



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY**

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

**ROBOTICKÝ STONÍ FOTBAL – OPTIMALIZACE
SNÍMANÍ HRACÍ PLOCHY**

ROBOTIC TABLE FOOTBALL – OPTIMIZATION OF IMAGE PROCESSING OF THE
PLAYING AREA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Simona Sijková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. et Ing. Stanislav Lang, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Studentka: **Simona Sijková**
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: Mechatronika
Vedoucí práce: **Ing. et Ing. Stanislav Lang, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Robotický stolní fotbal – optimalizace snímání hrací plochy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude věnována problematice robotického stolního fotbalu, konkrétně optimalizaci snímání hrací plochy. Součástí práce bude stručná rešerše v oblasti zpracovávaného úkolu, následovat bude implementace na zařízení.

Práce je realizována ve spolupráci s firmou B+R Automatizace s r.o.

Cíle bakalářské práce:

- Seznamte se s aktuálním stavem řešení robotického stolního fotbalu.
- Seznamte se s řídicími prostředky společnosti B&R Automation.
- Proveďte stručnou rešerši v oblasti průmyslových kamer (pozornost věnujte zejména inteligentním kamerám od společnosti Cognex).
- Optimalizujte nastavení průmyslové kamery COGNEX IN-SIGHT 7000.
- Zhodnoťte dosažené výsledky. Diskutujte vliv nasvícení scény na kvalitu detekce polohy míčku.

Seznam doporučené literatury:

MAREČEK, P.: Robotický stolní fotbal. VUT FSI, Brno, 2016

JEDINÝ, L.: Robotický stolní fotbal. VUT FSI, Brno, 2016

PARÁK, R.: Robotický stolní fotbal - herní strategie. VUT FSI, Brno, 2017

OTRADOVSKÝ, R.: Robotický stolní fotbal - detekce polohy protihráče. VUT FSI, Brno, 2017

BUBENÍK, L.: Model robotického stolního fotbalu. VUT FEKT, Brno, 2017

MAŇAS, M.: Teorie her a její aplikace, SNTL, Praha, 1991

B&R Automation, <http://www.br-automation.com/cs/>, přístup 17. října 2017

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Predmetom tejto bakalárskej práce je optimalizácia snímania hracej plochy pomocou inteligentnej kamery Cognex na robotickom stolnom futbale spoločnosti B&R Automatizace. Prvá časť práce je venovaná rešerši v oblasti priemyslových kamier, typom kamier a kamerových systémov vyrábaných spoločnosťou Cognex. Približuje základné prvky fungovania systému a porovnáva ich výhody a obmedzenia pre rôzne aplikácie. V druhej, praktickej časti sú ukázané postupy, zmeny a riešenia vzniknutých problémov, ktoré viedli k finálnej optimalizácii v programe In-Sight Explorer. V závere bakalárskej práce sa diskutuje vplyv osvetlenia a vonkajšieho prostredia na detekciu loptičky.

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is to optimize image processing of the playing area of B&R's Automation robotic table soccer using intelligent vision system from Cognex. The introduction is devoted to a research of machine vision systems and vision systems made by Cognex company. It expounds on fundamentals necessary for system running and compares their pros and cons for different applications. Procedures, changes and solutions of problems which lead to final optimization in In-Sight explorer program are shown in the second practical part. In the end of the bachelor thesis, the influence of illumination and the external environment on the ball detection is discussed.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Robotický stolný futbal, inteligentná kamera, Cognex, B&R Automatizace, In-Sight Explorer, detegovanie, kontrolovanie, optimalizácia, snímanie.

KEYWORDS

Robotic table soccer, intelligent camera, Cognex, B&R Automation, In-Sight Explorer, detecting, inspecting, optimization, image processing.

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

SIJKOVÁ, Simona. *Robotický stolní fotbal – optimalizace snímání hrací plochy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. et Ing. Stanislav Lang, Ph.D.

POĎAKOVANIE

Moje poďakovanie patrí vedúcemu práce, Ing. et Ing. Stanislavovi Langovi, Ph.D. za jeho pedagogickú, odbornú pomoc a korektúry pri písaní práce samotnej. Ďalej firme B&R Automatizace s.r.o., konkrétne Pavlovi Vávrovi za vedenie praktickej časti a diskusie na postupe práce a Romanovi Mužíkovi za cenné rady a sprostredkovanie komunikácie s firmou Smartview. Ďakujem aj Ľubomírovi Bubeníkovi za pomoc s technickými problémami. V neposlednom rade chcem poďakovať Ondřejovi Slámovi a Ondřejovi Švandovi za spoluprácu na tomto projekte.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracovala som ju samostatne pod vedením Ing. et Ing. Stanislava Langa, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname literatúry.

V Brne dne 24. 5. 2018

.....

Simona Sijková

1	ÚVOD.....	15
2	MOTIVÁCIA	17
3	PRIEMYSELNÉ KAMERY.....	18
3.1	Výhody strojového videnia.....	18
3.2	Využitia strojového videnia.....	18
3.2.1	Riadenie	19
3.2.2	Identifikácia	19
3.2.3	Meranie	19
3.2.4	Kontrola	19
3.3	Komponenty strojového videnia.....	20
3.3.1	Osvetlenie	20
3.3.2	Objektívy	22
3.3.3	Senzor obrazu	22
3.3.4	Spracovanie obrazu.....	22
3.3.5	Komunikácia.....	22
3.4	Typy systémov strojového videnia	23
3.4.1	Líniové snímanie	23
3.4.2	Plošné snímanie	23
3.4.3	Priestorové snímanie.....	23
3.4.4	Porovnanie plošného a líniového skenovania.....	24
4	KAMERY COGNEX.....	25
4.1	2D kamerové systémy	25
4.1.1	Séria In-Sight 8000.....	25
4.1.2	Séria In-Sight 7000	25
4.1.3	Séria In-Sight 5705.....	26
4.1.4	Séria In-Sight VC200	26
4.2	Kamerové senzory	27
4.3	3D laserové profilery	27
4.4	Softvér	28
4.4.1	Softvér pre 2D kamerové systémy a kamerové senzory In-Sight Explorer	28
4.4.2	VisionPro	28
4.5	Pripojenie a štandardná komunikácia	28
4.6	Významné systémové technológie videnia.....	29
4.7	Významné systémové nástroje strojového videnia.....	29
5	VÝCHODISKOVÝ STAV RIEŠENIA.....	31
5.1	Súčasný stav riešenia snímania hracej plochy a scény.....	31
5.2	Analýza scény.....	32
6	ZMENA UMIESTNENIA KAMERY.....	33
6.1	Umiestnenie kamery nad hraciu plochu	33
7	PROGRAMY	35
7.1	Program s rozdelením na zóny	35
7.1.1	Použité nástroje.....	35
7.1.2	Optimalizácia.....	36
7.2	Program s kombinovanou oblasťou.....	37
7.2.1	Použité nástroje.....	37
7.2.2	Optimalizácia.....	37
7.3	Finálny program	38

7.3.1 Použité nástroje	38
7.3.2 Optimalizácia	39
7.3.3 Komunikácia v In-Sight Explorer	40
8 VPLYV NASVIETENIA SCÉNY NA DETEKCIU	41
8.1 Uhol osvetlenia.....	41
8.2 Farba osvetlenia	41
8.3 Polarizačný filter	41
8.4 Vonkajšie prostredie.....	42
8.5 Dĺžka expozície	42
9 ZÁVER.....	43
10 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	45
11 ZOZNAM SKRATIEK, OBRÁZKOV	47
12 ZOZNAM PRÍLOH	49

1 ÚVOD

Cieľom tejto bakalárskej práce je optimalizácia snímania hracej plochy robotického stolného futbalu, ktorej výsledkom je zjednodušiť, urýchliť a spresniť vyhľadávanie loptičky. To je dosiahnuté nielen zmenou vyhľadávacieho programu v kamere, ale aj mechanickou úpravou samotnej scény. Práve technika osvetlenia a nastavenia vyváženosti scény sú náležitostiami pre úspešné vyhľadávanie. Problematika snímania scény je iniciálnym krokom pre správne fungovanie celého mechatronického systému počnúc nosnou programovou štruktúrou, ovládaním pohonov až po stratégiu. S kvalitou a rýchlosťou vyhľadávania je úzko spojená presnosť úderov a efektívna defenzíva hráčov. Strategické algoritmy tak dokážu oveľa presnejšie vypočítať predvídanú dráhu pohybu loptičky a pohony sú schopné reagovať pohotovejšie na požadovanú akciu. Robotický futbal ako celok bol pre firmu B&R Automatizace zostavený v roku 2016 vtedajšími študentami Vysokého učení technického v Brne. Do tohto projektu následne v roku 2017 priniesli zmeny a inovácie ďalší traja študenti tejto vysokej školy a v súčasnom školskom roku je projekt rozdelený na štyri koncepty piatich bakalárskych prác, z ktorých dve sú zamerané na modifikáciu a optimalizáciu snímania scény a ďalšie sa zaoberajú stratégiou, ovládaním pohybu a takzvanou programovou kostrou. Snímanie scény je náplňou mojej bakalárskej práce s využitím inteligentnej kamery Cognex a takisto bakalárskej práce p. Alexandra Korotynskiyho s využitím kamery Raspberry PI. Systémovú integráciu spracovával p. Ondřej Švanda, stratégie p. Pavel Vaverka a riadenie herných ôs p. Onřej Sláma.

Úvod práce je rešeršného charakteru a zameriava sa na komplexnú oblasť strojového videnia, ktorého hlavnou súčasťou sú priemyslové kamery. V nasledujúcej kapitole sú popisované vybrané typy kamier, ktoré spoločnosť Cognex vyrába, ich najčastejšie aplikácie a výhody, používaný softvér a komunikácia. Ďalšie dve kapitoly prezentujú finálny stav riešenia od predchodcov a dôvod zmeny uloženia kamery. Po nich sú popisované programy vytvorené pred konečným riešením, prvky a nástroje v nich použité a takisto nápady zrealizované na ich vylepšenie. Posledná časť bakalárskej práce je upriamená na diskusiu ohľadom vplyvu nasvetenia scény na detekciu loptičky v hre.

2 MOTIVÁCIA

Už samotný názov témy, robotický stolný futbal, pojednáva o tom, že tento komplexný mechatronický systém spája mechaniku, elektrotechniku a program využívané najčastejšie v priemysle spolu s kultovou hrou, ktorá sa hrá aj na profesionálnej úrovni. Nevšednosť tohto projektu spočíva v tom, že snímanie kamery neslúži na uľahčovanie výrobných a kontrolných procesov ale ako bezpodmienečný vstup na správnu funkciu celého systému. Firma B&R Automatizace s.r.o. poskytla kvalitné prostriedky na dosiahnutie čo najlepších výsledkov a práve inteligentná kamera patrí k najnákladnejším súčastiam stolného futbalu. Prácu s takouto kamerou by bolo z vlastných prostriedkov náročné, ba až nemožné financovať. Mojou motiváciou k výberu tejto témy bola jedinečná možnosť pracovať s inteligentnou kamerou, navyše prakticky využívať priemyselnú automatizáciu na zábavné účely. Takisto je to forma skupinového projektu, kde každý člen síce pracoval na vlastnom zadaní, ale vzájomná komunikácia bola nevyhnutná. V neposlednom rade mám kladný vzťah k hre samotnej a preto som sa o futbal chcela zaujímať nielen z pozície hráča, ale aj po technickej stránke.

3 PRIEMYSELNÉ KAMERY

Priemyselné kamery (alebo viac komplexný pojem strojové videnie) zahŕňajú všetky priemyselné a nepriemyselné využitia zariadení, kde kombinácia hardvéru a softvéru umožňuje riadenie ich funkcií v prevádzke. [1] Tieto funkcie sú založené na zachytávaní a spracovaní obrázkov. Priemyselné počítačové videnie využíva veľa rovnakých či podobných algoritmov a prístupov vo všetkých sektoroch využitia počnúc vzdelávacím, vládny až po vojenský. Značným rozdielom u priemyslových kamier je, že vyžadujú väčšiu robustnosť, spoľahlivosť a stabilitu v porovnaní s kamerami určenými pre edukačný systém a zvyčajne stoja oveľa menej než systémy využívané vládou či armádou.

Vnútri priemyslových kamier sa nachádzajú digitálne senzory so špecializovanou optikou na získanie obrazu. Na ich základe môže počítačový hardvér a softvér spracovávať, analyzovať a merať rôzne charakteristiky zadané užívateľom pre rozhodovanie o správnosti výrobku. [1]

3.1 Výhody strojového videnia

Zatiaľ čo je videnie človeka najlepšie pre kvalitatívnu analýzu zložitej a neštruktúrovanej scény, strojové videnie vyniká v kvantitatívnom rozbere štruktúrovanej scény vďaka jeho rýchlosti, presnosti a opakovateľnosti. [2] Jednou z najväčších výhod je, že pri snímaní nie sú súčasťou mechanicky opotrebovávané, pretože fyzický kontakt medzi testovacím systémom a testovanými súčasťami nenastáva. Ďalšou veľkou výhodou je bezpečnosť, a to v zmysle automatizácie. Výrobná linka vďaka strojovému videniu predchádza novej kontaminácii pracovníka v nebezpečnom prostredí a pracuje so vzdialeným ovládaním. K výhodám taktiež patria nižšie náklady na produkciu, menej potrebného priestoru, zvýšená produktivita, flexibilita výroby a ďalšie v porovnaní s produkciou manuálne riadenou pracovníkmi.

3.2 Využitia strojového videnia

Prvým krokom v každom využití strojového videnia je nájsť objekt alebo oblasť záujmu v zornom poli kamery. Videnie je síce prispôbené na rozpoznávanie súčastí na základe vzorov ale každý výrobný proces má určitú variabilitu vo vzhlade jednotlivých súčastí. Na dosiahnutie presných, spoľahlivých a opakovateľných výsledkov musia mať systémové nástroje na vyhľadávanie dostatok inteligencie na rýchle a presné porovnanie trénovaných vzorov s aktuálnymi objektmi. [3] Pri využívaní strojového videnia rozlišujeme štyri hlavné kategórie, a to riadenie, identifikáciu, meranie a kontrolu, ktorým môžeme v anglickom jazyku priradiť akronym GIGI (guidance, identification, gauging, inspection). [3]

3.2.1 Riadenie

Riadenie sa môže vykonávať z niekoľkých dôvodov. Prvým dôvodom je, že systémy strojového videnia sú schopné nájsť pozíciu a orientáciu súčasti, porovnať ju so stanovenou toleranciou a overiť, že je zmontovaná správne podľa analýzy natočenia. [4]

Veľmi dôležitou funkciou riadenia je podávanie správy robotovi alebo riadiacej jednotke o orientácii a pozícii súčasti či už v dvojrozmernom alebo trojrozmernom priestore. Zle umiestnené alebo natočené súčasti sa tak korigujú oveľa rýchlejšie a presnejšie než manuálnym umiestňovaním, či usporadúvaním.

Riadenie býva často prepojené s inými systémovými nástrojmi kamerového systému. Snímky so skúmanými súčasťami natočenými v rôznych smeroch sú počas produkcie odosielané do kamery a priradením systémových nástrojov, ako napríklad caliper, blob, edge sa získa presná orientácia a poloha potrebná napríklad na uchopovanie a presúvanie. Tento prístup umožňuje výrobcovi vyrábať viac výrobkov na rovnakej výrobnéj linke a znižuje potrebu drahých prístrojov, ktoré udržiavajú stálu pozíciu súčasti počas kontrolovania. [4]

Niekedy je potrebné nájsť na súčasti geometrický útvar zhodujúci sa so zadaným vzorom. Nástroje na zhodu vzorov musia tolerovať veľkú rôznorodosť v kontraste a v osvetlení takisto ako v zmenách v mierke, v rotácii a mnohé ďalšie faktory počas procesu vyhľadávania. [4]

3.2.2 Identifikácia

Pod pojmom identifikácia rozumieme čítanie čiarových kódov, priamych označení súčiastok (DPM), dátových kódov v maticiach a znakov potlačených na súčiastiach, štítkoch a balíkoch. Systém optického rozpoznávania znakov (OCR) číta alfanumerické znaky bez predchádzajúcej znalosti, zatiaľ čo systém optického overovania znakov (OCV) potvrdzuje prítomnosť reťazca znakov. [4] Inteligentné kamerové systémy identifikujú súčasti aj podľa farby, tvaru, veľkosti alebo jedinečného vzoru.

3.2.3 Meranie

Systémový nástroj merania vypočítava vzdialenosti medzi dvomi alebo viacerými bodmi alebo geometrickými polohami na objekte a určuje, či tieto merania spĺňajú stanovené kritériá. [4] V prípade, že kritériá nie sú splnené, môže byť napríklad spustený mechanizmus na odobranie danej súčasti z výrobného pásu. Pre pevnú polohu kamery a pevnú vhodnú vzdialenosť od výrobkov dokáže systém merať rádovo v desiatkach mikrometrov.

3.2.4 Kontrola

V každom výrobnom procese sa vyskytuje určitá zmetkovitosť ako vady, nečistoty, funkčné chyby či iné nezrovnalosti, ktoré odhaľuje systém kontroly. Kontrolnému procesu podliehajú najčastejšie potravinárske a farmaceutické výrobky, kde je nutné

zaistiť zhodu medzi produktom a balením. Overované sú najčastejšie bezpečnostné pečate, uzávery, krúžky na uzáveroch fliaš atď.

3.3 Komponenty strojového videnia

Hlavnými časťami systému strojového videnia sú osvetlenie, objektív, obrazový senzor, spracovanie obrazu a komunikácia. Osvetlenie osvetľuje súčasť, ktorá má byť kontrolovaná a to tak, že ideálne spôsobí vyčnievanie rysov a črt súčasti. Objektív zachytí obraz a predáva ho snímaču vo forme svetla. Snímač premieňa toto svetlo na digitálny obraz, ktorý je potom odoslaný do procesora na analýzu.

Väčšina hardvérových komponentov strojového videnia, ako sú osvetľovacie moduly, snímače a procesory, sú komerčne dostupné samostatne. Systémy strojového videnia môžu byť zostavené z jednotlivých komponentov alebo zakúpené ako jediný integrovaný systém so všetkými komponentmi zabudovanými v zariadení.



Obr. 1: Blokový diagram pre typickú prevádzku vizuálneho systému

3.3.1 Osvetlenie

Najzložitejšou časťou navrhnutia optického systému pre strojové videnie je práve osvetlenie, ktoré si vyžaduje experimentovanie. Objekt pozorovania môže teoreticky odrážať svetlo zrkadlovo od lesklých predmetov alebo difúzne, teda rozptýlene, od matných predmetov, no v praxi je situácia najčastejšie medzi týmito dvomi stavmi. Zrkadlové odrazy sú síce silné (na úrovni osvetlenia), no nestabilné, pretože aj malá zmena v uhle medzi žiaričom a objektom môže spôsobiť úplné zmiznutie odrazu. Difúzne odrazy sú síce slabšie ale stabilné. Pojem technika osvetlenia zahŕňa svetelný zdroj a jeho umiestnenie vzhľadom na skúmané súčasti a kameru. Osobitá technika osvetlenia môže vylepšiť obraz tak, že niektoré črty potlačí a niektoré dáva do popredia.

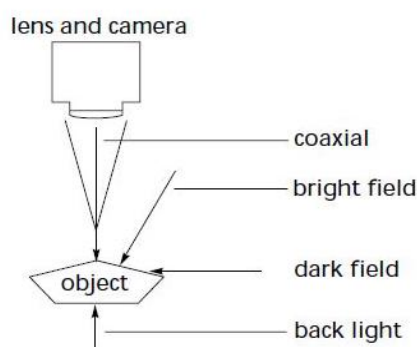
Rozoznávame difúzne svetelné zdroje, napríklad žiarivky a bodové zdroje ako žiarovky, zväzky optických vlákien a LED.

Podľa umiestnenia osvetlenia rozoznávame tri základné typy, a to osvetlenie vo svetlom poli, v tmavom poli a prípad, kedy je objekt priamo medzi kamerou a osvetlením.

Pri osvetlení vo svetlom poli prichádzajú lúče na plochu objektu takmer kolmo, a tak sa javí ako svetlý. Príkladom z bežného života je osvetlenie v miestnosti. Špeciálny prípad je, keď je zdroj svetla koaxiálny lúč čo najviac totožný so spojnicou objektívu a objektu. Táto technika sa využíva na hľadanie črt na plochých, zrkadlových povrchoch, na zobrazovanie v tmavých častiach objektov alebo na eliminovanie tieňov.

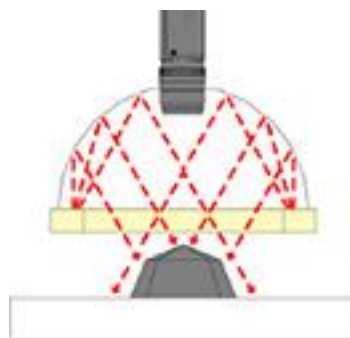
Osvetlenie v tmavom poli spočíva v tom, že lúče sú takmer paralelne k povrchu, čím sa textúra a iné výbežky na povrchu javia svetlé a zvyšok objektu sa javí tmavý. Najčastejšie sa využíva pri hľadaní povrchových väd ako sú škrabance, nečistoty atď.

Osvetlením zo zadnej časti môžeme zobraziť priehľadné objekty alebo siluety nepriehľadných objektov. Na priehľadných sklenených tabľách sa takto zisťujú buď spomínané povrchové chyby alebo vnútorné chyby ako bubliny či inklúzie. Výhodou spracovania obrazu so siluetami je dvojrozmernosť a binárnosť, čo sa farby týka.



Obr. 2: Spôsoby umiestnenia svetla [4]

Náročnejšie aplikácie si môžu vyžadovať iný typ osvetlenia, napríklad svetlo odrážané od kupoly alebo stroboskopické svetlo. Najjednoduchšiu a teda najviac homogénnu scénu na osvetlenie objektov a zároveň maskovanie nezrovnalostí, ktoré by mohli pôsobiť rušivo poskytuje svetlo odrážané od kupoly. [4]



Obr. 3: Difundované svetlo z kupoly [5]

Stroboskopické osvetlenie je používané v prípadoch, kde sa vyžaduje vysoká rýchlosť na „zamrazenie“ pohybujúcich sa objektov pri prevádzke. [4] Táto metóda využíva vysokú intenzitu osvetlenia v krátkych intervaloch, čo pomáha zabrániť rozmazaným snímkam. Jeho nevýhodou je nutnosť presného načasovania svetelného zdroja a snímacej aparatury a taktiež väčšinou vyžaduje ochranu očí pre pracovníkov v blízkosti takéhoto osvetľovania.

3.3.2 Objektívy

Objektív zachytí obraz a odosiela ho do obrazového snímača v kamere. Kvalita a rozlíšenie získaného obrazu závisia na optickej kvalite objektívu. Kamerové systémy sú vyrábané buď s vymeniteľným objektívom (s C závitom či s CS závitom) alebo pevným objektívom, ktorý má zvyčajne funkciu automatického zaostrovania. Tá sa môže vykonávať buď mechanicky - točením šošovky alebo automaticky - tekutou šošovkou schopnou zaostrovať. Nevýhodou pevných objektívov s automatickým zaostrovaním je fixné zorné pole pre danú vzdialenosť.

3.3.3 Senzor obrazu

Obrazové snímače používajú väčšinou CCD alebo CMOS technológiu na premenu svetla (fotónov) na elektrické signály (elektróny). [4] Senzor obrazu zachytáva svetlo a prevádza ho na digitálny obraz tak, aby vyvážil šum, citlivosť a dynamický rozsah. Slabé svetlo vytvára na obraze tmavé pixely a so zosilňujúcou sa intenzitou svetla rastie aj hodnota svetlých pixelov. Pri výbere kamery je preto dôležité zhodnotiť ako veľmi kvalitné rozlíšenie potrebujeme pre danú aplikáciu, pretože s väčším rozlíšením pribúda viac pixelov, zlepšuje sa presnosť merania, no takisto sa predlžuje čas potrebný na jeden cyklus. Najčastejšie sa rozhoduje podľa veľkosti skúmaných súčastí a podľa dovolených tolerancií pri kontrole.

3.3.4 Spracovanie obrazu

Vizuálne spracovanie získava z digitálneho obrazu pomocou algoritmov požadované informácie, ktoré predáva na ďalšie kontroly a rozhoduje o správnosti výsledku. Metódy na spracovanie zahŕňajú okrem iného spájanie obrazu (ak je scéna snímaná viacerými kamerami), aplikovanie filtrov, histogram pixelov, delenie obrazu na oblasti, hľadanie určeného okraja objektu, analýzu farieb, hľadanie farebných zhlukov, rozpoznávanie vzoru, čítanie kódov atď. Najčastejším výstupom spracovania obrazu býva pass/fail výsledok požadovaných parametrov.

3.3.5 Komunikácia

Komunikácia zvyčajne prebieha buď diskretným vstupom/výstupom pripojeným napríklad k PLC alebo ku elektromagnetu. Elektromagnet môže byť využitý ako spúšťač mechanizmu na vyradenie chybných súčastí.

Ďalšou možnosťou je sériové pripojenie využívané na prenos viac komplexných výsledkov, napríklad priestorového merania alebo čítania reťazcov postupne bit po bite.

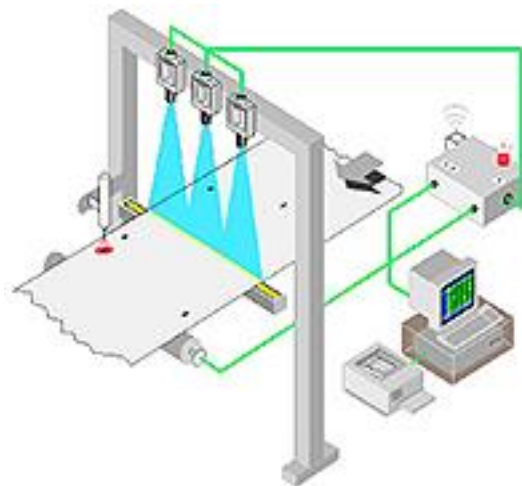
Pri tomto druhu komunikácie rozlišujeme prenos iba jedným smerom a prenos oboma smermi. Najviac využívané sériové pripojenia v strojovom videní sú RS 232, RS 485 a USB. [6]

Na komunikáciu s PLC sa často používajú protokoly Ethernet/IP, Modbus, DeviceNet, ProfiNET, FINS. Ethernetový štandard definuje komunikáciu na fyzickej a dátovej vrstve, najrýchlejší je GigE s rýchlosťou 1000 MB/s. [6]

3.4 Typy systémov strojového videnia

3.4.1 Líniové snímanie

1D systémy snímajú jednu líniu, zatiaľ čo sa produkty vyrobené v spojitých kusoch (papier, plast, kov v baloch) alebo plechy či tably, posúvajú po dopravnom páse. Technika využíva porovnávanie skupiny napríklad desiatich línií za sebou s predošlou skupinou desiatich.



Obr. 4: Ilustrácia líniového systému [7]

3.4.2 Plošné snímanie

Najväčšiu časť systémov strojového videnia tvoria kamery, ktoré priamo zachytávajú 2D snímky v rôznych rozlíšeníach. Okrem toho existujú systémy, určené na vytváranie dvojdimenzionálneho obrazu spojením líniových snímok.

3.4.3 Priestorové snímanie

Existujú aplikácie, v ktorých nestačia obyčajné 2D systémy a práve tu sa uplatňujú 3D systémy. Rozhodujúcim limitným faktorom pre trojrozmerné snímanie je práve hĺbka, teda tretí rozmer. U kamerových systémov sa pohybuje od 50 mm do 100 m. Dôsledkom zvyšovania hĺbky sledovaného poľa je nutnosť zvýšenia clony, čo má za následok menej zachyteného svetla a teda nižšiu kvalitu obrazu. Základné typy 3D systémov sú laserové, fotogrametrické, stereo, systémy so štruktúrovaným svetlom a „time-of-flight“ systémy.

Laserové vymeriavanie je najbežnejší typ snímania. Laser sa premieta na povrch súčasti. Deformáciou lasera sa meria hĺbka, čo je výhodné pre polia s veľkou hĺbkou. [8] So správne kalibrovaným laserom, môžu senzory odmerať parametre ako výška povrchu a rovinnosť s presnosťou na 20 mikrometrov. Fotogrametria je systém, ktorý vytvára 3D obraz z veľkého množstva 2D obrazov. Stereo systém videnia neposkytuje výsledky presné pre potreby merania, pretože ide o dva senzory aplikované v rôznych uhloch, čím sa vytvára obraz s hĺbkou. Typické využitie je pri počítaní ľudí. „Time-of-flight“ systémy merajú čas, za ktorý prejde svetlo zo žiariča na daný objekt a využívajú sa na snímanie plochy. [8]

3.4.4 Porovnanie plošného a líniového skenovania

V niektorých špecifických prípadoch môže byť líniové skenovanie výhodnejšie než plošné, a to najmä pri snímaní valcovitých či cylindrických súčastí, ktorých pokrytie by vyžadovalo niekoľko 2D kamier. Rotáciou súčasti pred kamerou s líniovým skenovaním sa zachytáva celý povrch takzvaným odrolovaním obrazu. [9] 1D kamery sú oveľa menej priestorovo náročné. Sú vhodné v prípadoch, kedy musí kamera napríklad sledovať spodný dielec súčasti cez valčeky dopravného pásu. Líniové skenovanie zaručuje vyššie rozlíšenie než plošné, no nutnosťou správnej prevádzky je plynulý pohyb súčastí.

4 KAMERY COGNEX

Firma Cognex sa venuje zariadeniam zameraným na strojové videnie a čítanie čiarových kódov. Vyrobené systémy sa využívajú najmä v priemyselných odvetviach, a to vo výrobe automobilov, mobilných zariadení, medicínskych nástrojov, farmaceutík, polovodičov, potravín, elektroniky a spotrebného tovaru.

Jedným zo spektra výrobkov sú 2D kamery, ktoré umožňujú pri hľadaní objektu rozpoznať jeho prítomnosť alebo neprítomnosť, preveriť nájdený objekt, podriaďiť ho istým vyhľadávacím kritériám a porovnať s vopred určeným vzorom. Ďalej môžu rozpoznávať a verifikovať písmená a čísla a taktiež čiarové kódy.

Okrem spomínaných 2D systémov videnia sa firma špecializuje aj na kamerové senzory, ktorých prioritnou úlohou je zisťovať prítomnosť alebo neprítomnosť objektov, čomu napomáha silné integrované osvetlenie a systémové nástroje.

Poslednou špecifikáciou tejto firmy je séria 3D laserových profilero, ktoré podporujú rovnaké funkcie ako 2D kamery, avšak rozšírené o jednu dimenziu. Zaostávajú iba v tom, že nie sú schopné rozpoznávať čiarové kódy.

4.1 2D kamerové systémy

4.1.1 Séria In-Sight 8000

Táto séria samostatných vizuálnych systémov poskytuje výkon na úrovni počítačových rýchlostí a je vhodná pre výrobné linky, ktoré sú obmedzené úzkym priestorom, ťažko dostupnými strojmi alebo komplikovaným umiestnením na robotovi. [10] Najrýchlejšia kamera z rady je IS 8200. Pri svojom maximálnom rozlíšení 640x480 pixelov dokáže čiernobiela kamera zaznamenať maximálne 217 snímok za sekundu.



Obr. 5: Séria In-Sight 8000 [10]

4.1.2 Séria In-Sight 7000

Kamery z rady 7000 sú v porovnaní s radou 8000 síce rozmerovo väčšie, ale poskytujú takisto rýchlu a presnú kontrolu objektov. Hlavným rozdielom je široké spektrum vymeniteľnej optickej aparatúry, čo umožňuje užívateľom flexibilitu prispôsobenia

systému na konkrétnu aplikáciu. [11] Aparatúra zahŕňa vymeniteľné objektívy, osvetlenia, filtre a kryty. Systémy tejto rady disponujú aj slotom pre SD kartu a LED indikátorom úspešného vyhľadávania. Najrýchlejšie sú monochromatické kamery IS 7600 a 7800 s rovnakými parametrami ako uvedená kamera IS 8200.



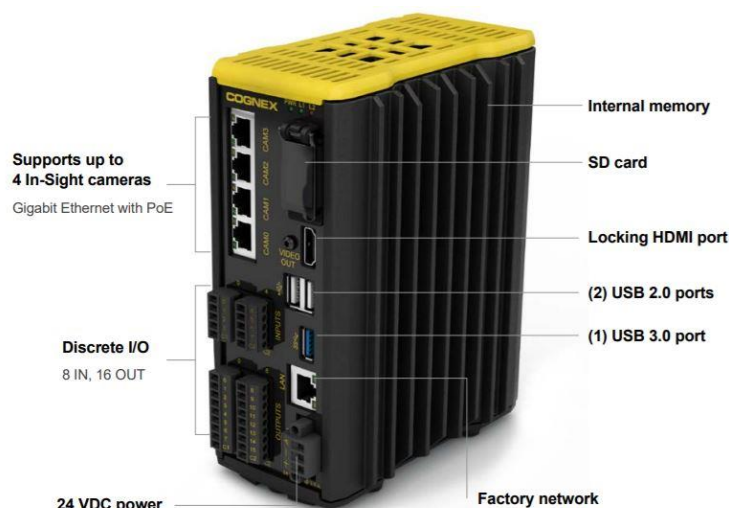
Obr. 6: Sériá 7000 a vymeniteľná sada [11]

4.1.3 Sériá In-Sight 5705

Oproti ostatným sériám má najširší okruh aplikácií pre samostatný vizuálny systém. Kamery z tejto série umožňujú iba farebné vyhľadávanie so špeciálnymi funkciami na filtrovanie pravej farby objektu, a extrakciu farieb zo scény. Najrýchlejšia samostatne fungujúca 5 megapixelová kamera schopná spoľahlivého farebného vyšetřovania obsahuje optimalizované systémové nástroje videnia ako PatMax RedLine™ na vysoko rýchlostné rozpoznávanie vzorov s GigE komunikáciou. [12] Kamery s uvedenými funkciami pracujú s rozlíšením 2448 x 2048 pixelov s rýchlosťou 16 alebo 14 snímkov za sekundu, zatiaľ čo kamera IS 5600 neponúka uvedené funkcie a pracuje s rozlíšením 640 x 480 pixelov a rýchlosťou 60 fps.

4.1.4 Sériá In-Sight VC200

Možnosť zapojenia až štyroch In-Sight inteligentných kamier do ovládača pre kontrolu objektov z viacerých pohľadov umožňuje séria IS VC200. Pre využitia vyžadujúce vysoký výkon je veľkou výhodou možnosť použiť takto distribuované vypočítavanie. Silné procesory pracujú v programovom prostredí In-Sight bez akéhokoľvek redukovania rýchlosti nezávisiac na počte pripojených kamier. Táto séria ponúka HMI technológiu nezávislú na platforme, ktorá umožňuje monitorovanie a ovládanie z akéhokoľvek zariadenia podporujúceho webový prehliadač bez špeciálneho hardvéru alebo dodatočnej inštalácie softvéru. [13] Verzie IS VC200 disponujú 8GB flash pamäťou a neobmedzeným úložiskom cez vzdialené zariadenie na sieti pre beh programu a úloh, ďalej 2GB SD pamäťou pre spracovávanie obrazu a v neposlednom rade ôsmimi vstupnými, šesťnástimi výstupnými a tromi USB portmi.



Obr. 7: In-Sight VC200 s popisom jednotlivých častí [13]

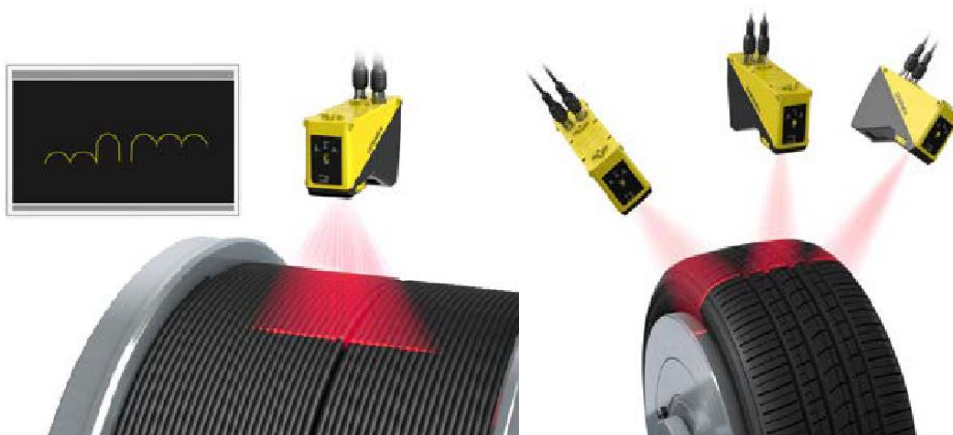
4.2 Kamerové senzory

Séria In-Sight 2000 kombinuje vlastnosti In-Sight kamerového systému a bežného kamerového senzoru. [14] Senzory sú ideálne v aplikáciách súvisiacich s kontrolou chýb objektov. Zároveň môžu automaticky zaostrovať a k tomu sa môžu vymieňať objektívy, rovnako ako aj prídavné osvetlenie k základnému LED bielemu difúznemu svetlu. Vyrábajú sa ako monochromatické tak aj farebné senzory, ktoré zahŕňajú verifikáciu farby. Rýchlosti sú pri čiernobielych 40 alebo 75 fps a pri farebných senzoroch 55 fps. Modely 2000 vážia 200 gramov a 2000 Mini iba 142 gramov.

4.3 3D laserové profily

In-Sight laserový profiler je systém na meranie a kontrolu rozmerov súčastí. Technológia poskytuje presné meranie výšok, medzier, uhlov, polomerov, pozícií, plôch a drsností. Mobilná vizualizácia nezávislá na platforme poskytuje prístup do HMI odkiaľkoľvek zo siete. [15]

3D kamerový systém vytvára topografickú reprezentáciu 3D súčastí vzhľadom na akýkoľvek typ povrchu. [15] Aj napriek snímaniu v pohybe sú výsledky presné, rádovo v mikrometroch. V prevádzke sa môžu vyskytovať chyby montážne alebo nečakané pohyby. S týmito chybami sa systémy vysporiadávajú vďaka bohatému množstvu techník kalibrácie od firmy Cognex. Na vytvorenie jedného 3D obrazu s vysokým rozlíšením môže byť použitá kombinácia viacerých zariadení (3D senzorov a 2D kamier). [15]



Obr. 8: Príklad využitia laserových profilero. Kontrola vinutia optických káblov a meranie profilu pneumatiky. [15]

4.4 Softvér

4.4.1 Softvér pre 2D kamerové systémy a kamerové senzory In-Sight Explorer

Všetky In-Sight produkty sú konfigurované pomocou tohto softvéru, v ktorom je možné pracovať v prostredí EasyBuilder View alebo Spreadsheet View. Program vytvorený v EasyBuilder je možné otvoriť a upravovať v prostredí Spreadsheet. Program vytvorený len v Spreadsheet nie je možné otvoriť (a ani upravovať) v prostredí EasyBuilder. [16] Konfiguračné prostredie EasyBuilder sprevádza užívateľa nastavením kamery v postupnom procese od nastavenia scény, cez nájdenie objektu, jeho vyšetrenie až po nastavenie vstupov, výstupov a komunikácie. In-Sight Spreadsheet View poskytuje maximálnu kontrolu cez priamy prístup do vizuálnych nástrojov a komunikačných možností pre náročnejšie aplikácie. Prostredie zaisťuje nielen flexibilitu programovania na splnenie jednoduchých požiadaviek ale aj schopnosť vyriešiť širšie spektrum použití.

4.4.2 VisionPro

VisionPro je softvér najmä pre 3D aplikácie ale takisto pre náročnejšie aplikácie vyžadujúce spojenie 2D a 3D videnia. Program disponuje veľkou knižnicou systémových nástrojov s funkciami pre nájdenie polohy a pre inšpekciu geometrických objektov až po ich identifikáciu a meranie. Príkladom nástrojov sú PatMax, LineMaxTM, OCRMaxTM, IDMaxTM. [17] VisionPro má programovateľné rozhranie typu .NET ktoré umožňuje preprogramovanie všetkých nástrojov objektovo orientovanými jazykmi. [18] VisionPro podporuje širokú oblasť nielen priemyselných Cognex kamier, ale aj kamier tretej strany.

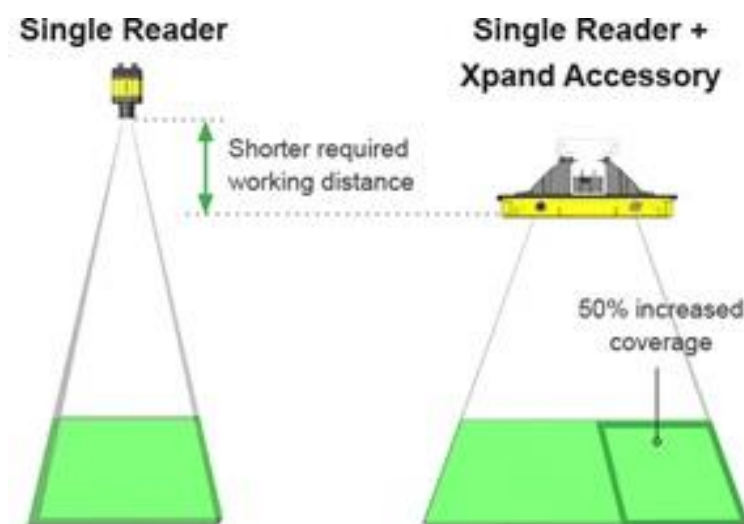
4.5 Pripojenie a štandardná komunikácia

Vo všetkých využitíach kamerových systémov je pripojenie na sieť v prevádzke nevyhnutné na zdieľanie dát, na rozhodovanie o výsledkoch zo snímania a na umožňovanie integrovaných procesov v systémoch. Súprava Cognex ConnectTM

podporuje priemyselné komunikačné protokoly vrátane vysokorýchlostného Ethernetu pre ľahkú integráciu do siete. Podporované protokoly sú: Ethernet/IP, FTP, PROFINET, OPC, Modbus/TCP, TCP/IP, SLMP a RS-232. [19]

4.6 Významné systémové technológie videnia

Xpand™ technológia zvyšuje zorné pole čítačky čiarových kódov DataMan® až o 50 %, zatiaľ čo uchováva rýchlosť čítania. [20]



Obr. 9: Porovnanie zorného poľa bez použitia a s použitím Xpand [20]

Technológia s tekutou šošovkou využíva dve tekutiny s rôznou hustotou. Olej je v tomto prípade izolant a voda funguje ako vodič. Zmena napätia vedie k zmene krivosti tohoto rozhrania a tým k zmene optickej vzdialenosti namontovanej optickej šošovky. [20]

OCRMax™ technológia dosahuje skóre správneho vyhľadania znaku vyššie než 95 %. Algoritmus predchádza chybám v čítaní, dobre zvláda zmeny v procese a poskytuje jednoduchú správu fontov písma. [20]

4.7 Významné systémové nástroje strojového videnia

Blob nástroje sú určené pre súčasti, na ktorých chceme nájsť nejakú črtu, ktorú tvoria podobné odtiene šedej škály. Funkcia je veľmi užitočná na vyčíslenie veľkostí defektov alebo lokalizovanie častí, ktoré nemajú opakovateľný tvar. [19] Nástroj je schopný vyčísliť množstvo stanoveného odtieňa farby ako z čiernobieleho, tak aj z farebného snímku.

Edge a InspectEdge nástroje odhaľujú tmavé a svetlé prechody na súčasti. Výsledky sa môžu používať na meranie vzdialeností alebo na bližšie prešetrovanie

podľa počtu nájdených okrajov. [19] Ďalšie využitie tohto nástroja môže byť vyhľadávanie a meranie kruhov a oblúkov.

Histogram je používaný na kontrolu alebo sledovanie vlastností častí založených na jase. [19]

Image Filtering sa používa na vyzdvihnutie alebo potlačenie vlastností súčastí predtým, než sa vykoná ďalšie spracovanie pomocou ostatných systémových nástrojov videnia. [19]

5 VÝCHODISKOVÝ STAV RIEŠENIA

Táto kapitola poukazuje na finálne riešenie časti bakalárskej práce p. Ľubomíra Bubeníka, na ktorú nadväzuje aj moja práca. Po sprevádzkovaní komunikácie s kamerou bol program predchodcu použitý ako bazálny program na analýzu scény.



Obr. 10: Východiskový stav stolného futbalu z pohľadu hráčov [21]

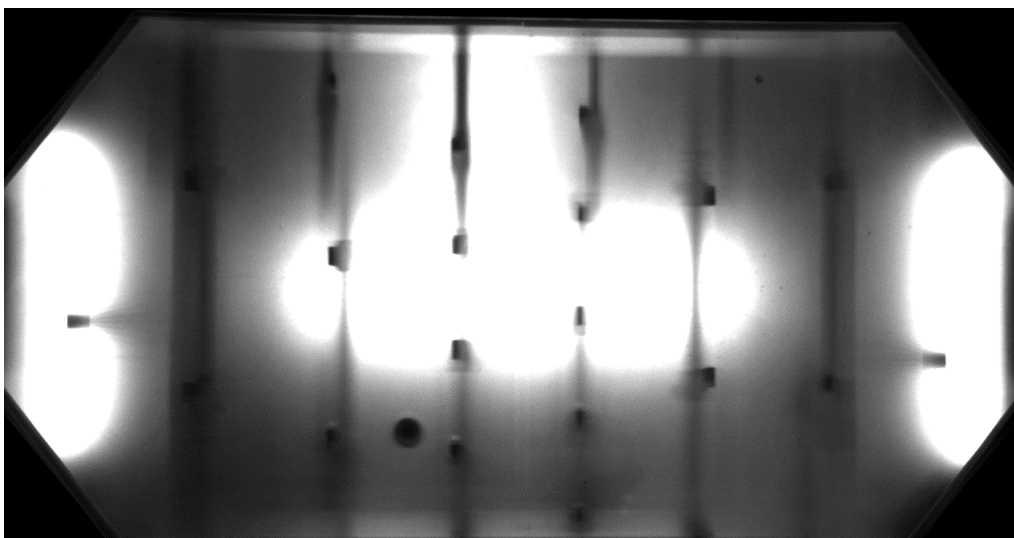
5.1 Súčasné riešenie snímania hracej plochy a scény

Scéna robotického stolného futbalu B&R je tvorená vlastnou dvojvrstvou hracou plochou, ktorá nahradila pôvodnú továrenskú. Učinilo sa tak kvôli voľbe snímania obrazu spod hracej plochy. Kamera Cognex IS 7402 je v tomto projekte používaná už od prvého uvedenia do prevádzky.



Obr. 11: Kamera In Sight 7402 [22]

Jej program bol vytvorený v prostredí In-Sight Explorer a to tak, že prvotný program bol vytvorený v prostredí EasyBuilder a modifikácia jeho funkcií bola uskutočnená v prostredí SpreadSheet. Program bol upravený čisto formou zjednodušovania, teda vymazávaním nepotrebných funkcií generovaných automaticky. Umiestnením osvetlenia nad hracou plochou a nad bránami v spojení so sledovaním kamery zdola sa síce docielilo to, že osi s hráčmi nezakrývali loptičku, no na druhej strane bola snímaná plocha preexponovaná a navyše nerovnomerne práve v miestach osvetlenia, čo je možné vidieť na obrázku. Vyváženie takejto expozície bolo softvérovo takmer nemožné. Práve tento dôvod spolu s dobou vyhľadávania loptičky speli k rozdeleniu scény na 20 vyhľadávacích zón. Pre každú z nich bola doba vyhľadávania rôzna a priemerne sa pohybovala okolo 33 ms pre jednu zónu, zatiaľ čo vyhľadávanie na celej ploche trvalo priemerne 81 ms. [21]



Obr. 12: Pôvodná kompozícia scény

5.2 Analýza scény

Prvým krokom k optimalizácii bol rozbor scény a jej ďalšie možnosti úprav. Z obrázka 10 je vidieť, že hracia plocha má nerovnomerné osvetlenie. Miesta pred bránkami a v strede stola sú preexponované kvôli umiestnenému LED osvetleniu. Na takejto bielej ploche sa čierny tieň loptičky síce vyhladá ľahko, no nastavené parametre pre tieto oblasti už nevyhovujú zvyšným častiam plochy. Riešenie tohto problému bolo urobené rozdelením na zóny s prispôbenými parametrami. Oblasti po bokoch stola a napríklad okolo osi obrancov vľavo sú natoľko tmavé, že vyhľadávanie loptičky je náročné kvôli malému kontrastu, čo speje k skresleniu alebo absencii výsledkov.

6 ZMENA UMIESTNENIA KAMERY

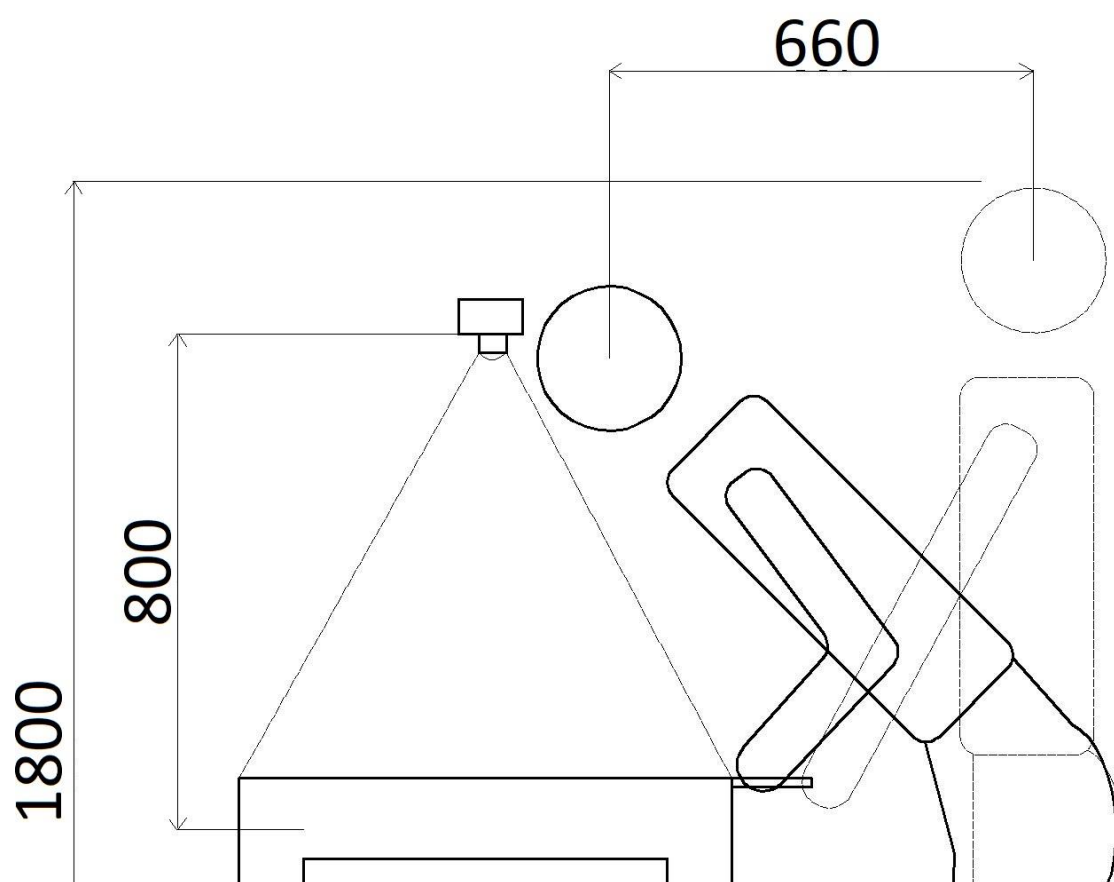
6.1 Umiestnenie kamery nad hraciu plochu

Po neúspešnom experimente optimalizácie pôvodného riešenia sa dospelo k záveru vyskúšať snímanie hracej plochy zhora. To viedlo hlavne k možnosti zmeny scény a tým aj ku vytvoreniu viac homogénne osvetleného snímku. Pôvodná dvojvrstvová priehľadná plocha bola prekrytá čiernou matnou fóliou. Týmto sa vytvorila tmavá scéna, ktorej jedinými nehomogénnymi oblasťami sa stali odlesky kovových tyčí obmedzené iba na stred stola. Pozitívom sa stal fakt, že v snímaní zdola nebolo možné vidieť loptičku v rohoch stola, ktoré sú naklonené a tým pádom boli hráči v obrane schopní reagovať až po prejdení loptičky naspäť na priehľadnú časť, kedy loptička nabrala vyššiu rýchlosť. S umiestnením nahor sa naskytuje prehľad aj o rohoch. Svetlá v bránach síce vedeli nasvetliť loptičku tak, aby bolo jasnejšie vidno jej kontúry, no ich tesná blízkosť k hracej ploche aj napriek tmavej fólii spôsobovala vyšší odraz svetla od plochy než bol žiadaný.

Na moju požiadavku firma B&R dala zhotoviť držiak, ktorý by sa dal pripevniť na už existujúcu nosnú konštrukciu pre osvetlenie. Vzhľadom na uhol snímania pridaného objektívu KOWA LM3C1M, priemernú výšku človeka a reálnu možnosť nakláňania sa ľudského protivníka počas hry som stanovila vzdialenosť kamery na 80 cm. Držiak pre kameru je ale nastaviteľný v rozsahu 68 až 85 cm vzhľadom na hraciu plochu.

V časti bakalárskej práce p. Ľubomíra Bubeníka venovanej umiestneniu kamery bolo kritizované najmä zasiahnutie cudzieho objektu napríklad pri naklonení hráča, do scény, čím by sa znemožnilo vyhľadávanie. Medzi ďalšie spomínané nevýhody patrilo kmitanie ramena s kamerou a ako najzávažnejší problém bola uvádzaná situácia, kedy by loptička nemohla byť nájdená kvôli tomu, že by ju zakrývali buď hráči alebo samotné osi. [21]

Po montáži kamery a prebehnutom testovaní hry sa nezistili žiadne badateľné a nežiaduce pohyby kamery, ktoré by skresľovali skutočné dáta. Čo sa týka naklonenia hráča, zorné pole kamery je po šírke stola v umiestnenej výške vymedzené presne na hraciu plochu, čo znamená že na znehodnotenie scény zakrývaním by sa musel hráč s priemernou výškou 180 cm nakloniť hlavou viac než 66 cm vo vodorovnom smere a to je pre neprofesionálneho hráča málo pravdepodobná situácia. Jedinou, avšak riešiteľnou komplikáciou zo spomínaných sa naozaj stala iba situácia, kedy bola loptička práve pod hernou osou alebo hráčom. Po fyzickom zrealizovaní sa navyše odhalil problém s odleskami tyče v strednej časti hernej plochy.



Obr. 13: Zobrazenie hraničnej situácie naklonenia hráča (kóty v mm)

7 PROGRAMY

7.1 Program s rozdelením na zóny

Pohľad na samotnú scénu bol prvým podnetom na to, že by rozloženie zón malo byť zmenené. Zmena sa vykonala na základe toho, že oblasti pod tyčami sú konštantne neviditeľné a tým pádom nemusia byť súčasťou vyhľadávacieho algoritmu. Vzniknutá scéna sa vertikálne nemenila ako v prípade osvetlenia zdola, a preto bola hracia plocha rozdelená na 7 obdĺžnikových zón (respektíve mnohoúhelníkových zón kvôli skresleniu pri brankároch), z ktorých každá obsahovala rovnaké parametre vyhľadávania.

7.1.1 Použité nástroje

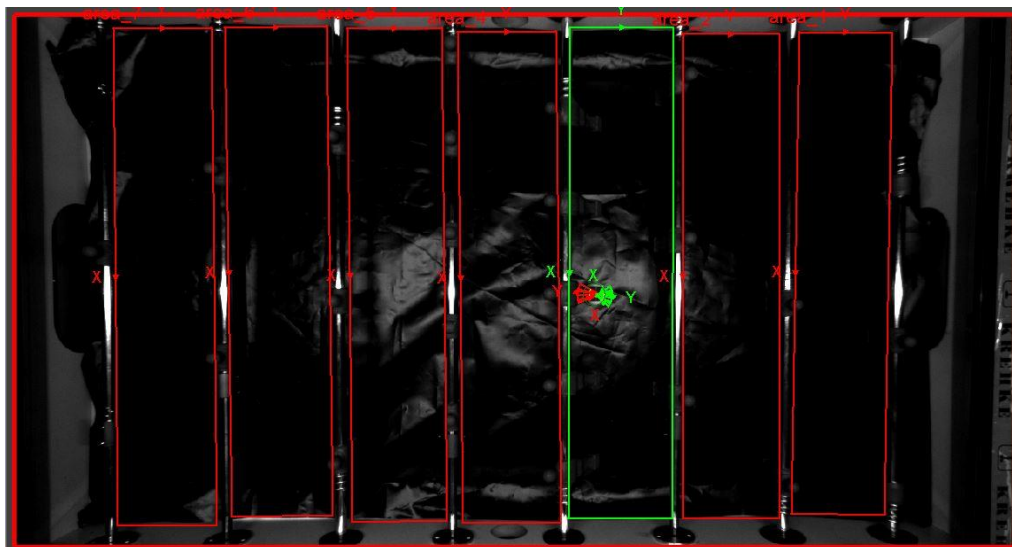
Základom pre vyhľadávanie v jednotlivých oblastiach bol nástroj „Blob“. Zmenou snímania sa zmenila jeho koncepcia a namiesto vyhľadávania tieňa loptičky sa vyhľadal odraz svetla od loptičky samotnej, a teda hľadala sa skupina bielych pixelov. Podľa získaného histogramu zo scény bez loptičky, ktorý sa nachádza na obrázku 14 sa mohlo redukovať rozmedzie hľadania bielych pixelov z intervalu 0-255 iba na 190-255 pixelov. Je to preto, že všetky pixely v tejto konkrétnej zóne majú hodnotu menšiu než 61 pixelov a loptička má priemerne viac než 200 pixelov. Hodnota 190 bola nastavená s rezervou, no jednoznačne nemohlo dôjsť k pomýleniu plochy s loptičkou. Nastavenie významne urýchlilo vyhľadávací čas. Výsledkom vyhľadávania bol kríž nesúci bod najlepšie reprezentujúci vyhľadávacie kritériá. Tento bod však zároveň nebol stále v ťažisku a teda v strede loptičky.



Obr. 14: Histogram zóny bez loptičky

Z toho dôvodu bol použitý nástroj „CircleFit“, ktorým sa definovala časť oblúku na loptičke ležiacej v danej zóne. Po rôznych vzájomných kombináciách nastavení vyplynulo, že tento nástroj je síce schopný hľadať časť oblúku v oboch prechodoch (z čiernej do bielej a naopak) naraz, no vo výsledkoch vyhľadávania sa vyskytovali nereálne veľké priemery a pozície stredu loptičky. Preto musel byť pre každú zónu tento nástroj použitý práve dvakrát. Najlepšia definícia hľadaného vzoru bola priamo v najkritickejšom mieste – v zákryte hráčom. Týmto nástrojom sa tak eliminovala najväčšia spomínaná nevýhoda. Veľkým negatívom sa stal čas programu, ktorý

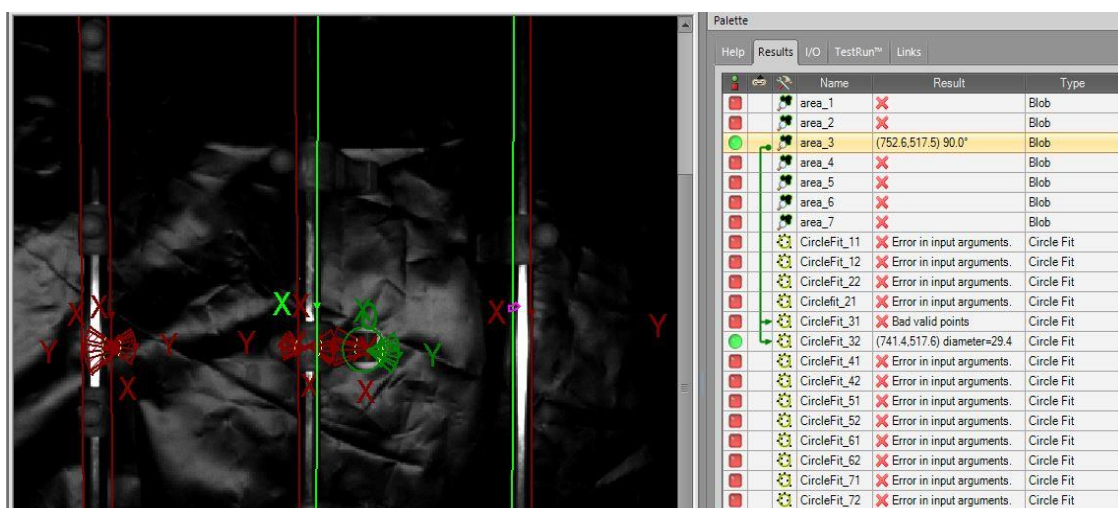
pri vyhľadávaní v 7 zónach (obrázok 15) potreboval naviac ešte 14 ďalších nástrojov vyhľadávania.



Obr. 15: Rozdelenie na sedem zón

7.1.2 Optimalizácia

Po nastavení vyhľadávacích nástrojov bol celkový čas vyhľadávania 71 ms. Jeho redukcia prebehla najprv podľa osvedčenej metódy v časti práce p. Ľubomíra Bubeníka, a to úpravou programu vytvoreného v prostredí EasyBuilder v prostredí SpreadSheet. Po odstránení nepotrebných automaticky vygenerovaných častí sa čas behu programu zmenšil na 58 ms.



Obr. 16: Optimalizovaný program s rozdelením na zóny

7.2 Program s kombinovanou oblasťou

Výsledky predošlého programu stále nestačili možným dosiahnuteľným výsledkom a preto sa zmenila celá koncepcia programu. Namiesto vyhľadávania vo viacerých zónach sa vyhľadávanie realizovalo na jednej veľkej oblasti. K spomínanému problému prekrytia loptičky hráčom alebo osou sa pridali tiež odlesky v strednej časti stola, ktoré sa stali súčasťou tejto zóny. Aby sa predišlo nežiadúcim funkciám vygenerovaným spolu s používaným nástrojmi v prostredí EasyBuilder, ktoré spomaľujú chod vyhľadávania, program bol vytvorený iba v prostredí SpreadSheet.

7.2.1 Použité nástroje

Nosným nástrojom sa stala funkcia „Editcompositeregion“, v ktorej bola vymedzená hracia plocha. Táto funkcia má možnosť pridania masiek, takže vzniknutý problém s odleskami z tyčí sa vyriešil pridaním 8 masiek pre 8 ôs. Ďalším použitým nástrojom bola funkcia „ExtractBlobs“ na obrázku 17, ktorá sa stala podfunkciou „Editcompositeregion“. Jej výstupom boli maximálne 3 nájdené objekty vyhovujúce zadaným parametrom, ktoré niesli niekoľko informácií na základe ktorých šlo rozhodnúť, ktorý nájdený „blob“ je naozaj loptička. Celkový čas pre vyhľadávanie spolu s komunikáciou sa znížil na 44 ms.

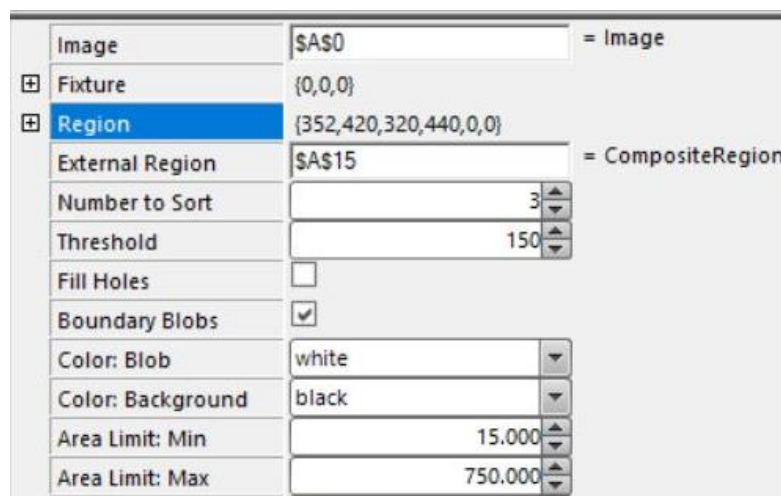


Image	\$A\$0	= Image
Fixture	{0,0,0}	
Region	{352,420,320,440,0,0}	
External Region	\$A\$15	= CompositeRegion
Number to Sort	3	
Threshold	150	
Fill Holes	☐	
Boundary Blobs	☒	
Color: Blob	white	
Color: Background	black	
Area Limit: Min	15.000	
Area Limit: Max	750.000	

Obr. 17: Vstupné parametre funkcie ExtractBlobs

7.2.2 Optimalizácia

Problémom pri vyhľadávaní sa opäť stala pozícia stredu loptičky, avšak samotný nástroj „CircleFit“ pre toto prostredie neexistuje. Vytvoriť ho v nadväznosti na „EditCompositeRegion“ v Easybuilder nebolo možné a preto sa k daným funkciám musela pridať ďalšia funkcia „FindCircle“. Vstupom funkcie bol výsledok vyhľadávania funkciou „ExtractBlobs“ s najlepším skóre a výstupom sa stala konečná poloha stredu loptičky. Optimalizovaný program je na obrázku 18.



Obr. 18: Funkčný program vyhľadávania, prípad zákrytu loptičky hráčom

7.3 Finálny program

Posledným návrhom programu sa zároveň overil najrýchlejší čas vyhľadávania a preto sa tento program zvolil ako finálna verzia. Po analýze predošlého programu bol nástroj ktorý mal najväčší podiel na celkovom čase vyhľadávania „EditCompositeRegion“. V tomto programe je funkcia nahradená priamo funkciou „ExtractBlobs“. Princíp programu spočíva v tom, že medzi nájdené objekty sa rátajú aj nemaskované odlesky z tyčí, avšak na základe parametrov ďalších funkcií sa tieto odlesky vylúčia a program nájde loptičku. Vykonáva sa postupnou sekvenciou funkcií, ktorých výstupy slúžia ako vstupy nasledujúcich funkcií. Čas potrebný na komunikáciu a vyhľadávanie sa znížil na 25 ms.

7.3.1 Použité nástroje

Funkcia „ExtractBlobs“ nájde všetky zhľuky pixelov, ktoré majú hranicu a sú bielej farby na čiernom pozadí. K jej správnej funkcii je najdôležitejší parameter „Threshold“, ktorý určuje hranicu v intervale pixelov, pod ktorou sú zhľuky vylúčené z výsledkov. Nielen spresnenie, ale aj urýchlenie programu zaručuje vymedzenie plochy hľadaných zhľukov v počte pixelov. Nadväzujúci nástroj na „ExtractBlobs“ je „FindBlobs“, ktorý má za úlohu nájsť maximálne 4 zhľuky z predošlej funkcie. Dôležité parametre pre tento nástroj sú „Accept Tresh“, „Elongation“, „Perimeter“ a „Spread“, ukázané na obrázku 19.

Elongation

Je hodnota, ktorá reprezentuje to, ako sú „natiahnuté“ jednotlivé pixely od stredu nájdeného zhľuku. Pre kruh by mala byť táto hodnota rovná 0. Ďalšie nastaviteľné parametre pre „Elongation“ sú „Range“ – tolerancia vo vyhodnocovaní podobnosti, ktorá sa pohybuje v rozsahu 0 až 900 000 a Weight – dôležitosť vo vyhodnocovaní podobnosti v rozsahu 0 až 100. Empiricky sa zistili najvhodnejšie hodnoty na vyhľadávanie pre „Range“ 0,09 a „Weight“ 100.

Perimeter

Podfunkcia perimeter vracia skóre dĺžky hranice nájdeného zhluku a môže sa pohybovať v rozmedzí 0 až 100 000. S najlepším výsledkom sa osvedčila hodnota 100. Táto funkcia obsahuje taktiež nastaviteľné parametre „Range“ a „Weight“, ktorým sa pridelili hodnoty 30 a 100.

Spread

Už samotný názov hovorí o tom, že funkcia výstupnou hodnotou popisuje rozmiestnenie pixelov od stredu zhluku. Ideálny kruh má najnižšiu hodnotu, avšak nie nulu. Analýzou snímanej loptičky na ploche sa hodnoty stanovili na „Spread“ 0.160, „Range“ 0.30 a „Weight“ 100.

Accept Tresh

Pomocou vyššie uvedených parametrov sa stanoví v tejto podfunkcii skóre vypočítané váženým priemerom. Uvedená hodnota stanovuje najmenšie prípustné skóre zhody, ktoré sa môže pohybovať v intervale 0 až 100.

Blobs		= Blobs	
Number to Find	4		
Accept Thresh	30.000		
Angle	{0,0,0}		
Area	{100,1000,100}		
Elongation	{0,0.090,100}		
Elongation	0.000		
Range	0.090		
Weight	100.000		
Holes	{0,0,0}		
Perimeter	{100,30,100}		
Perimeter	100.000		
Range	30.000		
Weight	100.000		
Spread	{0.160,0.300,100}		
Spread	0.160		
Range	0.300		
Weight	100.000		
Show	hide all		

Obr. 19: Nastavenie parametrov funkcie FindBlobs

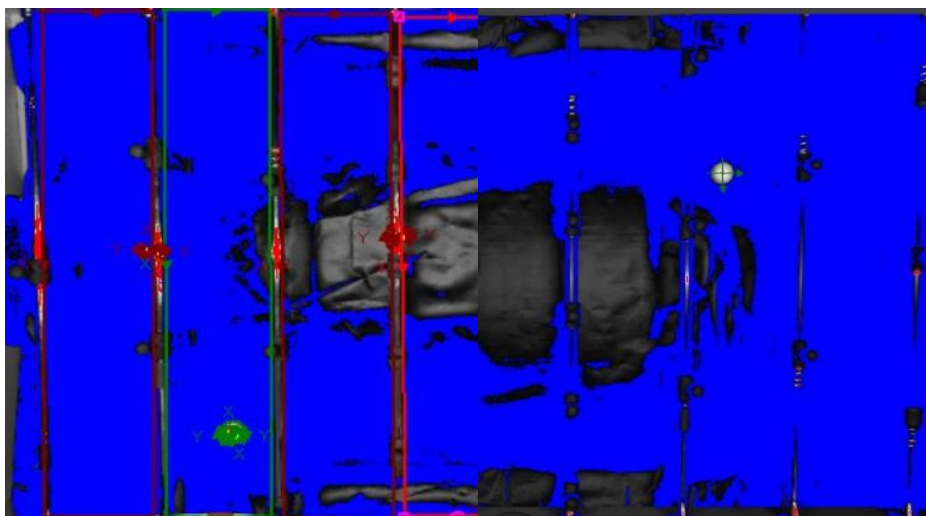
7.3.2 Optimalizácia

V programe sa oproti predošlému opäť vyskytol problém s odrazmi svetla od ôs s hráčmi, u ktorých sa testovaním ukázalo, že program si ich pri hre mýli s loptičkou, pretože majú pixely s vyššou hodnotou v porovnaní s ňou. Osi neboli zo snímania scény vylúčené ani maskovaním, ani vynechaním zo zón, keďže sa sníma celá hracia plocha ako jeden celok. Preto sa osi ošetrili matným čiernym lakom, ktorý vzhľad scény zjednotil a tým uľahčil vyhľadávanie. Finálnu podobu scény z pohľadu hráčov je možné vidieť na obrázku 20.



Obr. 20: Scéna z pohľadu hráčov

Obrázok 21 saturácie vyznačuje podexponované miesta modrou farbou, preexponované červenou a neutrálne zobrazuje tak ako v skutočnosti. Odlesky, ktoré sa zobrazovali červenou takmer úplne vymizli, až na niekoľko malých odleskov na kraji stola ako napríklad od pružiny. Po tejto mechanickej úprave bolo možné znížiť počet hľadaných zhlukov z 50 na 20, čo urýchlilo vyhľadávanie na 19 ms.



Obr. 21: Saturácia polovice hracej plochy pred (vľavo) a po (vpravo) nalakovaní herných ôs

7.3.3 Komunikácia v In-Sight Explorer

Všetky nastavenia v programe In-Sight prebehli podľa osvedčeného vzoru p. Ľubomíra Bubeníka pomocou zásobníkov (buffer). Odosielané dáta sú pozícia loptičky x a y a taktiež informácia o prezencii alebo absencii loptičky, všetky vo formáte 32-bitového integeru. Pridelený node number ostal na predchádzajúcej hodnote 6. [20]

8 VPLYV NASVIETENIA SCÉNY NA DETEKCIU

Ako už bolo spomínané, osvetlenie je jednou z najdôležitejších súčastí vyhľadávania. Hlavnou príčinou je to, že prostredie na snímanie a objekty pozorovania v prevažnej väčšine meniť nemôžeme. Obráz z kamery, ktorý vidíme nie je priamym obrazom objektov, ale od nich odrazeného svetla a preto je dôležité vytvoriť čo najlepší kontrast.

8.1 Uhol osvetlenia

Osvetlenie z iného uhla, než je priamo nad stolom sa vzhľadom na priestor vymedzený pre hráčov a divákov vylučuje. Možné je ešte osvetlenie po obvode stola tesne nad osami v spojení so svetlom nad plochou, no vyváženie intenzity rôzne vzdialených svetiel v expozícii je opäť problémom. Preto sa taktiež na prevádzku v tomto programe vypínajú nainštalované svetlá nad bránami.

Jednou zo zvažovaných variant osvetlenia bola kupola umiestnená nad hraciu plochu, ktorá by rozptýlila svetlo homogénne, čo by sa na obraze z kamery prejavilo tak, že loptička by aj na okrajoch mala svetlejšie pixely. Takáto konštrukcia by však zamedzovala komfortnej hre a navyiac, musela by byť umiestnená nad úrovňou hráčov, čo by minimalizovalo efektivitu tejto techniky.

8.2 Farba osvetlenia

U farebného snímania vo všeobecnosti platí, že ak sa vyhľadáva objekt istej farby, je vhodné zjednotiť s touto farbou aj svetlo prislúchajúcej vlnovej dĺžky. V pôvodnej kompozícii scény sa vyhľadával čierny tieň loptičky, no zvolené osvetlenie LL-490W bielej farby tvorilo najväčší kontrast vlnových dĺžok. Zmenou vyhľadávania z čiernej na bielu sa tento rozpor odstránil, resp. minimalizoval.

8.3 Polarizačný filter

V programe bez kompozitného regiónu schopného maskovania sa testovaním našli chyby, ktoré boli spôsobené vysokým odleskom točiacich sa ôs. Na vylepšenie scény s vysoko reflektujúcimi elementmi sa zväčša používajú polarizačné filtre. V prípade našej aplikácie sa naskytovali dve možnosti a to montáž na svetelný zdroj alebo na objektív kamery. V oboch pokusoch bol želaný efekt oproti stmaveniu celej scény malý. S ohľadom na dlhší čas behu programu pri prípadne vyššie nastavenej expozícii sa dospelo k záveru neaplikovať tieto filtre.

8.4 Vonkajšie prostredie

V koncepcii kamery umiestnenej pod stolom bolo veľkým problémom nastaviť scénu podľa príslušného prostredia či časti dňa (slnečné svetlo, zatiahnuté žalúzie či priestorové svietidlá), pretože napríklad neónové svetlo nad stolom vytváralo nežiadúce presvetlené oblasti alebo naopak nahnutím hráča sa vytvoril tieň. Situácie stále, ako v prípade neónového svetla, šli ošetriť dodatočným nastavením expozície, avšak tie premenlivé nie. Takto riešené manuálne nastavovanie expozície podľa podmienok vonkajšieho prostredia bolo veľmi nepraktické a nestále. Montážou kamery nad hrací stôl a osvetlením vo svetlom poli sa odstránil problém s tieňmi pri nakláňaní hráčov a taktiež vďaka expozícii nastavenej na nízku úroveň (kvôli rýchlosti programu) prídavné svetlo z bežnej výšky na strop neprekáža, práve naopak, loptička sa vidí jasnejšia, zatiaľ čo scéna ostáva čierna. Nevýhodou bežných svetiel je ale to, že v zázname kamery sa mierne javia ako blikajúce, čo naruša statickosť expozície avšak v únosnej miere, ktorá nenaruša vyhľadávanie.

8.5 Dĺžka expozície

Zvolenie osvetľovania loptičky v svetlom poli tiež prinieslo výhodu možného skrátenia expozície. Vo všeobecnosti platí, že čas potrebný pre beh programu narastá spolu s expozíciou a teda čím je doba expozície kratšia, tým rýchlejšie program vyhľadáva. Aktuálne nastavenie expozície je na hodnote 1,2 s.

9 ZÁVER

Cieľom práce bola optimalizácia nastavení priemyslovej kamery, konkrétne optimalizácia snímania hracej plochy.

Optimalizovaniu predchádzala rešeršná časť venovaná strojovému videniu a priemyslovým kamerám a takisto konkrétnym typom kamier vyrábaných spoločnosťou Cognex. Téma strojového videnia rozoberá jeho výhody, štyri hlavné využitia a funkcie jednotlivých komponentov. Ďalej predstavuje 1D, 2D a 3D typy systémov a možnosti ich komunikácie. Individuálne sú popísané a porovnávané série kamier vyrábané firmou Cognex, vhodnosť ich využitia a softvér pre ne vytvorený. Najvýznamnejšie funkcie a technológie na vyhľadávanie sú popísané v závere štvrtej kapitoly.

Na optimalizovanie scény bol upravený pôvodný program a vytvorené nové tri programy, z ktorých bol vybraný ten s najlepšimi schopnosťami, teda najvyššou rýchlosťou a najlepšou presnosťou. Pred vytvorením prvého programu sa vyrobila posúvateľná konštrukcia a inštalovala sa nad hraciu plochu spolu s kamerou. Transparentné matné sklo bolo nahradené čiernou matnou fóliou kvôli schopnosti zmeny vyhľadávania z čierneho tieňa na biely obraz loptičky a tým dosiahnutia dobrého kontrastu.

Už v prvom programe vytvorenom v EasyBuilder sa podarilo znížiť čas vyhľadávania na celej ploche vhodným výberom nástrojov a rozdielnym vymedzením zón oproti pôvodnému programu. Veľkou nevýhodou bolo osobitné nastavovanie každej jednej zóny. Pri možnom presune stolného futbalu by po demontáži kamery a opätovnom zmontovaní systému bolo opätovné nastavovanie zdĺhavé. Aj napriek urýchleniu programu, bol čas na reakciu hráčov nevyhovujúci, t.j. 58 ms.

Koncepcia druhého programu vyhovovala požiadavkam rýchleho opätovného nastavenia po demontáži systému a bola založená na kompozitnej oblasti s pridanými maskami na osiach s hráčmi. Na rozdiel od prvého programu bol tento vytvorený v SpreadSheet, kde sa naskytol problém s vyhľadaním stredu loptičky. Cieľom optimalizácie v tomto prípade už nebol čas, ale presnosť vyhľadávania. Tá sa docielila za pomoci nástroja „FindCircle“. Čas vyhľadávania sa znížil na 44 ms.

Kombinovaná oblasť bola po nastavení obrazu nástrojom s druhým najdlhším časom a preto sa hľadala možnosť inej, menej časovo náročnej alternatívy. Po viacerých pokusoch sa dospelo k finálnej verzii, kde je vyhľadávanie vykonávané na celej hracej ploche súčasne a základ tvorí nástroj „ExtractBlobs“. Vzniknutý problém, kde odlesky od tyčí vytvárali falošnú pozíciu loptičky sa odstránil nastriekaním ôs čiernym matným lakom. Program je jednoduchý, čo sa týka množstva použitých nástrojov, ale nastavenie ich parametrov podliehalo zdĺhavému procesu vyšetrovania vrátených hodnôt z každej funkcie pre rôzne možné situácie. Vhodnou kombináciou týchto parametrov zistenou empiricky sa dosiahol najlepší čas vyhľadávania, a to 18 ms respektíve približne 55 fps.

Poslednou zadanou časťou práce je rozbor vplyvu nasvietenia scény na kvalitu detekcie loptičky. Na kvalitu vyhľadávania vplyvajú uhol, farba osvetlenia a vonkajšie

prostredie a často používanou technikou na upravenie scény je využitie polarizačných filtrov, čo v našom prípade nebolo účinné. Významným faktorom doby behu programu je dĺžka expozície kamery.

10 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] What is Machine Vision, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/what-is-machine-vision>
- [2] Benefits of Machine Vision, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/benefits>
- [3] Machine Vision Applications - Introduction to Machine Vision, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/applications>
- [4] Introduction to Machine Vision, ©2016. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/resources/white-papers-articles/introduction-to-machine-vision-17152>
- [5] Diffused dome lighting, In: *Cognex* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: https://www.cognex.com/library/media/intro-topics/intro-to-machine-vision/diffused_dome_lighting.jpg?h=124&w=131&la=en&hash=3A446CBD256BDE10E49B4F052BF86018DBB10C51
- [6] Machine Vision Introduction, 2006. *SICK* [online]. SICK IVP [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.sick.com/medias/Machine-Vision-Introduction2-2-web.pdf?context=bWFzdGVyfHJvb3R8NzlxNDY0MXXhcHBsaWNhdGlvbi9wZGZ8aDBmL2g2MC84ODMyMDk0MjA4MDMwLnBkZnw1ZTZjNDViMTQ2MDA4NmJjNTA2NTM1ZjE4MGY0YjEyY2M3MjM0OWFiMWI3ZjYyMWNmMGFmZml5ZDA0YzRkYWWE1>
- [7] 1D Vision Systems, In: *Cognex* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: https://www.cognex.com/library/media/intro-topics/intro-to-machine-vision/1d_vision_systems.jpg?h=187&w=200&la=en&hash=D7A0214B3E5C97547A41B6CC5AB2ABC4F7C27455
- [8] Applications that benefit from 3-D sensing, 2018. *Control Engineering* [online]. AIA [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: [https://www.controleng.com/single-article/applications-that-benefit-from-3-d-sensing/ccedd990009660699153a12dece7e2a8.html?sword_list\[\]=3D&no_cache=1](https://www.controleng.com/single-article/applications-that-benefit-from-3-d-sensing/ccedd990009660699153a12dece7e2a8.html?sword_list[]=3D&no_cache=1)
- [9] AREA SCAN VS. LINE SCAN, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/system-types/area-scan-vs-line-scan>
- [10] In-Sight 8000 Datasheet, ©2017. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/in-sight-8000-datasheet-16567>
- [11] In-Sight 7000 Series Vision System, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/in-sight-7000-series-vision-system-18659>
- [12] In-Sight 5705 and 5705C Datasheet, ©2014. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/in-sight-5705-and-5705c-datasheet-15807>
- [13] In-Sight VC200 Multi Smart Camera Vision System, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/in-sight-vc200-multi-smart-camera-vision-system-17916>

- [14] In-Sight 2000 Series Vision Sensors Datasheet, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/in-sight-2000-series-vision-sensors-datasheet-16566>
- [15] 3D Laser Profilers, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/3d-laser-profilers>
- [16] JEDINÝ, Lukáš, 2016. *Robotický stolní fotbal* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/59549>.
- [17] VisionPro Machine Vision Software, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-software/visionpro>
- [18] VisionPro Vision Software Product Guide, ©2016. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/visionpro-vision-software-product-guide-9964>
- [19] Machine Vision Product Guide, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/machine-vision-product-guide-9956>
- [20] Cognex Leading Technology, ©2018. *Cognex* [online]. Cognex Corporation [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/leading-technology>
- [21] BUBENÍK, Ľubomír, 2017. *Model robotického stolního fotbalu* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/67234>.
- [22] PARÁK, Roman, 2017. *Robotický stolní fotbal - herní strategie* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/67950>.

11 ZOZNAM SKRATIEK, OBRÁZKOV

CCD	Charge-Coupled Device
cm	centimeter
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
DPM	Direct Part Marks
FINS	Factory Interface Network Service
fps	frames per second
FTP	File Transfer Protocol
GigE	Gigabit Ethernet
HMI	Human Machine Interface
IP	Internet Protocol
IS	In Sight
LED	Light Emitting Diode
m	meter
MB	Megabyte
mm	millimeter
ms	milisekunda
OCR	Optical Character Recognition
OCV	Optical Character Verification
PLC	Programmable Logic Controller
RS232	Recommended Standard 232
RS485	Recommended Standard 485
s	sekunda
SD	Secure Digital
SLMP	Seamless Message Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
USB	Universal Serial Bus

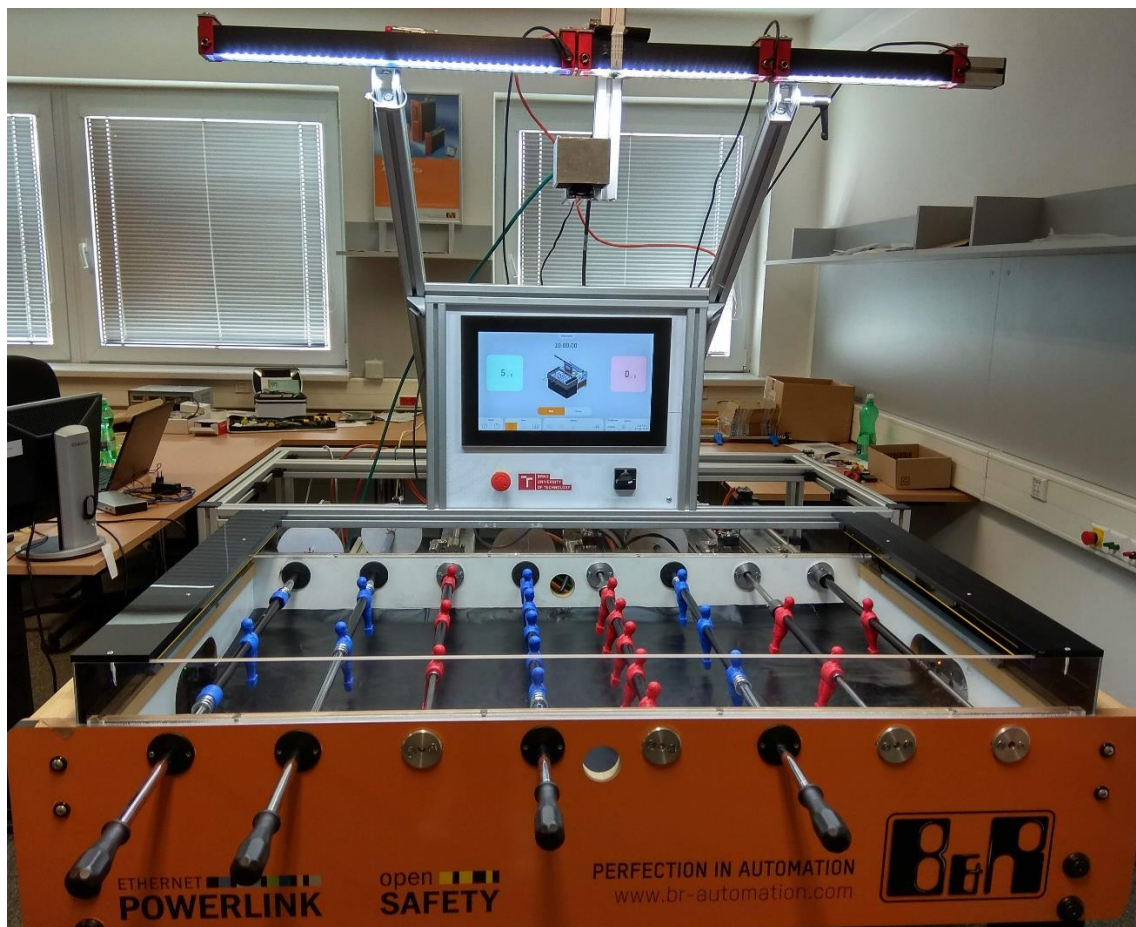
Obr. 1: Blokový diagram pre typickú prevádzku vizuálneho systému	20
Obr. 2: Spôsoby umiestnenia svetla [4]	21
Obr. 3: Difundované svetlo z kupoly [5].....	21
Obr. 4: Ilustrácia líniového systému [7].....	23
Obr. 5: Séria In-Sight 8000 [9].....	25
Obr. 6: Séria 7000 a vymeniteľná sada [10]	26
Obr. 7: In-Sight VC200 s popisom jednotlivých častí [12].....	27
Obr. 8: Príklad využitia laserových profilero. Kontrola vinutia optických káblov a meranie profilu pneumatiky. [14].....	28
Obr. 9: Porovnanie zorného poľa bez použitia a s použitím Xpand [19].....	29
Obr. 10: Východiskový stav stolného futbalu z pohľadu hráčov [20]	31
Obr. 11: Kamera In Sight 7402 [21]	31
Obr. 12: Pôvodná kompozícia scény.....	32
Obr. 13: Zobrazenie hraničnej situácie naklonenia hráča (kóty v mm)	34
Obr. 14: Histogram zóny bez loptičky	35
Obr. 15: Rozdelenie na sedem zón.....	36
Obr. 16: Optimalizovaný program s rozdelením na zóny	36
Obr. 17: Vstupné parametre funkcie ExtractBlobs	37
Obr. 18: Funkčný program vyhľadávania, prípad zákrytu loptičky hráčom.....	38
Obr. 19: Nastavenie parametrov funkcie FindBlobs.....	39
Obr. 20: Scéna z pohľadu hráčov	40
Obr. 21: Saturácia polovice hracej plochy pred (vľavo) a po (vpravo) nalakovaní herných ôs	40

12 ZOZNAM PRÍLOH

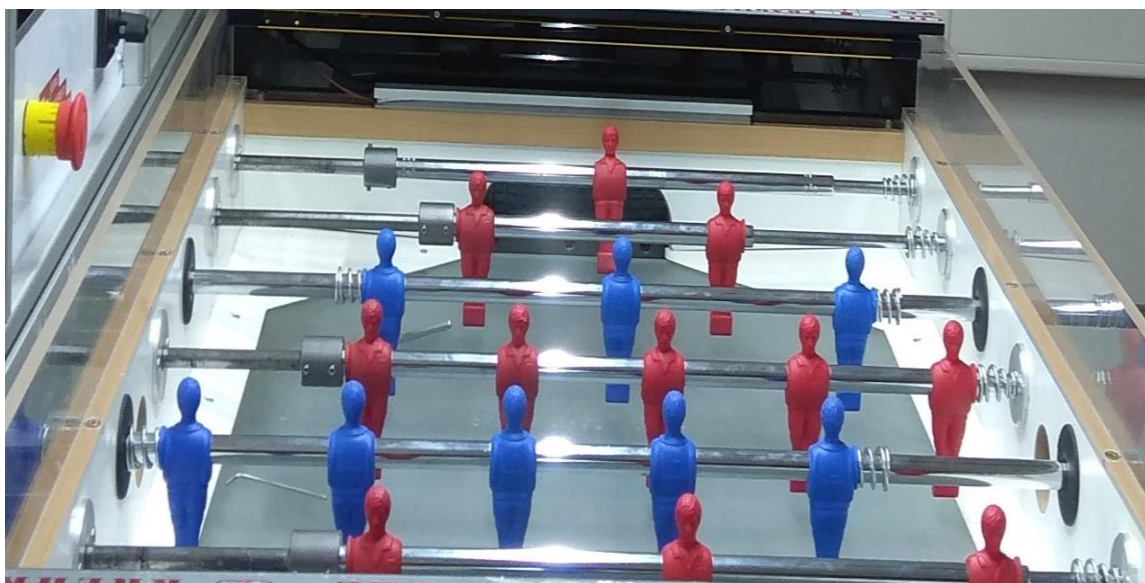
Príloha A. Fotografie

Príloha B. CD - ROM

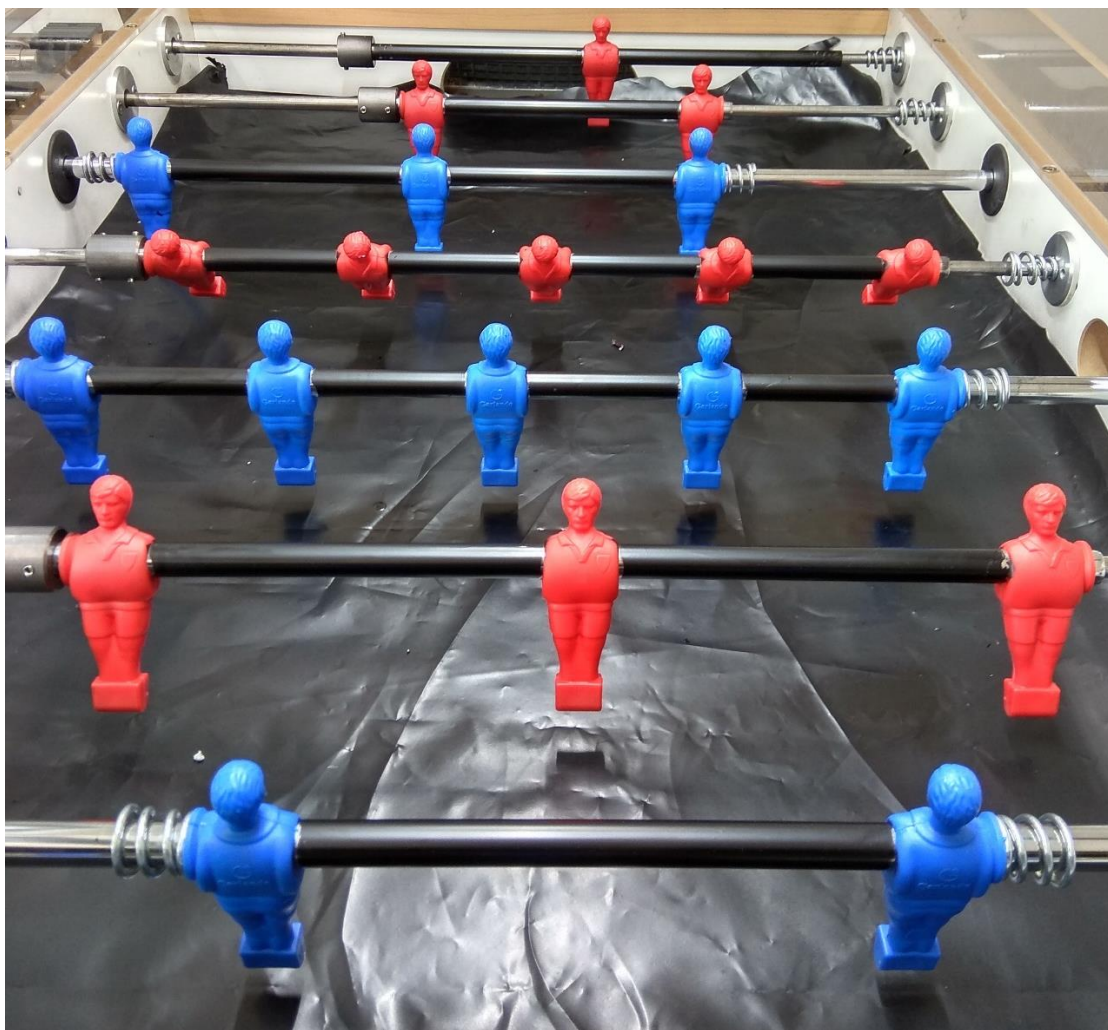
A. FOTOGRAFIE



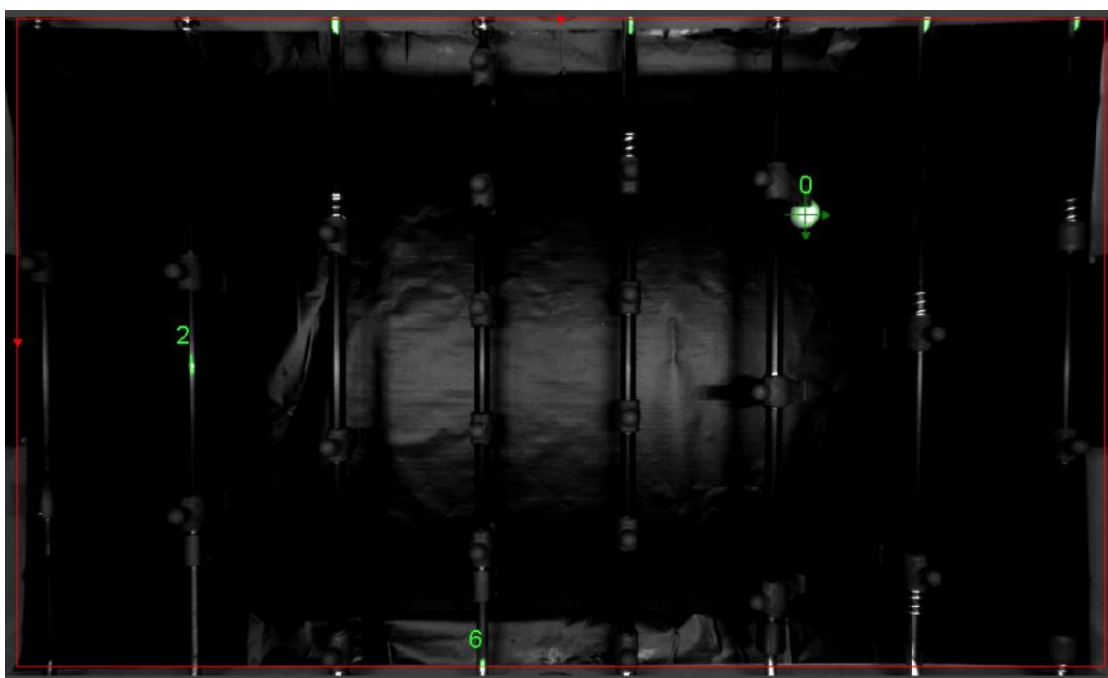
Obr. 1: Konečné riešenie robotického stolného futbalu



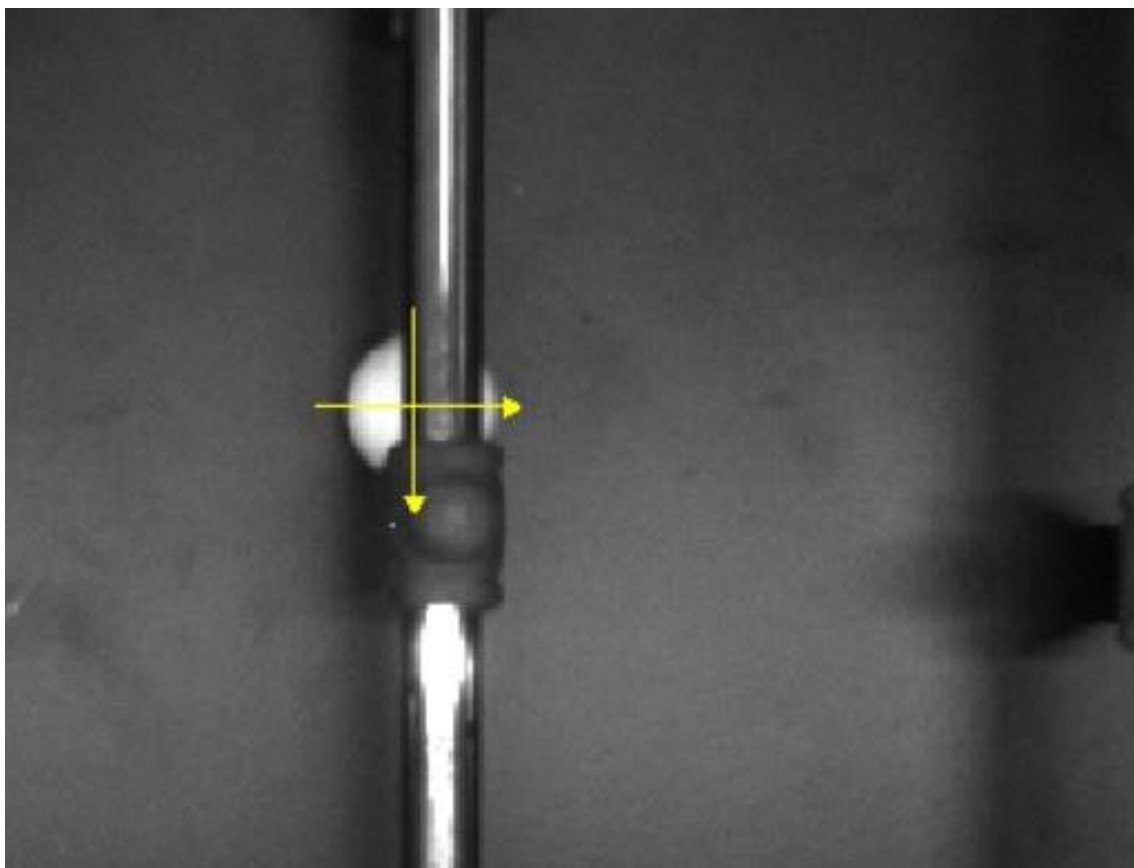
Obr. 2: Odlesky od ôs s hráčmi



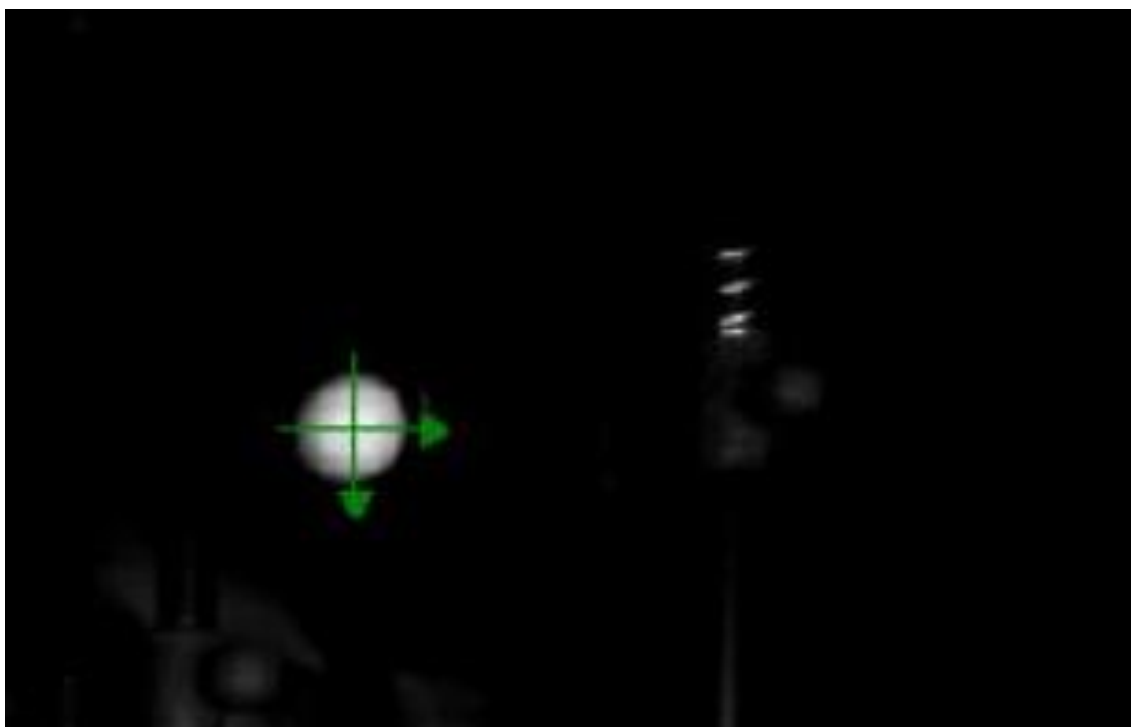
Obr. 3: Osi nafarbené čiernym matným lakom



Obr. 4: Vyhľadávanie zhlukov. Nula určuje najlepšiu zhodu s definovanými parametrami



Obr. 5: Loptička zakrytá osou



Obr. 6: Loptička na ploche bez prekážok vo videní



Obr. 7: Loptička v zákryte s hráčom

B. CD – ROM

Na disku sa nachádza elektronická verzia tejto bakalárskej práce, tri programy .job popisované v práci vrátane konečnej podoby programu, zostrih videí z herných situácií počas behu programu kamery a fotodokumentácia fyzického riešenia a pohľadu z kamery robotického stolného futbalu.