania sú zobrazené na obr. 4.4 a obr. 4.5.



Obr. 4.4: Časový sled okamžikov zachytenia snímok z 2 kamier s externým spúšťaním snímania o frekvencii 20 Hz

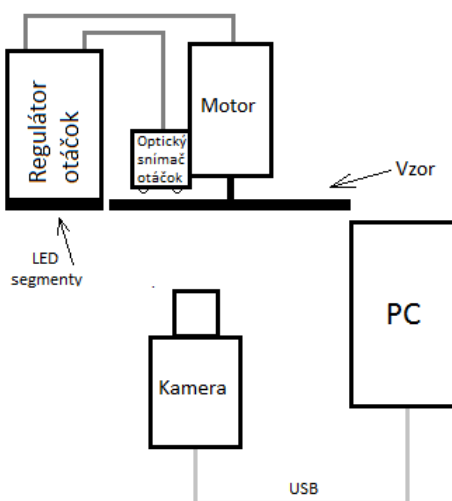
Z časového sledu okamžikov zachytenia snímok obr. 4.4 vyplýva, že odpovedajúce snímky oboch kamier boli zachytené v rovnaký čas, podľa príchodu spúšťacieho impulzu. Z oboch grafov obr. 4.4 a obr. 4.5 vyplýva, že snímková frekvencia f_s bola konštantná a pohybovala sa okolo hodnoty 20 fps. Z merania vyplýva, že obe kamery pracovali podľa očakávania.



Obr. 4.5: Snímková frekvencia 2 kamier s externým spúšťaním snímania o frekvencii 20 Hz

4.3 Stanovenie času snímania kamery s rozhraním USB

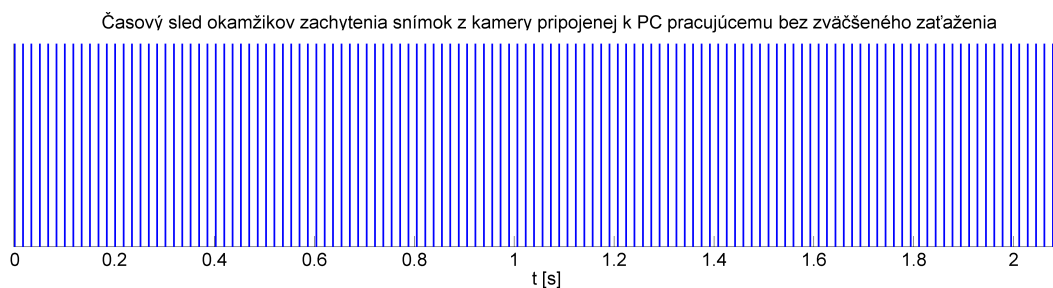
Pri treťom meraní bola použitá kamera s USB rozhraním od výrobcu The Imaging Source, typu DFK 21AU04. Kamera je farebná, má CCD snímač a jej maximálna snímková frekvencia je 60 fps pri rozlíšení 640x480 px. Zapojenie pracoviska je na obr. 4.6.



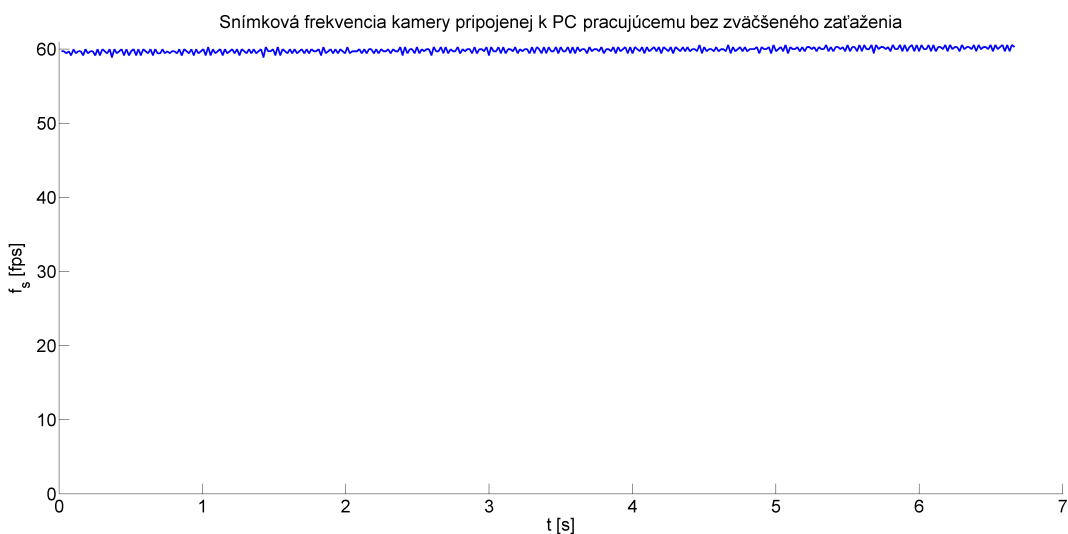
Obr. 4.6: Zapojenie pracoviska pri meraní s kamerou s USB rozhraním

Tak ako v predchádzajúcich prípadoch, počítač pracoval pod operačným systémom Windows 7 a pomocou programovacieho prostredia Matlab boli prijímané snímky z kamery. Pri tomto meraní pracoval počítač pri rôznych zataženiach. Rýchlosť otáčania vzoru pri všetkých zataženiach bola $v_n = 35$ ot/s a nastavená snímková frekvencia bola $f_{s_n} = 60$ fps.

Pri prvom prípade počítač pracoval bez zväčšenej záťaže. Výsledky merania sú zobrazené na obr. 4.7 a obr. 4.8.



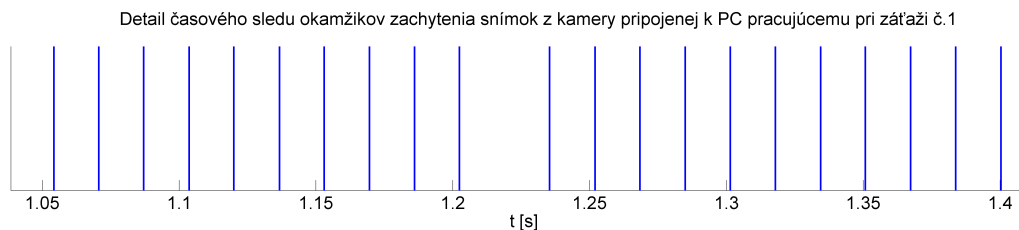
Obr. 4.7: Časový sled okamžikov zachytenia snímok z kamery pripojenej k PC pracujúcemu bez zväčšeného zataženia



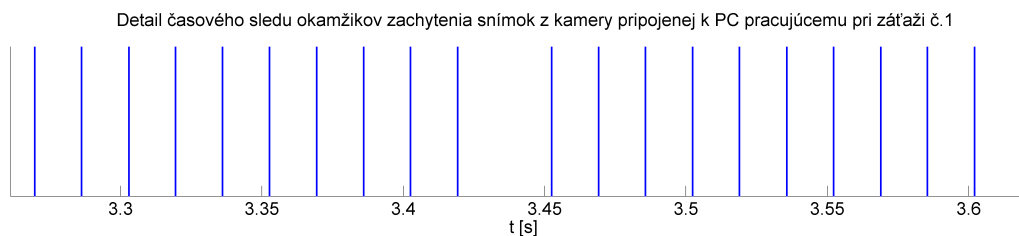
Obr. 4.8: Snímková frekvencia kamery pripojenej k PC pracujúcemu bez zväčšeného zataženia

Z oboch grafov obr. 4.7 a obr. 4.8 vyplýva, že snímková frekvencia f_s bola konštantná a pohybovala sa okolo hodnoty 60 fps. Keďže nameraná snímková frekvencia f_s sa rovná nastavenej f_{s_n} , tak kamera pracovala podľa očakávania.

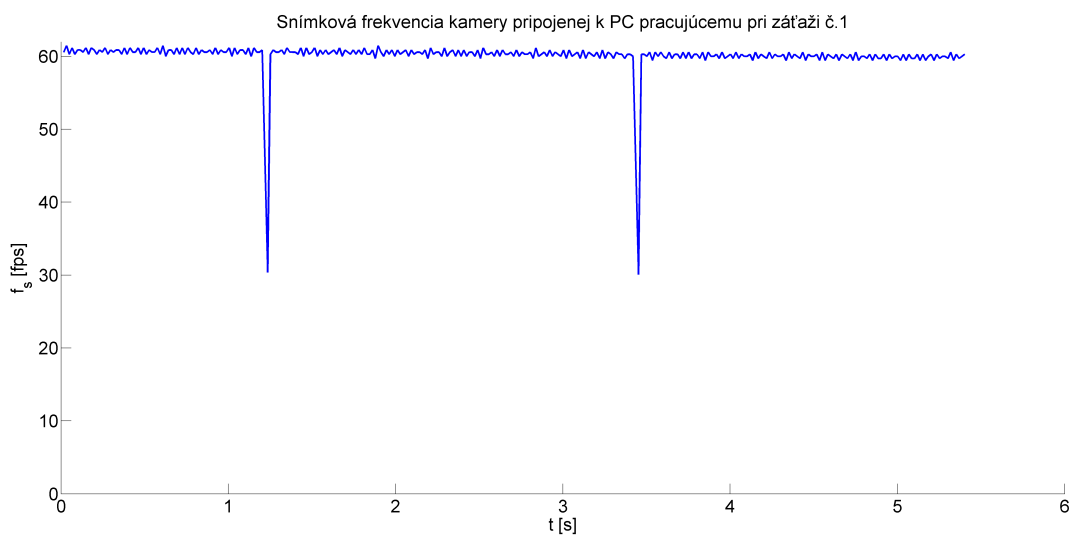
V druhom prípade, pracoval počítač pri zväčšenom zaťažení. Zväčšené zaťaženie spočívalo v tom, že po spustení snímania kamery, sa spustil aj prenos dát z 2 flash pamätí pripojených cez USB k počítaču. Toto zaťaženie sa bude označovať číslom 1.



Obr. 4.9: Prvý detail časového sledu okamžikov zachytenia snímok z kamery pripojenej k PC pracujúcemu pri záťaži č.1



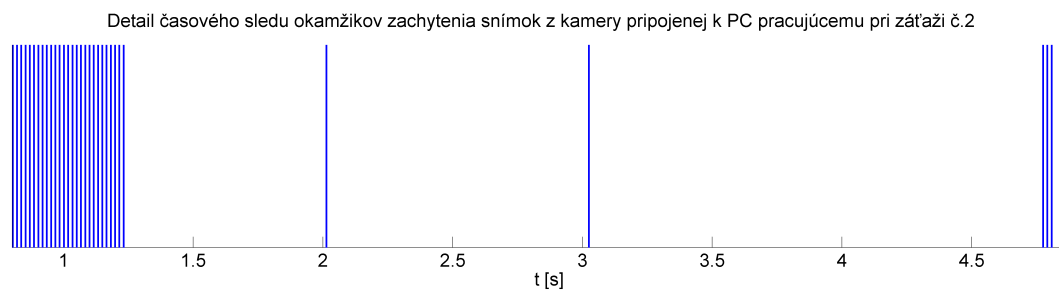
Obr. 4.10: Druhý detail časového sledu okamžikov zachytenia snímok z kamery pripojenej k PC pracujúcemu pri záťaži č.1



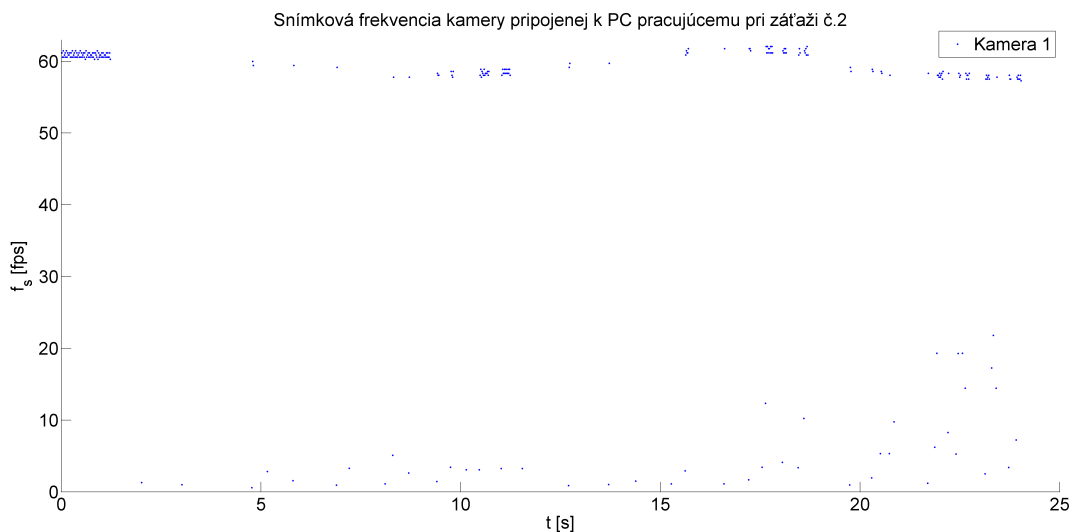
Obr. 4.11: Snímková frekvencia kamery pripojenej k PC pracujúcemu pri záťaži č.1

Na detailoch časového sledu okamžikov zachytenia snímok obr. 4.9 a obr. 4.10 je vidieť, že v zachytenej video sekvencii chýbajú dva snímky. To sa prejavilo aj znížením snímkovej frekvencie f_s na polovicu, čiže 30 fps v dvoch okamžikoch ako je vidieť na obr. 4.11. Vo zvyšných okamžikoch bola snímková frekvencia f_s rovná nastavenej snímkovej frekvencii $f_{sn} = 60$ fps.

V treťom prípade, pracoval počítač tiež pri zväčšenom zatažení. Zväčšené zataženie spočívalo v tom, že po spustení snímania kamery, sa spustil aj prenos dát z 3 flash pamätí pripojených cez USB k počítaču. Toto zataženie sa bude označovať číslom 2.



Obr. 4.12: Detail časového sledu okamžikov zachytenia snímok z kamery pripojenej k PC pracujúcemu pri zátazi č.2



Obr. 4.13: Snímková frekvencia kamery pripojenej k PC pracujúcemu pri zátazi č.2

Z nameranej snímkovej frekvencie obr. 4.13 vyplýva, že skutočná snímková frekvencia f_s nebola konštantná a mala náhodný priebeh, ten môžeme pozorovať aj v detaile časového sledu okamžikov zachytenia snímok obr. 4.12. Pri nasadení tejto

kamery spolu s použitým počítačom v praktickej aplikácii, by výskyt podmienok podobných simulovanej záťaži mohol mať za následok nefunkčnosť celej aplikácie.

Video sekvencie, z ktorých vychádzali vykonané merania sú súčasťou príloh tejto práce.

5 STANOVENIE PRESNOSTI A KVALITY DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV

Presnosť a kvalita dosiahnutých výsledkov, závisí od viacerých faktorov.

Prvým z nich je presnosť, s akou regulátor udržiava konštantnú rýchlosť otáčania. Rýchlosť otáčania vzoru v_{rot} bolo nutné zmerať pomocou prístroja, ktorý vyhodnotí jej hodnotu s dostatočnou presnosťou. Preto sa zmerala pomocou čítača HP 53131A. Regulátor po každej celej otáčke vzoru vygeneroval impulz na jeho výstupe pre externé spúšťanie kamier. Čítač zmeral dobu medzi nástupnými hranami dvoch po sebe idúcich generovaných impulzov. Táto doba nepriamo odpovedá rýchlosti otáčania vzoru v_{rot} . Pri meraní sa najprv spustil regulátor a zadala sa rýchlosť otáčania v_n . Po potvrdení otáčiek, regulátor začal pracovať a vzor sa zažal otáčať. Po ukončení prechodového deja sa spustilo meranie s čítačom. Čítač zmeral 300 po sebe idúcich impulzov, z ktorých vyhodnotil časy obehu jednej otáčky vzoru, ktoré následne spracoval pomocou štatistického módu. Meranie sa vykonalo pre rôzne nastavené hodnoty rýchlosti otáčania vzoru v_n . Výsledky merania sú tabuľke v tab. 5.1, kde

Tab. 5.1: Meranie presnosti regulácie rýchlosti otáčania vzoru

$v_n[ot/s]$	5	10	20	30	50	75	100	125	150
$t_n[ms]$	200,0	100,0	50,00	33,33	20,00	13,33	10,00	8,000	6,667
$t_{mean}[ms]$	196,7	99,30	50,16	33,15	19,98	13,36	10,04	7,997	6,652
$t_{max}[ms]$	212,7	103,0	51,06	33,62	20,05	13,43	10,07	8,014	6,667
$t_{min}[ms]$	185,9	96,70	49,10	33,05	19,84	13,28	9,966	7,966	6,620
$t_{std}[\mu s]$	3900	1249	752,7	251,2	27,25	25,48	17,78	8,394	8,069
$\Delta_{mean}[\mu s]$	-3300	-700,0	160,0	-183,3	-20,00	26,67	40,00	-3,00	-14,67
$\delta_{mean}[\%]$	1,68	0,70	0,32	0,55	0,10	0,20	0,40	0,04	0,22
$\Delta_{max}[\mu s]$	12700	3000	1060	286,7	50,00	96,67	70,00	14,00	0,33
$\delta_{max}[\%]$	6,35	3,00	2,12	0,86	0,25	0,72	0,70	0,17	0,005
$\Delta_{min}[\mu s]$	-14100	-3300	-900,0	-283,3	-160,0	-53,33	-34,00	-34,00	-46,67
$\delta_{min}[\%]$	7,05	3,30	1,80	0,85	0,80	0,40	0,34	0,42	0,70

t_n je doba jednej otáčky vypočítaná z nastavenej hodnoty rýchlosti otáčania vzoru v_n , t_{mean} je aritmetický priemer z nameraných hodnôt časov jednej otáčky, t_{max} je maximálna nameraná doba jednej otáčky, t_{min} je minimálna nameraná doba jednej otáčky, t_{std} je štandardná odchýlka z nameraných hodnôt, Δ_{mean} je absolútna chyba a δ_{mean} je relatívna chyba vychádzajúca z t_{mean} , Δ_{max} je absolútna chyba a δ_{max} je

relatívna chyba vychádzajúca z t_{max} , Δ_{min} je absolútna chyba a δ_{min} je relatívna chyba vychádzajúca z t_{min} .

Absolútne chyby zmeraných veličín boli počítané podľa vzorca 5.1

$$\Delta_x = t_x - t_n \quad (5.1)$$

Relatívne chyby zmeraných veličín boli počítané podľa rovnice 5.2.

$$\delta_x = \frac{|\Delta_x|}{t_n} \quad (5.2)$$

Pri oboch vzorcoch sa za premenné s indexom x dosadzujú príslušné hodnoty, z ktorých vychádzajú.

Z vypočítaných relatívnych chýb δ_{max} a δ_{min} vyplýva, že ak regulátor reguluje rýchlosť otáčok na $v_n=30$ ot/s a vyššiu, tak skutočné otáčky sa líšia od nastavených maximálne o $\pm 1\%$, z čoho vyplýva, že relatívna chyba regulácie je $\delta_{reg}=\pm 1\%$ pri regulácii na hodnotu $v_n=30$ ot/s a vyššiu. Ďalej z tabuľky je vidieť, že pri regulácii pod hodnotu $v_n=30$ ot/s relatívna chyba stúpa s klesajúcimi požadovanými rýchlosťami otáčania vzoru v_n . Preto je vhodné pri meraniach nastaviť v_n na hodnotu $v_n=30$ ot/s a vyššiu. Relatívna chyba δ_{reg} je menšia pri vyšších požadovaných rýchlostiach v_n , pretože pri regulácii dochádza častejšie k aktualizácii údajov o rýchlosti otáčania a aj k častejšej úprave akčného zásahu.

Druhým faktorom ovplyvňujúci presnosť dosiahnutých výsledkov, je veľkosť uhla φ_{map} po ktorom sa mapuje kruhový výsek pri použitej geometrickej transformácii. Čím je veľkosť uhla menšia, tým s väčším rozlíšením sa určí uhol natočenia vzoru. Pri použití veľmi malých hodnôt uhla φ_{map} sú hrany na transformovanom snímku rozmazané. Z tohoto dôvodu nie je vhodné používať veľmi malú hodnotu uhlu φ_{map} pre mapovanie. Grafické rozhranie dovoľuje užívateľovi nastaviť tento uhol buď na hodnotu 1° alebo $0,5^\circ$. Ak sa mapuje po 1° , tak veľkosť relatívnej chyby, ktorá sa vnáša do výsledku je $\delta_{map1} = \pm 0,5 \cdot \frac{1}{360} \cdot 100 = \pm 0,14\%$. Ak sa mapuje po $0,5^\circ$, tak veľkosť relatívnej chyby, ktorá sa vnáša do výsledku je $\delta_{map0,5} = \pm 0,5 \cdot \frac{0,5}{360} \cdot 100 = \pm 0,07\%$.

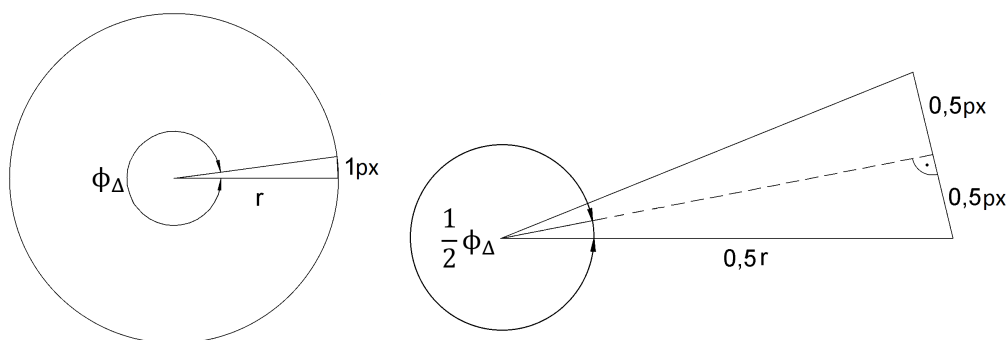
Ďalším faktorom, ktorý ovplyvňuje kvalitu výsledkov je rozmazanie zachytených snímok, spôsobené rotáciou vzoru. Vplyv rozmazania sa dá zmenšiť pomocou zmenšenia času expozície snímky t_e . V niektorých prípadoch sa pri veľmi krátkych časoch expozície t_e ani vhodným osvetlením a ani zvyšovaním zosilnenia snímacieho čipu nedokázali zachytiť snímky vyhovujúcej kvality. Preto sa musela predĺžiť doba expozície t_e aj keď to viedlo k zhoršeniu kvality dosiahnutých výsledkov. Takáto situácia nastala pri meraní kamerou s USB rozhraním. Pri meraniach kamerami s FireWire rozhraním bola nastavená najmenšia možná doba expozície kamier a to $t_e=100 \mu s$. Vplyv rozmazania je možné zmenšiť aj zmenšením rýchlosti otáčania vzoru v_n . Pri

malých nastavených rýchlostiach v_n sa regulátor dopúšťa veľkej regulačnej odchýlky, čo opäť nepriaznivo vplýva na kvalitu dosiahnutých výsledkov. Preto je nutné vždy nájsť kompromis. Pri číselnom vyjadrení vnesenej chyby týmto faktorom je nutné vypočítať uhol ϕ_{vzd} , o ktorý sa otočí vzor počas doby snímania snímky, čiže počas doby expozície t_e . Po vypočítaní ϕ_{vzd} je možné vypočítať relatívnu chybu spôsobenú rozmazaním snímky δ_{rmz} podľa rovnice 5.3

$$\delta_{rmz} = 0,5 \frac{\phi_{vzd}}{360} 100 = 0,5 \frac{v_n t_e}{360} 100 \quad (5.3)$$

Pri meraniach kamerami s FireWire rozhraním bola $t_e = 100 \mu s$, pričom rýchlosť otáčania vzoru v_n sa pohybovala v rozmedzí od 35ot/s po 50ot/s, z čoho vyplýva, že relatívna chyba spôsobená rozmazaním δ_{rmz} sa pohybovala v intervale $\langle 4,9 \cdot 10^{-4} \%, 7 \cdot 10^{-4} \% \rangle$. Vidíme, že chyba je zanedbateľná v porovnaní s chybami spôsobenými ostatnými faktormi. Pri meraní kamerou s USB rozhraním, nebola nastavená najmenšia možná doba t_e . V obsluhujúcom programe pre kameru sa doba t_e zadávala v relatívnom formáte, z ktorého nebolo možné stanoviť dobu t_e v sekundách, takže nie je možné vypočítať δ_{rmz} . Keďže jej hodnotu nepoznáme, tak ju nemôžeme zanedbať.

Ďalším faktorom, ktorý ovplyvňuje kvalitu výsledkov je rozlíšenie kamery. Čím je väčšie, tým je možné presnejšie určenie natočenia vzoru. Pre číselné vyjadrenie chyby je potrebné vypočítať uhol ϕ_Δ , ktorý predstavuje najmenšiu rozlišovaciu hodnotu uhla natočenia vzoru stanoveného zo snímky. Uhol ϕ_Δ zvierajú 2 úsečky predstavujúce hranu medzi čiernym a bielym polkruhom vzoru, ktoré sú spojené v jednom bode predstavujúcom stred vzoru a ktorých opačné konce pri okraji vzoru sú vzdialené 1 px. Táto situácia je zobrazená vľavo na obrázku obr. 5.1.



Obr. 5.1: Zobrazenie situácie pri výpočte chyby spôsobenej rozlíšením kamery

Pri spracovaní snímky sa vychádza z kruhového výseku, ktorý sa nachádza v strede vzoru. Preto pri výpočte uhla ϕ_Δ je nutné vychádzať s polovičnou hodnotou polomeru vzoru r . Situáciu zobrazuje obrázok obr. 5.1 vpravo. Je tu vidieť rovnostranný trojuholník, z ktorého predelením vzniknú 2 pravouhlé trojuholníky. V

pravouhlom trojuholníku je možné pomocou goniometrických funkcií vypočítať uhol ϕ_Δ . Z hodnoty uhlu ϕ_Δ je možné vypočítať relatívnu chybu spôsobenú rozlíšením kamery δ_{roz} podľa rovnice 5.4

$$\delta_{roz} = 0,5 \frac{\phi_\Delta}{360} 100 = \frac{\arcsin(\frac{0,5}{r})}{360} 100 \quad (5.4)$$

Výsledná relatívna chyba δ_{celk} je rovná súčtu všetkých dielčích chýb $\delta_{celk} = \delta_{reg} + \delta_{map} + \delta_{rmz} + \delta_{roz}$. Pri všetkých vykonaných meraniach bola hodnota uhlu pre mapovanie $\varphi_{map} = 0,5^\circ$, otáčky vzoru v_n boli vyššie než 30 ot/s a doba expozície t_e buď mala zanedbateľnú hodnotu alebo jej hodnota nebola známa. Preto výsledná δ_{celk} vykonaných meraní bude rovná $\delta_{celk} = \delta_{reg} + \delta_{map} + \delta_{roz}$. Výsledné hodnoty δ_{celk} sú v tabuľke tab. 5.2,

Tab. 5.2: Relatívne chyby meraní

Názov súboru	r[px]	δ_{roz} [%]	δ_{reg} [%]	δ_{map} [%]	δ_{celk} [%]	Mer.
camera_usb_60fps_35ot_normal	219,5	$\pm 0,04$	$\pm 1,00$	$\pm 0,07$	$\pm 1,11$	4.3
camera_usb_60fps_35ot_zataz_c1	223,6	$\pm 0,04$	$\pm 1,00$	$\pm 0,07$	$\pm 1,11$	4.3
camera_usb_60fps_35ot_zataz_c2	216,8	$\pm 0,04$	$\pm 1,00$	$\pm 0,07$	$\pm 1,11$	4.3
camera1_exttrig_40ot_20Hz	214,0	$\pm 0,04$	$\pm 1,00$	$\pm 0,07$	$\pm 1,11$	4.2
camera2_exttrig_40ot_20Hz	188,5	$\pm 0,04$	$\pm 1,00$	$\pm 0,07$	$\pm 1,11$	4.2
camera1_inttrig_30fps_50ot	348,0	$\pm 0,02$	$\pm 1,00$	$\pm 0,07$	$\pm 1,09$	4.1
camera2_inttrig_30fps_50ot	309,0	$\pm 0,03$	$\pm 1,00$	$\pm 0,07$	$\pm 1,10$	4.1

kde sa nachádzajú relatívne chyby pre každý video záznam, z ktorých vychádzalo meranie poznamenané v stĺpci s názvom Mer..

Vypočítané hodnoty δ_{celk} nemôžeme považovať za konečné, pretože neuvažujú chybu spôsobenú šumom v snímkach a pri meraniach kamerou s USB rozhraním neuvažujú δ_{rmz} , ktorej hodnota je neznáma a preto ju nemôžeme zanedbať.

6 ZÁVER

Cielom mojej práce je vytvorenie metodiky pre testovanie poradia a vzájomných časových relácii pri získavaní snímkou z viacerých kamier. K dosiahnutiu tohto cieľa bolo potrebné najprv naštudovať problematiku spracovania obrazu, činnosť a vlastnosti kamier. Po naštudovaní problematiky sa navrhla metóda pre testovanie poradia a vzájomných časových relácii. Metóda je založená na zobrazovaní definovane sa meniacej scény, ktorú snímajú kamery a zo zachytených snímok sa určia požadované relácie. Metóda pracuje "offline" čo znamená, že kamerami je nutné najprv zachytiť a uložiť video sekvencie a tie sa potom spracujú a vyhodnotia.

Definovane meniacu sa scénu zobrazuje skonštruovaný prípravok. Prípravok reguluje rýchlosť otáčania rotujúceho vzoru na konštantnú hodnotu, pričom po každej otáčke inkrementuje počítadlo, ktorého stav zobrazujú luminiscenčné displeje. Činnosť prípravku je riadená 8 bitovým mikrokontólerom, pričom riadiaci algoritmus bol napísaný v jazyku C. Presnosť regulácie rýchlosti otáčania vzoru značne ovplyvňuje presnosť výsledkov navrhnutého postupu testovania. Preto pri ďalšej konštrukcii prípravku by som volil buď synchronný motor namiesto jednosmerného motoru, alebo snímač otáčok, ktorý aktualizuje údaj o rýchlosti viac krát za jednu otáčku.

Po zrealizovaní prípravku sa napísal potrebný softvér. Ten najprv na základe 6 rovnomerne vybraných snímok zo zachytenej sekvencie určí stred a polomer rotujúceho vzoru. Následne sa určí uhol natočenia vzoru a svietiace kombinácie segmentov na všetkých snímokach zo zachytenej sekvencie. Na základe určených údajov a známej konštantnej rýchlosti otáčania vzoru sa určia požadované časové relácie. Softvér bol písaný v programovom prostredí Matlab. Pri spracovaní a vyhodnocovaní nastávala chyba v momentoch, kedy uhol natočenia vzoru ϕ_{nat} prekročil hodnotu 360° , začala teda nová otáčka od 0° , ale nedošlo k inkrementovaniu počítadla, ktorého stav zobrazovali luminiscenčné displeje. K inkrementácii počítadla došlo, keď uhol natočenia vzoru ϕ_{nat} bol o niečo väčší ako 0° . Ak v tento okamih snímala kamera, tak stanovený čas zachytenia tejto snímky pomocou navrhnutého softvéru sa vráti späť do minulosti. Tomuto javu sa dá predísť tým, že prípravok sa pevne ukotví, pretože pri rotácii vznikajú vibrácie a tým ovplyvňujú uhol natočenia vzoru ϕ_{nat} , alebo použitím presnejšieho snímača otáčok od ktorého sa odvíja inkrementácia počítadla. Ďalším možným spôsobom riešenia tohoto problému by bolo, ak ku inkrementácii počítadla by dochádzalo každú polotáčku a nie celú otáčku. Navrhnutý softvér by vyhodnotil uhol natočenia ϕ_{nat} , ktorého hodnota by musela ležať v intervale zadanom podľa toho, či svieti párna alebo nepárna kombinácia segmentov na displejoch. Ak by uhol natočenia ϕ_{nat} neodpovedal svietiacej kombinácii, znamenalo by to, že sa počítadlo neinkrementovalo a softvér by automaticky inkrementoval hodnotu určenej svietiacej kombinácie, čím by sa problém odstránil.

Pomocou navrhnutej metodiky bola vykonaná celá rada testov, pričom sa do práce vložilo jedno meranie od každého reprezentanta. Celkovo sa v práci nachádzajú 3 merania. Pri prvých dvoch meraniach sa použili 2 kamery s FireWire rozhraním a pri treťom meraní sa použila kamera s USB rozhraním. Pri oboch meraniach s kamerami s FireWire rozhraním, kedy v prvom prípade bolo použité interné spúšťanie a v druhom externé spúšťanie, pracovali kamery podľa očakávania. Pri simulovaní podmienok zvýšenej záťaže celého systému obsluhujúci program vypísal chybu o preťažení zbernice. V treťom meraní kamerou s USB rozhraním pri simulácii zvýšenej záťaže, kamera nepracovala podľa očakávania, pretože znižovala snímkovú frekvenciu. Pri nasadení tejto kamery spolu s použitým vybavením v konkrétnej aplikácii, by výskyt podmienok podobných simulovanej záťaži mohol viesť k nefunkčnosti celej aplikácie. Po vykonaní meraní sa na záver spravilo stanovenie presnosti a kvality dosiahnutých výsledkov.

LITERATÚRA

- [1] HLAVÁČ, Václav a Miloš SEDLÁČEK. *Zpracování signálů a obrazů*. 2. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 2007, 255 s. ISBN 978-80-01-03110-0.
- [2] *Transformačné metódy spracovania obrazov: Houghová transformácia* [online]. 2008, [cit. 2014-11-24]. Dostupné z: <<http://www.scrigroup.com/limba/ceha-slovaca/36/Transforman-metdy-spracovania-63627.php>>.
- [3] DEPARTMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE UNIVERSITY OF EDINBURGH. *Image Processing Learning Resources: HIPR2* [online]. 2000, 13.10.2003 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/>>.
- [4] MATHWORKS. *MATLAB Documentation* [online]. 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <<http://www.mathworks.com/help/>><http://www.mathworks.com/help/>>.
- [5] ATMEL CORPORATION. *Datasheet: ATmega16(L) Complete*. San José, 2010. Dostupné z: <<http://www.atmel.com/images/doc2466.pdf>>.
- [6] PATOČKA, Miroslav a Pavel VOREL. *Řídící elektronika: aktivní obvody 2.díl*. Brno, 2004.
- [7] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD. *Datasheet: FT232R USB UART IC*. 2012. Dostupné z: <http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf>.
- [8] FLEURY, Peter. *AVR-GCC Libraries. LCD library* [online]. 2015. [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/doxygen/avr-gcc-libraries/group__pfleury__lcd.html>.
- [9] ZÁVODSKÝ, Ondrej. *Univerzálna asynchrónna/synchrónna sériová linka (USART)*. SVETELEKTRO.COM [online]. 2012. [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <<http://svetelektro.com/clanky/programujeme-avr-v-jazyku-c-8-cast-511.html>>.
- [10] THE IMAGING SOURCE EUROPE. *Industrial Cameras: CCD - 21, 31, 41 and 51 Series - Trigger and I/O: Technical Details* [online]. 2014. 13 s. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <<http://dl.theimagingsource.com/3251f215aa/>>.
- [11] *Camera*. *Wikipedia* [online]. 2015. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Camera>>.

- [12] VELICHOVÁ, Daniela. *Analytická geometria v rovine. Ústav matematiky a fyziky, Strojnícka fakulta Slovenská technická univerzita v Bratislave* [online]. 2015. [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <<http://www.evln.stuba.sk/~velichova/CVICENIA/Cvicenie1.xml>>.
- [13] PODMANICKÁ, Petra. *Vzdialenosť bodu od priamky, uhol dvoch priamok. O škole* [online]. 2010. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: <http://www.oskole.sk/?id_cat=2&clanok=10160>.
- [14] HORAK, Karel. *Multimediální interaktivní didaktický systém: Zpracování vícerozměrných signálů* [online]. 2010. [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: <http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/zvs_cz.php>.
- [15] E.R. Davies. *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. Chapter 10. 3rd Edition. Morgan Kauffman Publishers, 2005.

ZOZNAM PRÍLOH

A Priložené CD	59
A.1 Zdrojový kód programu pre testovanie poradia a vzájomných časových relácii získavania snímok	59
A.2 Zdrojové a hlavičkové súbory programu riadiaceho činnosť prípravku	59
A.3 Video záznamy pre testovanie	59
A.4 Plošné spoje prípravku	59
A.5 Funkcie pre komunikáciu s prípravkom	60
B Schéma regulátora otáčok	63

A PRILOŽENÉ CD

A.1 Zdrojový kód programu pre testovanie poradia a vzájomných časových relácii získavania snímkov

Priečinok obsahuje zdrojový kód softvéru pre testovanie poradia a vzájomných časových relácii pri získavaní snímkov z viacerých kamier. Softvér bol napísaný v programovom prostredí Matlab R2013b. Hlavný skript celého užívateľského rozhrania je *TimeDeterminationOffline.m* spolu s grafickými prvkami v *TimeDeterminationOffline.fig*. Skript volá funkcie, ktorých krátky popis sa nachádza v tabuľke tab. A.1.

A.2 Zdrojové a hlavičkové súbory programu riadiaceho činnosť prípravku

Program bol písaný v jazyku C a prekladaný pomocou AVR Studio ver. 4.19 build 730. Zdrojový a hlavičkový súbor *REG1_2* obsahuje hlavný program. Súbory *lcd* sú knihovňou pre prácu so znakovým LCD displejom a súbory *uart* sú knihovňou pre prácu so sériovou linkou.

A.3 Video záznamy pre testovanie

Nachádzajú sa tu video záznamy, z ktorých vychádzajú merania. Video záznamy sú rozdelené do priečinkov podľa toho z akej kamery boli natočené a pri akom type spúšťania snímania. Ich zoznam sa nachádza v tabuľke tab. A.2, kde v_n je rýchlosť otáčania vzoru a f_{s_n} je nastavená snímková frekvencie prípadne frekvencia spúšťacieho signálu pri externom spúšťaní snímania. Posledná položka *meranie* obsahuje čísla kapitol, kde sa nachádzajú merania, z ktorých vychádzajú. Záznamy *camera1_exttrig_center* a *camera2_exttrig_center* sú vedľajšie pomocné záznamy pre nájdenie vzoru v záznamoch *camera1_exttrig_40ot_20Hz* a *camera2_exttrig_40ot_20Hz*.

A.4 Plošné spoje prípravku

Priečinok obsahuje plošné spoje základnej dosky, zobrazovacej časti prípravku a budiča jednosmerného motora.

A.5 Funkcie pre komunikáciu s prípravkom

Funkcie slúžia na komunikáciu PC s prípravkom prostredníctvom sériovej linky, pričom boli napísané v programovom prostredí Matlab R2013b. Pomocou funkcie *SerialRead* je možné zistiť aktuálnu hodnotu rýchlosti otáčania v zoru. Funkciou *SerialRpm* sa nastavuje požadovaná rýchlosť otáčania v zoru.

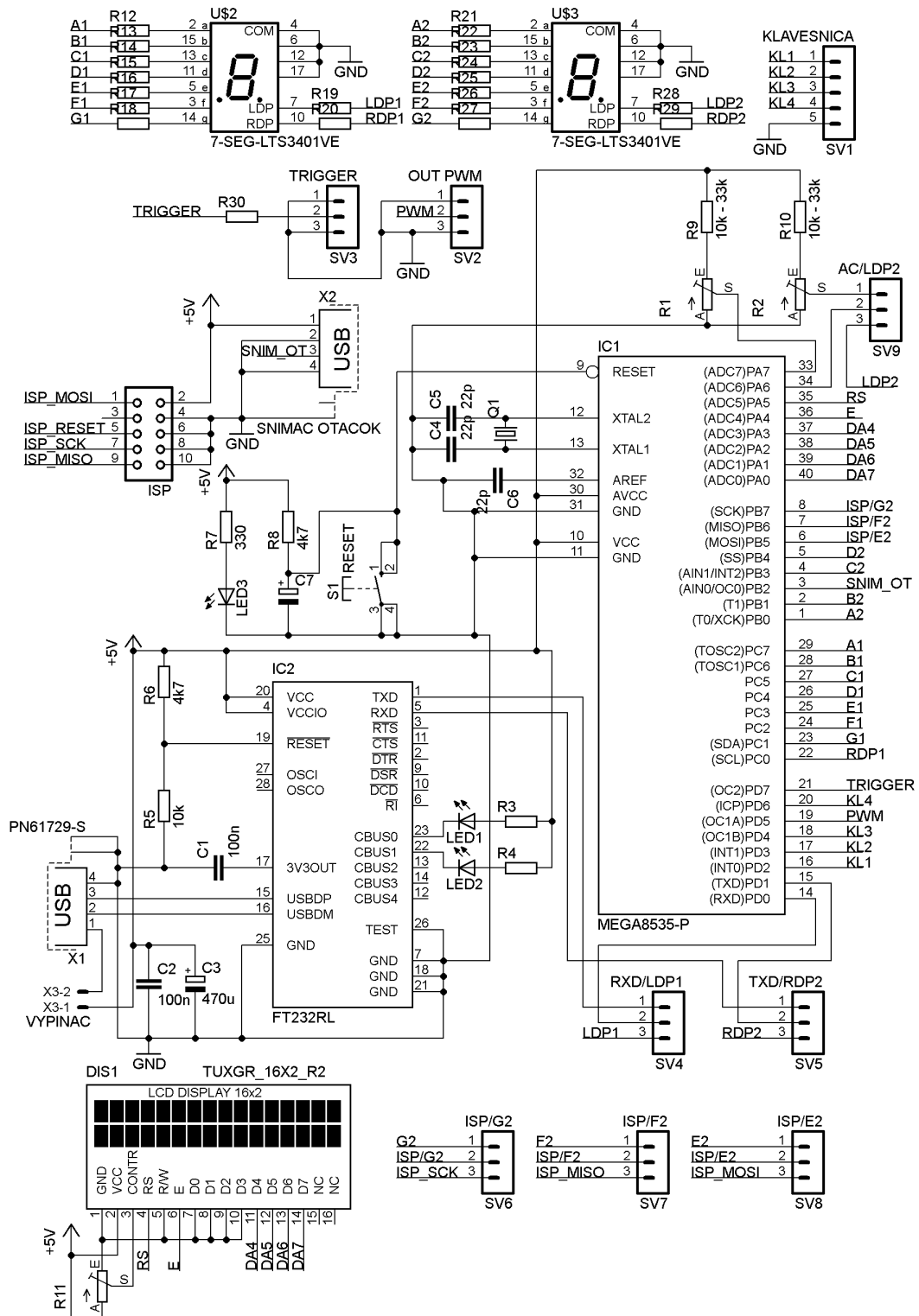
Tab. A.1: Funkcie používané pri testovaní poradia a vzájomných časových relácii získavania snímkov

Názov funkcie	Popis funkcie
CalibreTresholdLedsegments	určenie vhodného prahu pre prahovanie časti snímku, kde sú luminiscenčné displeje
CircleGeometricTransf	geometrická transformácia mapujúca kruhový výsek na pravouhlý
DispGraphFramerate	zobrazenie snímkovej frekvencie viacerých kamier do jedného grafu
DispGraphTiming	zobrazenie časového sledu okamžikov snímania snímok viacerými kamerami do jedného grafu
DistancePointStraight	výpočet vzdialenosti medzi bodom a priamkou
EdgeFirstderivate	detekcia hrán v obraze
ExtendX	rozšírenie obrazu v ose x
FindPattern	nájdenie vzoru a určenie jeho polomeru a súradníc stredu
FrameRate	výpočet snímkovej frekvencie
GetParamGeomTrans	určenie parametrov pre geometrickú transformáciu
HoughTransformStraight	klasická Houghová transformácia pre detekciu priamok
ImageHistogramCumulated	výpočet kumulatívneho histogramu
Intersection	výpočet priesečníka dvoch priamok
LedSegment2Region	stanovenie svietiacej kombinácie na luminiscenčných displejoch
PercentTreshold	výpočet skutočnej hodnoty prahu z percentného prahu
Preprocessing	úprava vstupných snímkov do požadovaného formátu
RotAngle	rotácia vypočítaného uhlu
RotatImg	rotácia snímkov
SpecifNumSeg	určenie počtu svietiacich segmentov na nájdenom regióne
TimeCamera	výpočet času snímania snímkov viacerých kamier

Tab. A.2: Video záznamy pre testovanie

Názov súboru	v_n [ot/s]	f_{s_n} [fps]	meranie
camera_usb_60fps_35ot_normal	35	60	4.3
camera_usb_60fps_35ot_zataz_c1	35	60	4.3
camera_usb_60fps_35ot_zataz_c2	35	60	4.3
camera1_exttrig_40ot_20Hz	40	20	4.2
camera1_exttrig_center	-	-	4.2
camera2_exttrig_40ot_20Hz	40	20	4.2
camera2_exttrig_center	-	-	4.2
camera1_inttrig_30fps_20ot	20	30	-
camera1_inttrig_30fps_30ot	30	30	4.1
camera1_inttrig_30fps_50ot	50	30	-
camera2_inttrig_30fps_20ot	20	30	-
camera2_inttrig_30fps_30ot	30	30	4.1
camera2_inttrig_30fps_50ot	50	30	-

B SCHÉMA REGULÁTORA OTÁČOK



Obr. B.1: Schéma regulátora otáčok