

Pick-and-place aplikace pro robotické rameno mycobot

Jakub Šiman

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Šiman**
Osobní číslo: **A21229**
Studijní program: **B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci**
Specializace: **Inteligentní systémy s roboty**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Pick-and-place aplikace pro robotické rameno mycobot**
Téma práce anglicky: **A pick-and-place application for robotic arm mycobot**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte rešerši s problematikou robotického vidění.
2. Navrhněte uspořádání kamery, dopravníku a robota pro pick-and-place aplikaci.
3. Provedte kalibraci souřadného systému kamery a souřadného systému robota.
4. Vytvořte aplikaci pro řízení robota, dopravníku a zpracování obrazu z kamery.
5. Navrhněte jednoduchou úlohu pro studenty bakalářského studia, využívající vytvořený systém.

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

Seznam doporučené literatury:

1. SZELISKI, Richard. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Texts in computer science. London: Springer, 2010. ISBN 9781848829343.
2. MIHEJL, Matjaž, Tadej BAJD, Aleš UDE, Jadran LENARČIČ, Aleš STANOVNIK, Marko MUNIH, Jure REJC a Sebastjan ŠLAJPAH. *Robotics*. Second edition. Springer, 2019. ISBN 978-3-319-72910-7.
3. LUTZ, Mark. *Learning Python*. 4th ed. Beijing: O'Reilly, 2009. ISBN 978-0-596-15806-4.
4. HALFACREE, Gareth, 2019. *The Official Raspberry Pi Beginner's Guide*. 4th edition. Raspberry Pi Trading. ISBN 978-1-912047-62-8.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jakub Novák, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2024**



doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

Jakub Šiman, v.r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem pick-and-place pracoviště, které bude následně využíváno pro výuku. Pracoviště bude obsahovat robotické rameno myCobot od firmy Elephant Robotics, kameru Basler a dopravní pás od firmy Dobot. Cílem je rozeznat pomocí robotického vidění pozici a orientaci objektu na pásovém dopravníku a tuto informaci předat robotickému rameni pro odebrání. V teoretické části je popsán princip robotického vidění a komponenty kamerových systémů.

Klíčová slova: Robotické vidění, Strojové vidění, pick-and-place, Elephant robotics, myCobot, Raspberry Pi, Python, Basler

ABSTRACT

This work focuses on designing a pick-and-place workstation, which will be subsequently used for educational purposes. The workstation will include the myCobot robotic arm from Elephant Robotics, Basler camera and a conveyor belt from Dobot. The goal is to use robotic vision to recognize the orientation of object on a conveyor belt and transfer this information to the robotic arm for picking. The theoretical part describes the principle of robotic vision and the components of camera systems.

Keywords: Robotic vision, Machine vision, pick-and-place, Elephant Robotics, myCobot, Raspberry Pi, Python, Basler

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Jakobovi Novákovi, PhD. za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Taktéž velké poděkování patří mé rodině a kamarádům za velkou podporu po dobu celého studia.

OBSAH

ÚVOD	10
TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ROBOTICKÉ VIDĚNÍ	12
1.1 CO JE STROJOVÉ VIDĚNÍ	12
1.2 SYSTÉMY STROJOVÉHO VIDĚNÍ	13
1.2.1 Kamerový senzor	13
1.2.2 Inteligentní kamera	13
1.2.3 PC systémy	14
1.2.4 Zákaznické systémy	14
2 PRŮMYSLOVÉ KAMERY	15
2.1 KAMERY A JEJICH ČÁSTI	15
2.1.1 Druhy kamer	15
2.1.1.1 Area scan kamera	15
2.1.1.2 Line scan kamery	15
2.1.1.3 3D kamery	16
2.1.2 Snímač obrazu	17
2.1.2.1 CCD snímač obrazu	17
2.1.2.2 CMOS snímač obrazu	18
2.2 KAMEROVÝ OBJEKTIV	18
2.3 OSVĚTLENÍ	19
2.3.1 Geometrie osvětlení	19
2.3.1.1 Přední osvětlení s jasným obrazovým polem	19
2.3.1.2 Přední osvětlení s tmným zorným polem	20
2.3.1.3 Zadní osvětlení	20
2.3.2 Typy osvětlovačů	21
2.3.2.1 Plošná osvětlovací pole	21
2.3.2.2 Bodové osvětlovače	22
2.3.2.3 Kruhové osvětlovače	23
2.3.2.4 Kopulové osvětlovače	24
2.3.2.5 Osvětlovače DOAL	25
2.3.2.6 Osvětlovače dark-field	26
2.3.2.7 Osvětlovače backlight	27
3 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY	28
3.1 GENERACE ROBOTŮ	29
3.2 VLASTNOSTI ROBOTA	29
3.3 SUBSYSTÉMY ROBOTŮ	30
3.4 PARAMETRY ROBOTŮ	30
3.5 SOUČÁSTI A MECHANISMY ROBOTICKÉHO SYSTÉMU	31
3.5.1 Článek	31
3.5.2 Kloub	32
3.5.3 Zápěstí	32
3.5.4 Koncový efektor	32
3.5.5 Akční členy	32

3.5.6	<i>Senzory</i>	32
3.5.7	<i>Kontroler</i>	32
3.6	APLIKACE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	33
3.6.1	<i>Pick and Place</i>	33
3.6.2	<i>Bin picking</i>	33
3.6.3	<i>Výrobní operace</i>	33
3.6.4	<i>Balení a paletizace</i>	33
3.7	PROGRAMOVÁNÍ ROBOTŮ	33
3.7.1	<i>Souřadné systémy robotů</i>	34
3.7.1.1	<i>Světový souřadný systém (World Coordinate System)</i>	34
3.7.1.2	<i>Souřadný systém báze (Base Coordinate System)</i>	35
3.7.1.3	<i>Souřadný systém nástroje (Tool Coordinate System)</i>	35
3.7.2	<i>Typy pohybů</i>	35
3.7.2.1	<i>Obecný pohyb</i>	35
3.7.2.2	<i>Lineární pohyb</i>	36
3.7.2.3	<i>Kruhový pohyb</i>	36
3.8	KINEMATIKA PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	37
3.8.1	<i>Přímá kinematika</i>	37
3.8.2	<i>Inverzní kinematika</i>	37
4	ELEPHANT ROBOTICS	38
4.1	MYCOBOT 320 PI	38
4.1.1	<i>Raspberry Pi</i>	39
	PRAKTICKÁ ČÁST	40
5	KOMPONENTY PRACOVIŠTĚ.....	41
5.1	SNÍMANÝ OBJEKT	41
5.2	KAMEROVÁ SESTAVA.....	41
5.2.1	<i>Kamera</i>	41
5.2.2	<i>Objektiv</i>	42
5.2.3	<i>Osvětlovač</i>	43
5.2.4	<i>IR senzor</i>	43
5.3	DOPRAVNÍ PÁS	43
5.4	RASPERRY PI 5	44
5.5	MYCOBOT 320 PI	44
5.5.1	<i>Gripper</i>	44
6	ROZLOŽENÍ A KONSTRUKCE PRACOVIŠTĚ	46
6.1	ELEKTRICKÁ ZAPOJENÍ.....	47
6.1.1	<i>Zapojení GPIO Raspberry Pi 5</i>	47
6.1.2	<i>Zapojení předního panelu Raspberry Pi 5</i>	48
6.1.3	<i>Připojení gripperu k robotovi</i>	48
7	KALIBRACE KAMERY A ROBOTA.....	49
7.1	ARUCO ZNAČKY	49
7.2	KALIBRACE KAMERY	49
7.3	KALIBRACE SOUŘADNÝCH SYSTÉMŮ KAMERY A ROBOTA.....	50
8	SCRIPT PRO KAMERU A DOPRAVNÍ PÁS.....	52

8.1	POUŽITÉ KNIHOVNY	52
8.1.1	<i>OpenCV</i>	52
8.1.2	<i>Pymycobot</i>	52
8.1.3	<i>Pypylon</i>	52
8.1.4	<i>Pymodbus</i>	52
8.1.5	<i>NumPy</i>	52
8.1.6	<i>Threading</i>	52
8.1.7	<i>GPIO zero</i>	53
8.2	VÝVOJOVÝ DIAGRAM.....	53
8.3	ÚPRAVA OBRAZU A DETEKCE POLOHY KRYCHLE	54
8.4	ŘÍZENÍ DOPRAVNÍHO PÁSU	56
8.5	KOMUNIKACE S ROBOTEM.....	57
8.5.1	<i>Protokol Modbus</i>	57
8.5.2	<i>ModBus Server</i>	57
8.5.3	<i>ModBus Client</i>	57
9	PROGRAM ROBOTA	58
9.1	TRANSFORMACE SOUŘADNIC	58
9.2	VÝVOJOVÝ DIAGRAM.....	59
9.3	SPUŠTĚNÍ SKRIPTU PRO KAMERU A SERVER PŘES ROBOTA.....	60
	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH	68

ÚVOD

Pick-and-place robot (česky robotické odebírání a zakládání) je jeden z nejčastějších typů robota v průmyslu. Využívají se pro jednoduchou a monotónní práci kde se nevyplatí zaměstnat člověka. Roboty s kamerovým systémem umožňují práci s širším rozsahem výrobků a mají větší flexibilitu pro pozici dílů.

Implementace strojového vidění je důležitou součástí Průmyslu 4.0. Pomocí snímků pořízených pomocí průmyslových kamer lze zjistit mnoho informací o stavu dílu. Často se používají kamery pro zjištění pozice a orientace pro navádění robotického ramene. Strojové vidění také umožňuje bezdotykovou detekci vad výrobku.

Teoretická část se věnuje strojovému vidění, proč se používá a jaké jsou jeho výhody a nevýhody. Velká část je věnována i osvětlení objektu, proč je osvětlení důležité a jaké jsou následky špatného nasvícení objektu.

V praktické části je zahrnuta konstrukce pracoviště pro pick-and-place robota. Jednotlivé kapitoly obsahují návrh a konstrukci samotného uspořádání všech částí pracoviště a kalibraci mezi souřadnými systémy jednotlivých částí. Dále je popsán program, který nám umožní zpracovat obraz z kamery a komunikaci s robotickým ramenem, navádění robota pomocí kamery a odběr dílů z dopravního pásu. Součástí práce je i návrh laboratorní úlohy, kterou bude možné využít pro výuku budoucích studentů.

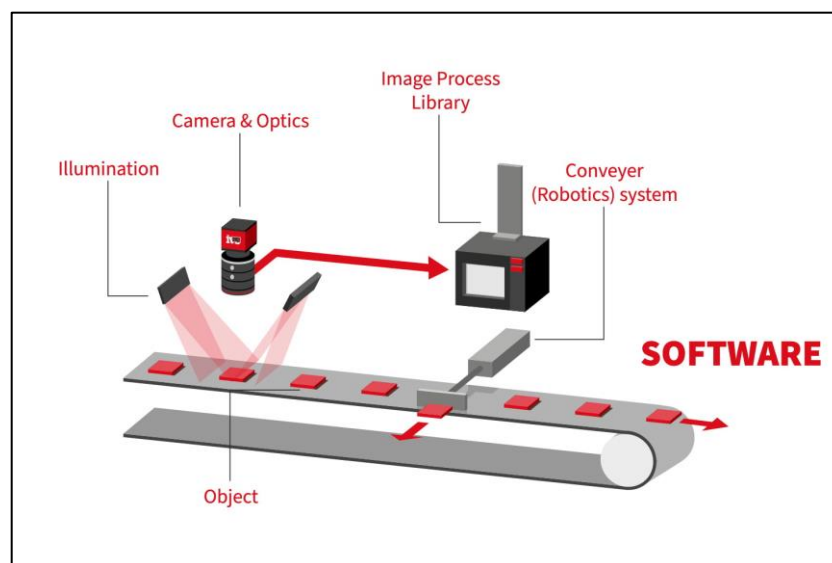
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ROBOTICKÉ VIDĚNÍ

Cílem robotického vidění je rozpoznat geometrii pracovního prostoru robota z obrazu z kamery. Systém se může skládat z jedné nebo více kamer, kdy při použití více kamer dostaneme informaci o hloubce scény. V tomto případě se jedná o 3D nebo stereo vidění. Pokud máme k dispozici pouze jednu kameru, je možné informaci o hloubce získat také při pořízení alespoň dvou snímků z různé pozice nebo odhadem založeným na známých rozměrech objektu. Oborem, který se zajímá o kamerové systémy a získáváním informací z obrazu se nazývá počítačové vidění. Pro aplikace počítačového vidění v průmyslu se často používá název strojové vidění. V této kapitole bude popsáno, co je strojové vidění a jeho využití v průmyslu, popis jednotlivých částí systému a překážky které mohou nastat při návrhu systému. [1][2]

1.1 Co je strojové vidění

Lidé dokážou s lehkostí vnímat svět kolem nás, rozpoznávat obličeje lidí, napsaná písmena na papíře nebo průsvitnost objektu bez jakýchkoliv potíží. Díky pokrokům v technologii strojového vidění je možné dosáhnout stejných schopností v robotických aplikacích. Systémy strojového vidění umožňují rozpoznávat a sledovat jednotlivé objekty na snímku, jejich polohu a barvu nebo spolehlivě rozpoznat osoby ze snímku podle obličeje a oblečení. Tato technologie má velké využití ve výrobě a průmyslu, v systémech automatického sledování v bezpečnostních kamerách, čtení rukou psaného písma, autonomních vozidlech, analýze medicínských obrazů a modelování objektů. [3]



Obr. 1 Systém strojového vidění [4]

Strojové vidění přistupuje k danému úkolu s podobnou metodou jako člověk. Kamera zachytí obraz zkoumaného předmětu stejně jako lidské oko, a systém ho následně vyhodnotí podle stanoveného algoritmu, což vede k provedení akce na základě výsledků vyhodnocení. Při optické kontrole výrobku může být výsledkem, jestli má výrobek správnou velikost, tvar, barvu nebo povrchovou úpravu. Objekt, který sledujeme bývá osvětlen, aby byl obraz čitelný pro počítač. Toto je jedna z nejdůležitějších podmínek pro správnou funkci. Obecný systém strojového vidění lze vidět na Obr. 1 a jeho jednotlivé části jsou popsány v další kapitole. Špatné nasvícení nám nebude dávat optimální výsledky, nezajistí opakovatelnost výsledků a někdy nebude fungovat vůbec. Integrátor systému musí najít správný druh osvětlení, jeho polohu a intenzitu, ale taky vhodný objektiv a nastavení jasu, kontrastu a saturace. V obraze musí být především viditelná část kterou sledujeme. Většinou se stává že my tuto informaci vidíme na obraze s lehkostí, ale počítač vnímá tento obraz jinak. Znalosti a zkušenosti integrátora jsou pro návrh systému velmi důležité a trvá nějakou dobu, než si tyto dovednosti osvojí. [2]

1.2 Systémy strojového vidění

Dnes existují čtyři kategorie systémů strojového vidění, které mají svoje charakteristické znaky a využití, které se vývojem systémů stále více překrývají. [2]

1.2.1 Kamerový senzor

Nejjednodušším systémem je kamerový senzor, kde samotný systém obsahuje kameru včetně osvětlení. Kvůli této integraci je počet vstupů a výstupů omezen, a jsou omezeny i možnosti programování proto mají vstupy a výstupy pevně přidělenou funkci. Celková konstrukce a výkon systému je určena pro jednoduché úlohy. [2]

1.2.2 Inteligentní kamera

Na trhu roste zájem o inteligentní kamery, které jsou kompaktní a obsahují výkonný mikropočítač. Vstupy a výstupy jsou často univerzální bitová rozhraní a nastavitelná jako vstup nebo výstup. Kamery bývají opatřeny Ethernetem, sériovým rozhraním nebo průmyslovou sběrnici (Profibus, Modbus) pro připojení k PC a PLC. [2]

1.2.3 PC systémy

V PC systémech je využit osobní počítač místo vyhodnocovací jednotky. Výhodou těchto systémů je modularita, vysoký výkon a možnost připojení více kamer. Kamery komunikují s PC pomocí USB nebo Ethernetu. [2]

1.2.4 Zákaznické systémy

Zákaznické systémy jsou navrhnuté na míru pro aplikace vyžadující vysokou rychlostí a přesností nebo speciálním druhem kamer. Tyto systémy jsou drahé a používají se, pokud není možné využít jinou variantu. [2]

2 PRŮMYSLOVÉ KAMERY

2.1 Kamery a jejich části

Kamera nám poskytuje dvojrozměrný obraz reality v analogové nebo digitální podobě. Pro strojové vidění může být kamera vestavěna do systému (kamerový senzor, inteligentní kamera) nebo připojena (PC systémy). V průmyslové kameře najdeme samotný snímač obrazu, elektrické obvody pro funkci snímače a komunikaci, optiku pro promítání obrazu na snímač, ochranné pouzdro a mechanické části. [5]

2.1.1 Druhy kamer

2.1.1.1 Area scan kamera

Běžný druh kamer, snímač obrazu obsahuje matici pixelů v obdélníkového tvaru (Obr. 2). Tento typ kamer je používán nejvíce díky jejich univerzálnosti a jednoduchému nastavení. Maximální horizontální a vertikální rozlišení je dáno pevně konstrukcí snímače. [6]



Obr. 2 Area scan kamera Basler[7]

2.1.1.2 Line scan kamery

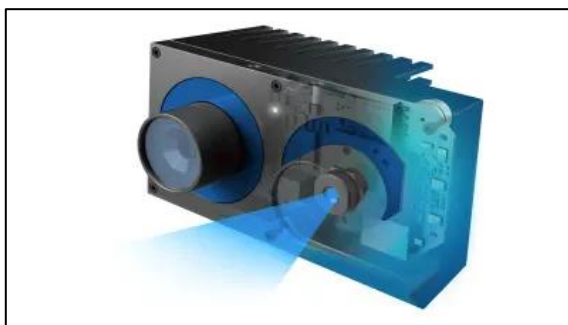
Snímač obrazu obsahuje pouze jeden řádek pixelů, díky tomu zaznamenává obraz velice rychle (Obr. 3). Výsledný obraz je možné poskládat z jednotlivých řádků, které jsou vytvořeny pohybem kamery nebo sledovaného objektu. Tyto kamery nemají definované vertikální rozlišení. Používají se v dopravníkových aplikacích, nebo pro kontrola štítků na lahvích. [6]



Obr. 3 Line scan kamera Basler [7]

2.1.1.3 3D kamery

Tyto kamery dokážou zachytit i hloubku objektu, dělí se na pasivní a aktivní kamery. U pasivních kamer je toho dosaženo použitím dvou snímačů obrazu, rozpoznávají hloubku stejným způsobem jako lidské oči pomocí rozdílných obrazů ze snímačů, kde se najde společný bod. Těmto kamerám se také říká stereo kamery. Aktivní kamery využívá jeden snímač a zdroj světla, ten buď na sledovaný objekt promítá vzor, podle deformace vzoru na objektu je zjištěna vzdálenost (Obr. 4), druhý způsob je měření času za jak dlouho se paprsky světla vrátí. Těmto kamerám se říká ToF (Time-of-Flight) kamery (Obr. 5). Pasivní kamery jsou levnější, ale jejich nepřesnost se velmi zvyšuje se vzdáleností. Aktivní kamery mají zase nižší frekvenci snímání obrazu a objekt se kvůli tomu nesmí moc hýbat. [8]



Obr. 4 Stereo kamera Basler[7]



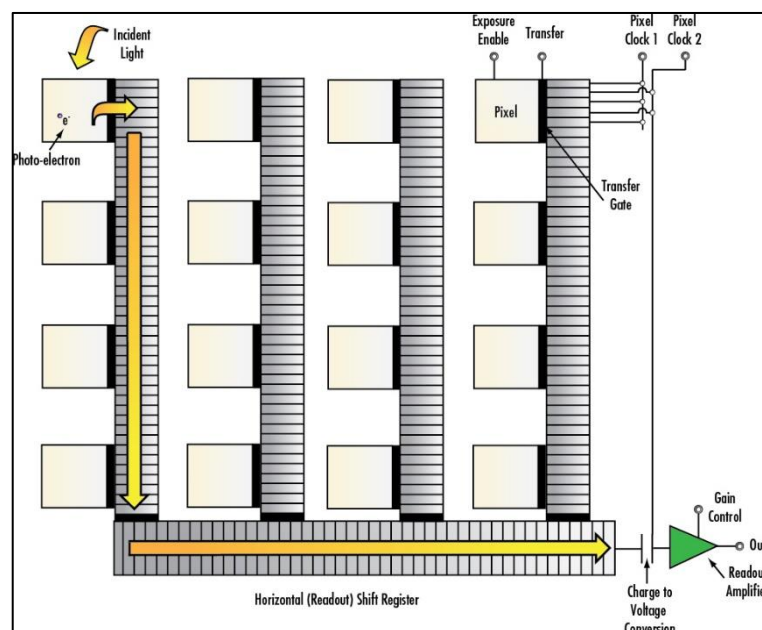
Obr. 5 ToF kamera Basler[7]

2.1.2 Snímač obrazu

Skládá se z polovodičových buněk, které reagují na světlo tak, že na nich vzniká elektrický náboj. Tyto buňky jsou uspořádány do matice pro vytvoření jednotlivých pixelů. Vlastnosti snímače jsou dány technologií výroby a sběrem náboje z buněk. V průmyslu se používají dva základní typy snímačů: CCD (Charged Coupled Device) a CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). [3][5]

2.1.2.1 CCD snímač obrazu

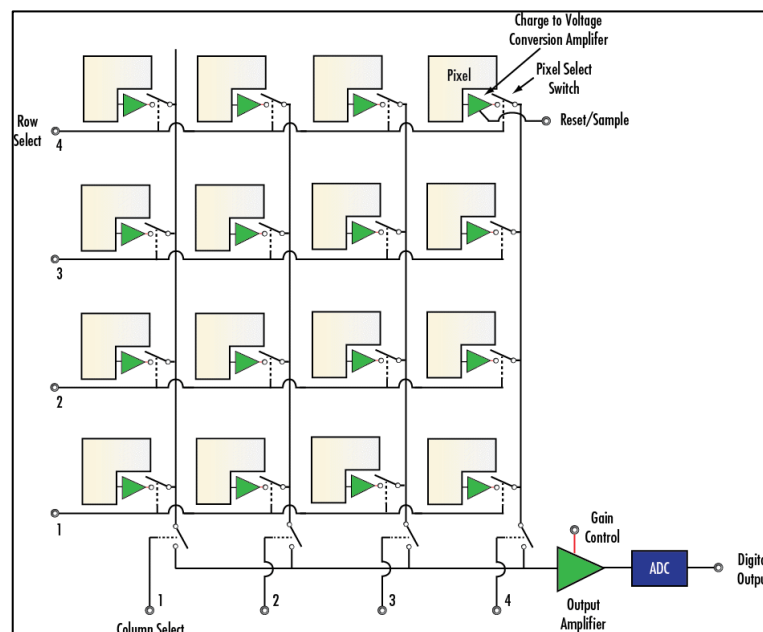
V CCD snímačích se náboj akumulovaný v buňkách přesune do soustavy kondenzátorů, které během každého cyklu náboj posouvají k zesilovači (Obr. 6), tento zesílený analogový signál se převede na digitální v ADC převodníku (analog-to-digital converter). Starší CCD snímače byly náchylné na tzv. blooming, který se projevoval, když na buňku dopadlo moc světla a náboj přetekl do okolních buněk. Na výsledném obraze následně vzniknou bílá místa. CCD snímače jsou nákladné kvůli několika vrstvám a napájecích napětí, ale poskytují kvalitnější obraz než CMOS snímače. [3][5]



Obr. 6 Diagram CCD snímače obrazu[9]

2.1.2.2 CMOS snímač obrazu

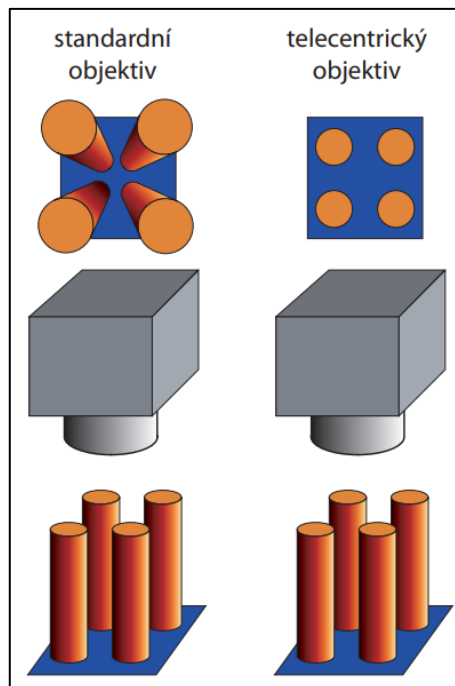
CMOS snímače obsahují zesilovač pro každou buňku (Obr. 7), což umožňuje zpracování náboje ze všech buněk ve stejnou dobu a snímač je rychleji připraven na další snímek. Kvůli těmto zesilovačům je na ploše senzoru méně místa pro buňky a světlo dopadá mezi ně. Toto je řešeno dvěma způsoby. Buď zvětšením buněk a zmenšením elektroniky kolem nich, nebo použitím čoček nad každou buňkou. CMOS snímače vyžadují méně příkonu na provoz a jsou levnější než CCD snímače, a dnes se využívají v drtivé většině kamer. [3][5]



Obr. 7 Diagram CMOS snímače obrazu[9]

2.2 Kamerový objektiv

Objektiv má za úkol promítnout na celou plochu snímače obrazu dvojrozměrný obraz bez zkreslení. Mezi základní vlastnosti objektivu patří např. zorné pole, základní zvětšení objektivu, ohnisková vzdálenost, rozlišení v rovině snímaného objektu. Podle požadavků úlohy je zvolen vhodný objektiv, který nám poskytne přijatelné zkreslení, rozlišení, kontrast a hloubku ostrosti. V měřicích úlohách nastává chyba zkreslení obrazu způsobena perspektivou. Toto je možné řešit pomocí telecentrického objektivu, u kterého je průměr vstupní čočky stejný jako úhlopříčka zorného pole a velikost objektu se nemění se vzdáleností (Obr. 8). [5]



Obr. 8 Rozdíl mezi standardním a telecentrickým objektivem[5]

2.3 Osvětlení

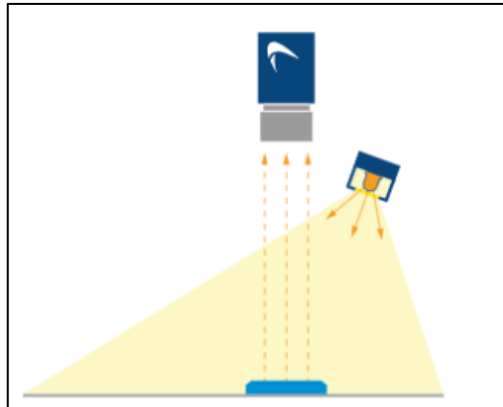
K vytvoření obrazu je potřeba světlo, tedy snímáný objekt musí být osvětlen jedním nebo více zdroji světla. Osvětlení má za účelem nám jasně zvýraznit části které nás zajímají a minimalizovat vliv rušení, změny osvětlení způsobené okolím. Proto není vhodné využívat přirozené osvětlení (Slunce) nebo osvětlení v místnosti. Tyto zdroje světla nejsou stabilní a nezajistí nám opakovatelné výsledky. [3][10]

2.3.1 Geometrie osvětlení

Sledovaný objekt můžeme osvětlovat z různých směrů a také můžeme volit buď bodové nebo rozptýlené světlo. Rovnoběžné paprsky světla nám objekt osvětlí více a zvýrazní stíny, rozptýlené světlo rovnoměrně osvětluje povrch objektu a nevznikají výrazné stíny a odrazy. [10][11]

2.3.1.1 Přední osvětlení s jasným obrazovým polem

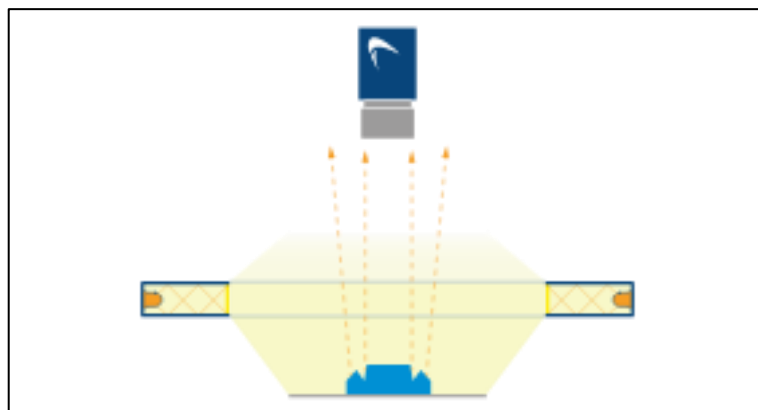
Osvětlovač je umístěn tak, aby se světlo odráželo od objektu přímo na snímač obrazu (Obr. 9). Nejčastěji se využívá rozptýleného světla a kontrast se získává z rozdílné absorpce. Směřované světlo se používá pro vytvoření kontrastu lesklých ploch. Tento typ osvětlovače je vhodný pro objekty s matným nebo málo lesklým povrchem. [10][11]



Obr. 9 Přední osvětlení s jasným obrazovým polem[11]

2.3.1.2 Přední osvětlení s temným zorným polem

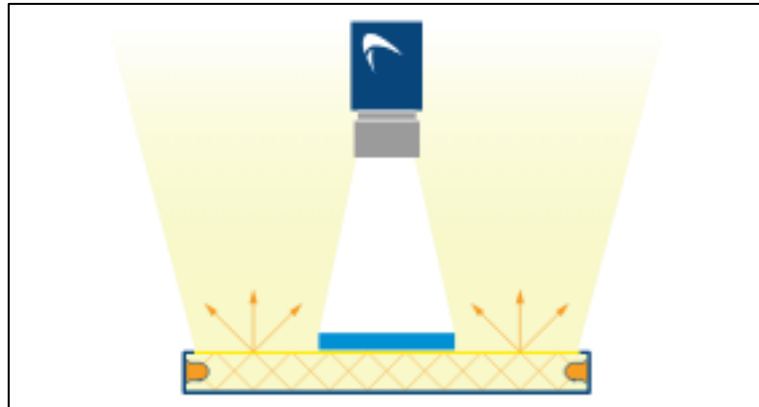
Objekt je nasvícen, aby jeho členité části odráželi světlo do objektivu a zbytek povrchu odrážel světlo mimo objektiv snímače (Obr. 10). Touto metodou nám vznikne obraz s vysokým kontrastem v místech nerovností na povrchu objektu. [10][11]



Obr. 10 Přední osvětlení s temným zorným polem [11]

2.3.1.3 Zadní osvětlení

Objekt je umístěn mezi kamerou a osvětlovačem, díky čemuž nám vznikne obraz s vysokým kontrastem u hran objektu (Obr. 11). Typické využití je pro měření rozměrů, detekce přítomnosti objektu nebo rozpoznání objektu. [10][11]



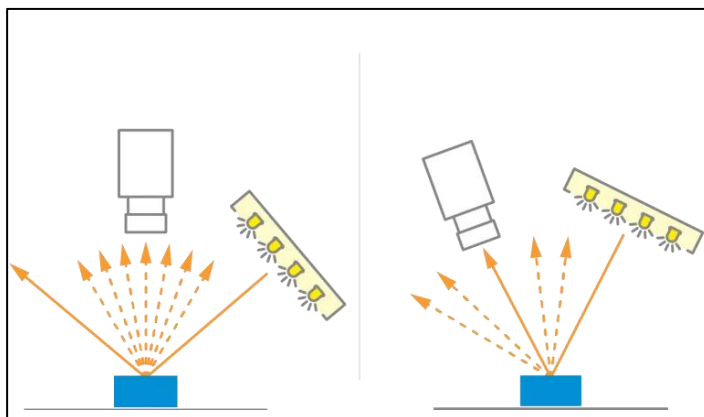
Obr. 11 Zadní osvětlení[11]

2.3.2 Typy osvětlovačů

Existuje mnoho typů osvětlovačů pro různé způsoby osvětlení. Nejčastěji se používá jako zdroj světla diody LED, které mají dlouhou životnost, vysokou účinnost, možnost rychlého vypínání a spínání, snadné regulace a produkují světlo s úzkým vlnovým rozsahem. Díky těmto vlastnostem se používá jiný typ osvětlení pouze zřídka. [10]

2.3.2.1 Plošná osvětlovací pole

Plošná osvětlovací pole poskytují směrované světlo, nejčastěji se používají pro osvětlení s temným zorným polem. Je možné těmito osvětlovači nahradit i osvětlovače nákladnější pro osvětlení s rozptýleným světlem a jasným obrazovým polem u nenáročných úloh. Na Obr. 14 je ukázka osvětlovače od firmy Basler a na Obr. 12 je zobrazena vzájemná poloha osvětlovače, kamery a sledovaného objektu. V Obr. 13 a Obr. 15 lze vidět efekt osvětlení na sledovaném objektu. [10][12]



Obr. 12 Rozložení prvků při použití plošného osvětlovacího pole[12]



Obr. 13 Kovový objekt před nasvícením [13]



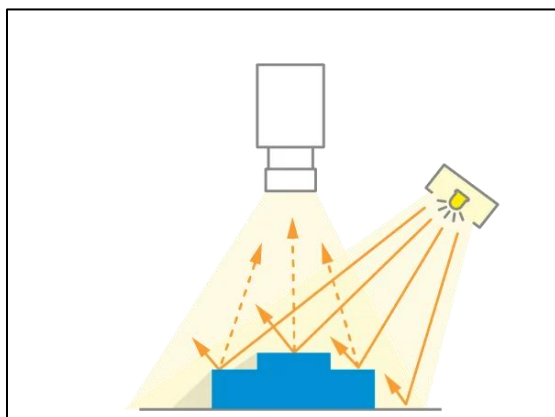
Obr. 14 Plošné osvětlovací pole[12]



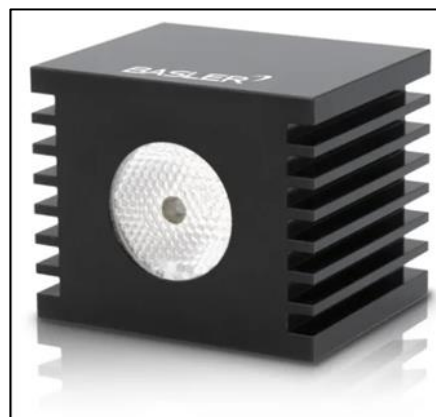
Obr. 15 Kovový objekt po osvětlení plošným osvětlovacím polem [13]

2.3.2.2 Bodové osvětlovače

Mají podobné využití jako plošné osvětlovací pole, používají se na delší vzdálenosti, když není dostatečné místo pro instalaci světla blíže objektu. Na Obr. 17 je ukázka osvětlovače od firmy Basler a na Obr. 16 je zobrazena vzájemná poloha osvětlovače, kamery a sledovaného objektu. Efekt osvětlení je stejný jako u plošného osvětlovacího pole. [12]



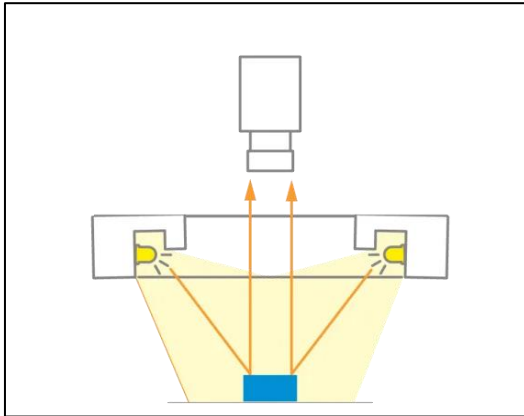
Obr. 16 Rozložení prvků při použití bodového osvětlovače[12]



Obr. 17 Bodový osvětlovač[12]

2.3.2.3 Kruhové osvětlovače

Tyto osvětlovače produkují rozptýlené světlo směřující od objektivu kamery. Často se jedná o jednoduchý kruh LED okolo objektivu kamery, který se používá pro osvětlení s jasným obrazovým polem. Na Obr. 20 je ukázka osvětlovače od firmy Basler a na Obr. 18 je zobrazena vzájemná poloha osvětlovače, kamery a sledovaného objektu. V Obr. 19 a Obr. 21 lze vidět efekt osvětlení na sledovaném objektu. [10][12]



Obr. 18 Rozložení prvků při použití kruhového osvětlovače [12]



Obr. 19 Kovový objekt před nasvícením [13]



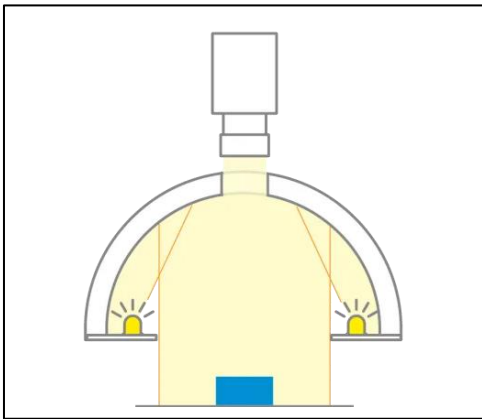
Obr. 20 Kruhový osvětlovač [12]



Obr. 21 Kovový objekt po osvětlení kruhového osvětlovače [13]

2.3.2.4 Kopulové osvětlovače

Kopulové osvětlovače se používají pro osvětlení s velmi rozptýleným světlem vytvořeným pomocí diod LED v kruhu, které svítí do polokoule, kde se difuzně odrazí na objekt. Díky tomu rozptýlení tento typ osvětlení skoro neprodukuje stíny. Na Obr. 24 je ukázka osvětlovače od firmy Basler a na Obr. 22 je zobrazena vzájemná poloha osvětlovače, kamery a sledovaného objektu. V Obr. 23 a Obr. 25 lze vidět efekt osvětlení na sledovaném objektu. [10][12]



Obr. 22 Rozložení prvků při použití kopulového osvětlovače[12]



Obr. 23 Kovový objekt před nasvícením [13]



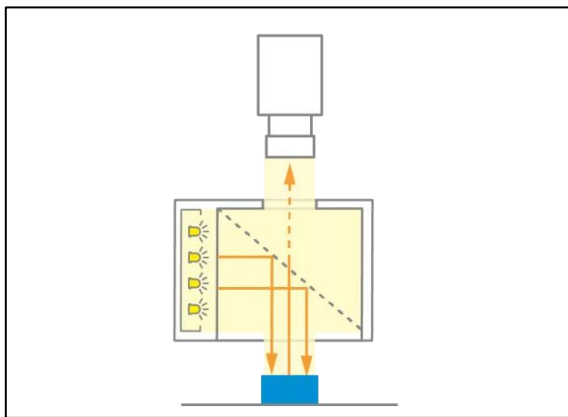
Obr. 24 Kopulový osvětlovač [12]



Obr. 25 Kovový objekt po osvětlení kopulovým osvětlovačem [13]

2.3.2.5 Osvětlovače DOAL

Osvětlovač DOAL (Diffused ON Axis Lighting) nebo také coaxiální osvětlovač používá polopropustné zrcadlo pro rovnoměrné osvětlení plochy nad objektem včetně prostoru před kamerou. Kvůli této konstrukci mají vyšší cenu a menší zorné pole. Na Obr. 28 je ukázka osvětlovače od firmy Basler a na Obr. 26 je zobrazena vzájemná poloha osvětlovače, kamery a sledovaného objektu. V Obr. 27 a Obr. 29 lze vidět efekt osvětlení na sledovaném objektu. [10][12]



Obr. 26 Rozložení prvků při použití coaxiálního osvětlovače[12]



Obr. 27 Kovový objekt před nasvícením [13]



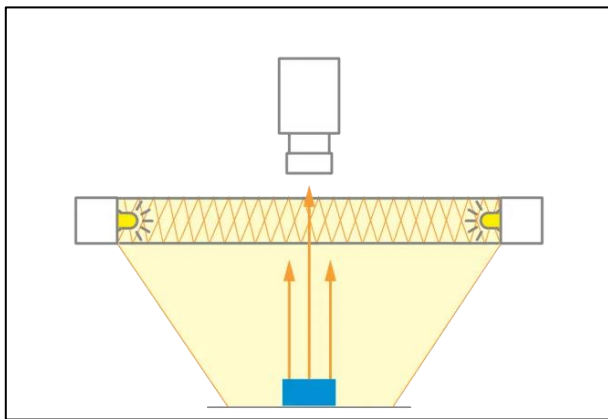
Obr. 28 Coaxiální osvětlovač [12]



Obr. 29 Kovový objekt po osvětlení coaxiálním osvětlovačem [13]

2.3.2.6 Osvětlovače dark-field

Mají podobnou konstrukci jako kruhové osvětlovače, rozdíl je v tom, že světlo není směřované na objekt, ale v rovině kolmé k objektivu kamery. Nejčastěji se využívají pro detekci hran, inspekci gravírování nebo vypálených značek. Na Obr. 32 je ukázka osvětlovače od firmy Basler a na Obr. 30 je zobrazena vzájemná poloha osvětlovače, kamery a sledovaného objektu. V Obr. 31 a Obr. 33 lze vidět efekt osvětlení na sledovaném objektu. [10][12]



Obr. 30 Rozložení prvků při použití osvětlovače dark-field[12]



Obr. 31 Kovový objekt před nasvícením [13]



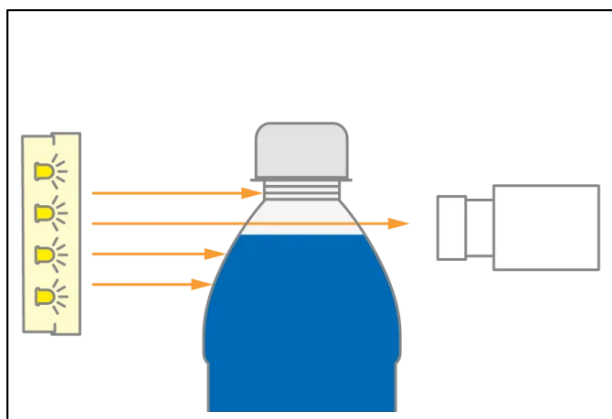
Obr. 32 Osvětlovač dark-field [12]



Obr. 33 Kovový objekt po osvětlení dark-field osvětlovačem [13]

2.3.2.7 Osvětlovače backlight

Velmi často používaný typ osvětlení, kdy diody LED jsou umístěny naproti objektivu kamery a sledovaný objekt je umístěn mezi osvětlením a kamerou. Touto metodou získáme jasný obrys objektu. Na Obr. 36 je ukázka osvětlovače od firmy Basler a na Obr. 34 je zobrazena vzájemná poloha osvětlovače, kamery a sledovaného objektu. V Obr. 35 a Obr. 37 lze vidět efekt osvětlení na sledovaném objektu. [10][12]



Obr. 34 Rozložení prvků při použití osvětlovače backlight[12]



Obr. 35 Žárovka před nasvícením [13]



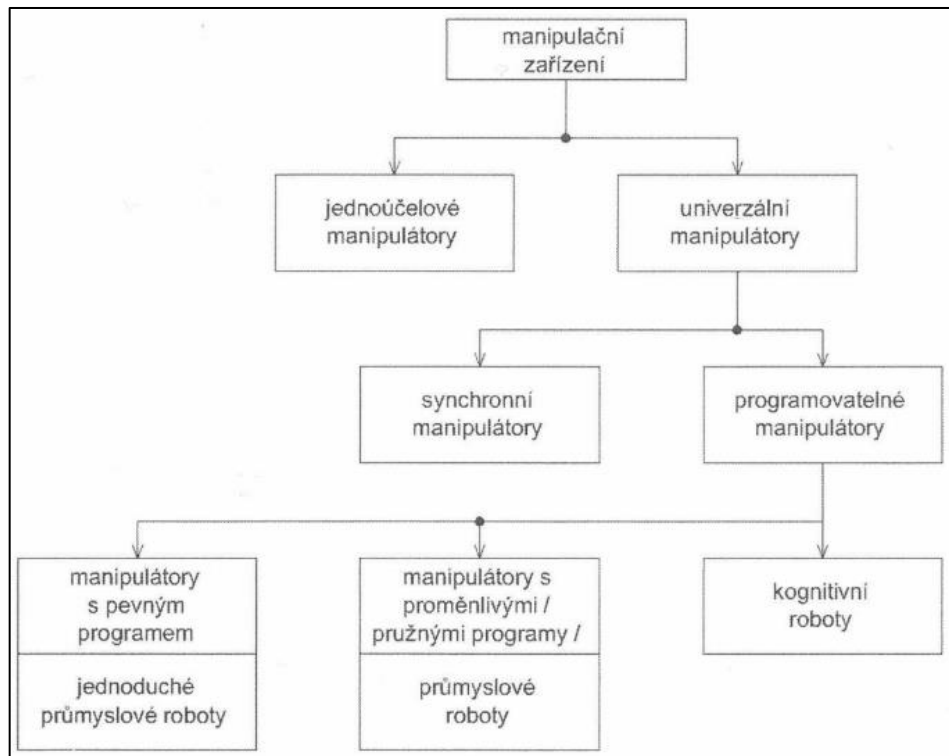
Obr. 36 Osvětlovač backlight [12]



Obr. 37 Kovový objekt po osvětlení backlight osvětlovačem [13]

3 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY

Průmyslové roboty jsou součástí manipulačních systémů, které zastávají funkci člověka u výrobního stroje a umožňují vznik plně automatizovaných továren. Průmyslové roboty jsou základem flexibilních automatických výrobních a montážních linek. [14]



Obr. 38 Rozdělení manipulačních zařízení [14]

Jednoučelové manipulátory jsou určeny k opakované a dlouhodobé manipulaci u jednoúčelových strojů. Tyto manipulátory mohou být mechanicky velmi složité s mnoha stupni volnosti. [14]

Synchronní manipulátory pracují synchronně s operátorem, jsou vybavená řídicím systémem „Master-Slave“, který předává podněty operátora manipulačnímu zařízení. Většinou se jedná o teleoperátory a průmyslové balancery, které bez přítomnosti člověka nepracují. [14]

Průmyslové roboty podle rozdělení spadají pod programovatelné manipulátory (Obr. 38) a kvůli různorodosti současných průmyslových robotů se dále dělí na jednotlivé generace. [14]

3.1 Generace robotů

Průmyslové roboty 1. generace – jsou programovatelné roboty vykonávající operace s pevně naprogramovaným postupem. Jejich program lze lehce změnit, a proto mají univerzální použití pro různé druhy úkolů. Nejčastější využití je pro tzv. „pohybové aplikace“ (pick and place).[14]

Průmyslové roboty 1,5. generace – jsou roboty, které využívají jednoduchých senzorů pro aplikace „udělej a ověř“ (make and test).[14]

Průmyslové roboty 2. generace – roboty s větším sortimentem a počtem senzorů, jak vnějších (optických, hmatových aj.), tak vnitřních (tlakových, polohy, momentů aj.), složitějším řízením a k jejich činnosti je zapotřebí řídicího počítače.[14]

Průmyslové roboty 2,5. generace – vykonávají komplexní „perceptuálně-motorické“ (vnímatelně-pohybové) funkce.[14]

Průmyslové roboty 3. generace – jsou inteligentní roboty a oproti robotům 2. generace se liší složitostí a složitostí řídicího systému, zahrnující prvky umělé inteligence. Jejich charakteristickou vlastností je schopnost učení a adaptace v procesu. [14]

3.2 Vlastnosti robota

Robot je zařízení, které má většinu charakteristických vlastností:

Schopnost manipulace, robot je schopen uchopovat a přenášet objekty, montážní práce, manipulace s nástroji.[14]

Univerzálnost, program robota je možné změnit, možnost výměny koncového efektoru pro jiné použití na jiném pracovišti.[14]

Vazba s prostředím, robot je opatřen senzory pro napodobení smyslů člověka, jako je zrak, sluch a hmat, nebo jiných senzorů pro příjem informací, které člověk nevnímá.[14]

Autonomnost, schopnost robota vykonávat složitou posloupnost úkolů podle programu. Programy mohou být pevné, volitelný operátorem, nebo upravitelný samotným robotem.[14]

Integrovanost, možnost spojit jednotlivé složky do jednoho celku, řídicí systém v celku být nemusí, protože může robota řídit i bezdrátově. Takto integrovaného robota do jednoho celku je jednodušší transportovat nebo využít pro mobilní účely. [14]

3.3 Subsystémy robotů

Průmyslové roboty představují integrovaný kybernetický systém, který se skládá ze tří subsystémů, a to vnímacího, řídicího a rozhodovacího a akčního. [14]

Vnímací (senzorický) subsystém poskytuje vazbu s prostředím robota. Obsahuje senzory pro sledování vnitřních a vnějších informací. [14]

Řídicí a rozhodovací subsystém zpracovává informace přicházející z vnímacího subsystému a ukládá je do paměti, z které jsou následně zpracovány pro rozhodování pohybu robota. Subsystém se stará o vytváření, reprodukci, zapamatování a vykonávání programu. Roboty 3. generace navíc obsahují tzv. supervizor, který je nadřazený všem subsystémům a koordinuje jejich činnost. [14]

Akční podsystém slouží k ovlivňování prostředí. Umožňuje pohyb robota a ovládá koncové efektory. Tyto pohyby jsou realizovány rotačními nebo lineárními (posuvnými) akčními členy, které mohou být elektrické, hydraulické nebo pneumatické. [14]

3.4 Parametry robotů

Při výběru manipulátorů a průmyslových robotů se rozhoduje mezi jejich parametry, tyto základní parametry určují oblast jejich využití. [14]

Morfologie robota je dána jeho kinematickou strukturou, hlavní veličinou je počet stupňů volnosti (běžně 5 až 6), které určují manipulační a pohybové schopnosti robota.[14]

Vlastní velikost a hmotnost jsou určeny konstrukcí a využitím robota, snaha o co nejnižší hmotnost a velikost pohybujících se částí robota při zachování pevnosti a tuhosti robota.[14]

Velikost obsluhovaného prostoru je určena velikostí robota, jeho kinematické struktury a limitech jednotlivých kloubů. Kinematická struktura také určuje tvar tohoto prostoru.[14]

Hmotnost břemene určuje hmotnost manipulovaného předmětu. Do tohoto parametru započítává i hmotnost koncového efektoru, takže výsledná hmotnost manipulovatelného břemene je vždy nižší.[14]

Dosahovaná přesnost je důležitým parametrem a udává opakovatelnou přesnost nastavení polohy, u běžných robotů to je v rozmezí 1 až 5 mm, ale je možné dosáhnout i vyšších přesností, až 0,01 mm. Přesnost je také závislá na zatížení robota.[14]

Rychlost pohybu je závislá na druhu pohonu, zatížení robota a požadované přesnosti. Větší zatížení robota způsobí delší dobu k dosažení maximální rychlosti a zároveň přesnosti.[14]

Způsob pohonu, existuje pět základních typů pohonů, a to mechanické, pneumatické, hydraulické, elektrické a kombinované.[14]

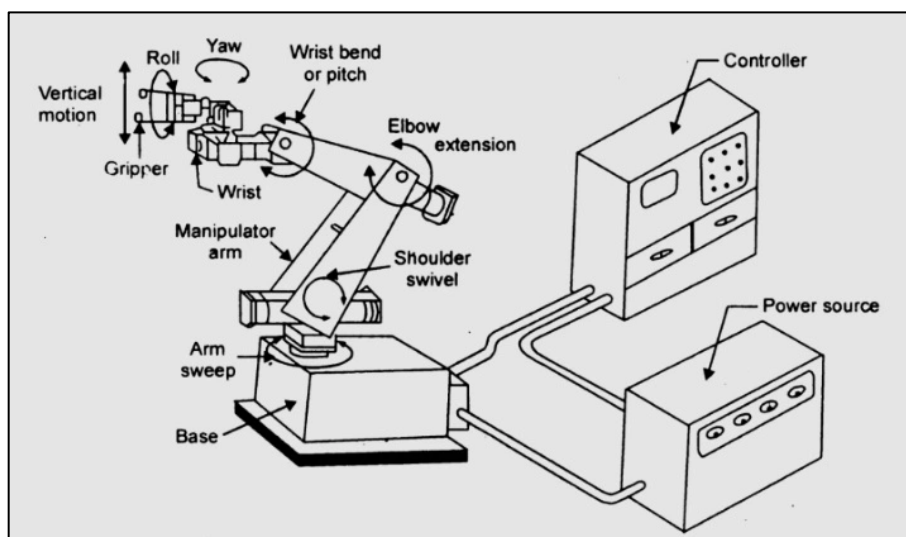
Způsob a rozsah vnímání je dán senzorem výbavou robota a odpovídá jednotlivým generacím robotů.[14]

Způsob řízení a komunikace s okolím určuje řídicí subsystém a jeho hardwarové a softwarové vybavení.[14]

Autonomnost robota je stanovena výsledkem celkového propojení všech prvků akčního a kognitivního systému. [14]

3.5 Součásti a mechanismy robotického systému

Robotické manipulátory jsou tvořeny tuhými články spojenými klouby, které vytvářejí kinematický řetězec. Robotický systém se skládá z manipulátoru, kontroléru a softwaru. Jednotlivé části lze vidět na Obr. 39 a popsány níže. [15]



Obr. 39 Součásti robotického systému [16]

3.5.1 Článek

Články jsou tuhá tělesa, která tvoří samotného robota a pohybují se vzhledem k ostatním článkům. Někdy se používá i pojem rameno robota. [15]

3.5.2 Kloub

Klouby tvoří propojení mezi články, umožňují vzájemný pohyb článků, který může být buď rotační nebo translační (lineární). Dále se klouby dělí na aktivní a pasivní, kdy aktivní klouby obsahují akční člen, který kloubem pohybuje. Pohyb pasivních kloubů je určen geometrií ramen robota a aktivními klouby. [15]

3.5.3 Zápěstí

Soustava kloubů a článků mezi předloktím a koncovým efektozem, který je nejčastěji realizován sférickým zápěstím, které má rotačními klouby, jejichž osy se protínají ve společném bodě. Sférické zápěstí může mít jeden, dva nebo tři stupně volnosti podle počtu kloubů. [15]

3.5.4 Koncový efektor

Zařízení připojené na posledním článku robota, které provádí požadovanou činnost. Koncové efektozy se dělí podle typu vykonávané práce. Mohou to být úchopné hlavice s prsty, nebo přísavkami nebo různé nástroje na svařování, nýtování, řezání, šroubování. [15]

3.5.5 Akční členy

Poskytují samotný pohyb robota, jsou umístěny v jednotlivých kloubech a mohou být elektrické, hydraulické nebo pneumatické. [15]

3.5.6 Senzory

Poskytují nám informace o stavech robota, jako například polohu jednotlivých kloubů, rychlost pohybu, zrychlení. Senzory jsou integrované v robotovi a posílají informace řídicí jednotce. [15]

3.5.7 Kontroler

Také řídicí jednotka je složena z procesoru a softwaru a má tři úlohy:

- Informační – sbírá a zpracovává informace ze senzorů
- Rozhodovací – řídí geometrický pohyb robota
- Komunikační – organizuje informace mezi robotem a okolím [15]

3.6 Aplikace průmyslových robotů

Průmyslového robota lze využít v široké škále aplikací, které pomáhají zlepšit efektivitu, konzistenci a produktivitu celého výrobního procesu. [17]

3.6.1 Pick and Place

Pick and place je proces, který zahrnuje výběr předmětů z jednoho místa a jejich umístění na jiné místo. Tento proces je často prováděn pomocí robotického systému nebo automatizovaného zařízení a je běžně používán v průmyslových prostředích, jako je výroba elektroniky, balení, montáž a manipulace s díly. Pick and place je důležitý proces pro automatizaci průmyslových operací, protože umožňuje rychle a přesně manipulovat s různými předměty. [17]

3.6.2 Bin picking

Bin picking je proces, kde robot nebo automatizovaný systém vybírá různě orientované předměty z kontejneru a umísťuje je na určené místo nebo je manipuluje podle potřeby. Tento proces je často používán v průmyslových prostředích, jako je výroba, logistika nebo sklady, kde je potřeba efektivně manipulovat s různými předměty. [17]

3.6.3 Výrobní operace

Výrobní operace jako svařování, řezání, vrtání a lepení jsou typické aplikace průmyslových robotů. Tyto operace mohou být automatizovány pomocí průmyslových robotů s cílem zvýšit produktivitu, zlepšit kvalitu výroby a snížit náklady na pracovní sílu. [17]

3.6.4 Balení a paletizace

Průmysloví roboti jsou často využíváni k automatizaci procesů balení a paletizace. Mohou přesně balit výrobky do obalů nebo krabic a následně je uspořádat na palety podle specifikací. [17]

3.7 Programování robotů

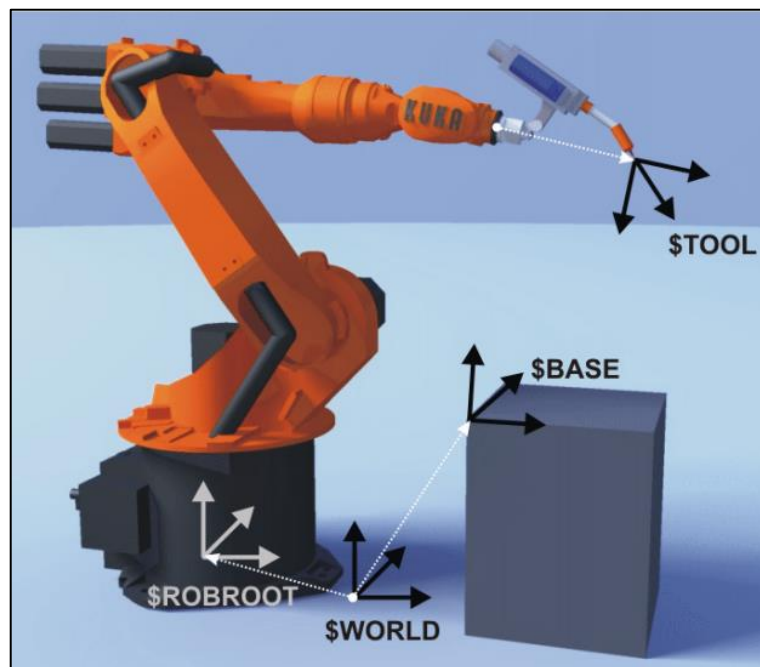
Průmyslové roboty je možné programovat dvěma způsoby, a to pomocí online nebo offline programování. Nejpoužívanější metodou je online programování, kdy se programuje na pracovišti robota pomocí ručního ovládacího panelu (teach-pendant) nebo připojeného PC s příslušným softwarem. Při tomto typu programování navádíme robota a

zaznamenávají se jeho jednotlivé pozice. V off-line programování využíváme softwarových nástrojů pro programování, které jsou schopny vytvořit 3D simulaci pracoviště, kde definujeme jednotlivé pohyby robota a následně program exportujeme a nahrajeme do řídicího systému robota. [14]

Pro ruční ovládání robota se využívá dvou režimů, a to osově specifický pohyb, který nám umožňuje pohybovat jednotlivými klouby. Druhým způsobem je pohyb v kartézských souřadných systémech, kdy pohybujeme robotem ve zvoleném kartézském souřadném systému. [14]

3.7.1 Souřadné systémy robotů

Při programování robotů využíváme několika souřadných systémů, především kartézských, které nám ulehčí práci při tvorbě programu. Názvy těchto souřadných systémů má každý výrobce jiné, ale většina výrobců používá tři základní typy souřadných systémů, které lze vidět na Obr. 40. [14]



Obr. 40 Souřadné systémy robotů[18]

3.7.1.1 Světový souřadný systém (*World Coordinate System*)

Základní souřadný systém nám označují polohu základny robota neboli patu robota. K tomuto systému patří souřadný systém paty robota. Počátek světového souřadného systému se může nacházet v patě robota, záleží na výrobcí. [14]

3.7.1.2 Souřadný systém báze (*Base Coordinate System*)

Tento souřadný systém je definován uživatelem, používá se k určení polohy konkrétních objektů, s kterými robot pracuje vzhledem ke světovému souřadnému systému. Tyto systémy lze většinou definovat pomocí tří bodů a značně nám ulehčí práci při programování. [14]

3.7.1.3 Souřadný systém nástroje (*Tool Coordinate System*)

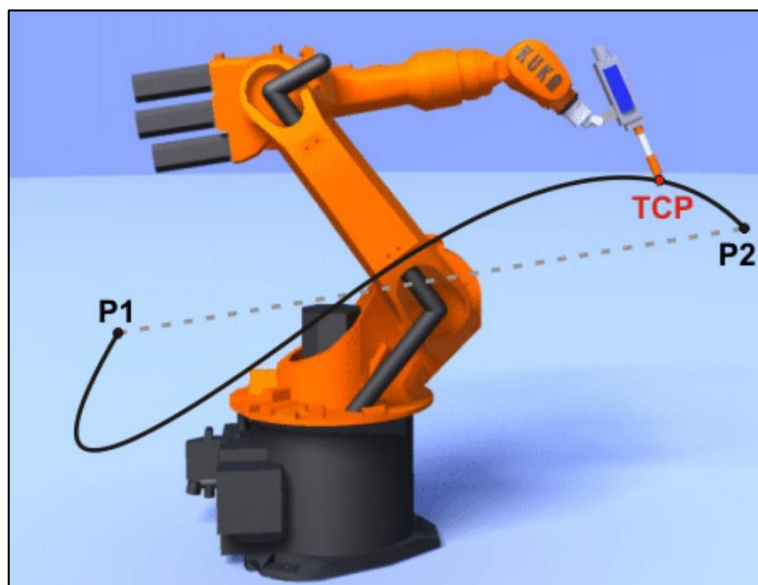
Umístěn na koncovém efektoru ramene, většinou v části, která provádí samotnou práci, v tzv. TCP (Tool Centre Point). [14]

3.7.2 Typy pohybů

Určují trajektorii koncového efektoru mezi dvěma body, existují tři hlavní typy. [14]

3.7.2.1 Obecný pohyb

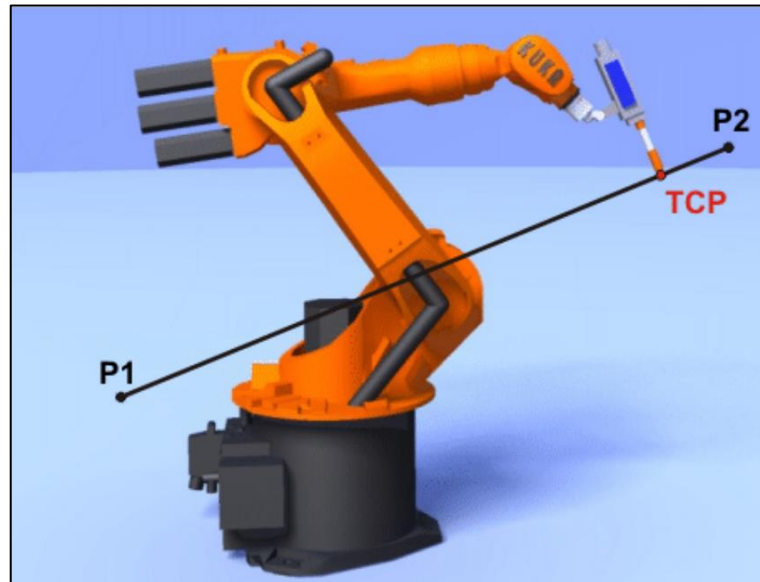
Nejrychlejší druh pohybu, robot vykoná pohyb po co nejmenší dráze v prostoru kloubových souřadnic. Kvůli tomu, že většina robotů používá rotační osy, tak výsledná trajektorie koncového efektoru není přímka, ale různě zakřivená dráha (Obr. 41). Nejkratší dráha je tedy určena nejmenší změnou polohy os robota. Tento typ pohybu se používá pro pomocné polohy, nebo kde nehrozí žádné kolize. [14]



Obr. 41 Obecný pohyb[18]

3.7.2.2 Lineární pohyb

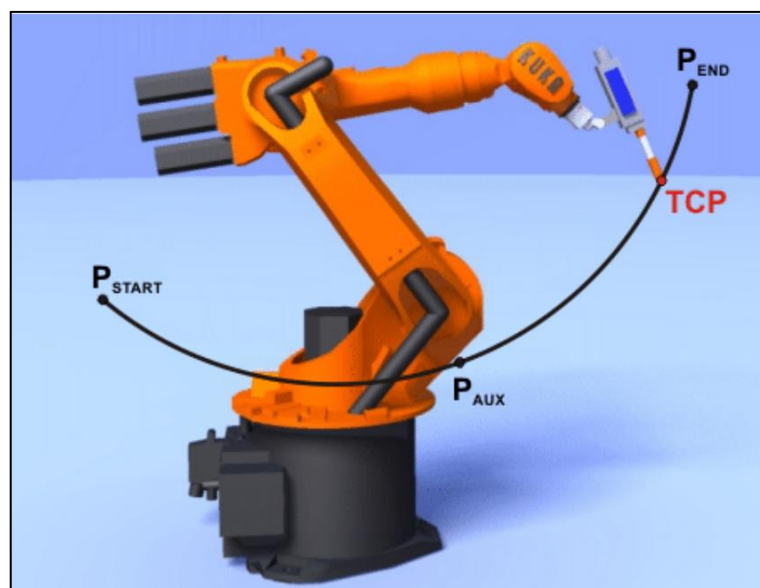
Pohyb koncového efektoru v kartézském souřadném systému po přímce mezi dvěma body s konstantní rychlostí (Obr. 42). [14]



Obr. 42 Lineární pohyb [18]

3.7.2.3 Kruhový pohyb

Koncový efektor se pohybuje po kruhové dráze v kartézském souřadném systému mezi dvěma body konstantní rychlostí. Je zde definován i pomocný bod, který nám udává radius kruhové dráhy (Obr. 43). [14]



Obr. 43 Kruhový pohyb[18]

3.8 Kinematika průmyslových robotů

Při práci s robotem nás nejvíce zajímá poloha koncového efektoru vzhledem k základně robota. Oba z těchto objektů mají svůj kartézský souřadnicový systém a jejich vztah lze popsat pomocí jejich vzájemné pozice a orientace, tedy 6 stupňů volnosti. Tyto parametry jsou ovlivňovány pomocí kloubových souřadnic jednotlivých robotických ramen (článků) a existuje tedy matematický vztah mezi kloubovými souřadnicemi a polohou koncového efektoru vůči základně robota. [14]

Polohu koncového efektoru robota lze tedy zjistit pomocí natočení jednotlivých kloubů a pro určité hodnoty natočení kloubů existuje pouze jedna poloha koncového efektoru. Výslednou polohu lze zapsat pomocí kartézských souřadnic s počátkem v základně robota. Využíváme tedy dvou prostorů, a to prostor kloubových souřadnic a kartézský prostor koncového efektoru, mezi kterými musíme převádět. [14]

3.8.1 Přímá kinematika

Je to převod z kloubových souřadnic do kartézských souřadnic. Tento převod je matematicky jednoznačný, protože existuje pouze jedno řešení. Kouby průmyslových robotů jsou většinou rotační nebo translační s jedním stupněm volnosti. Pokud v každém kloubu definujeme souřadný systém, který má jednu osu shodnou s jeho stupněm volnosti můžeme vytvářet transformace mezi jednotlivými souřadnými systémy a získat celkovou transformaci mezi souřadným systémem základny a koncového efektoru. [14]

3.8.2 Inverzní kinematika

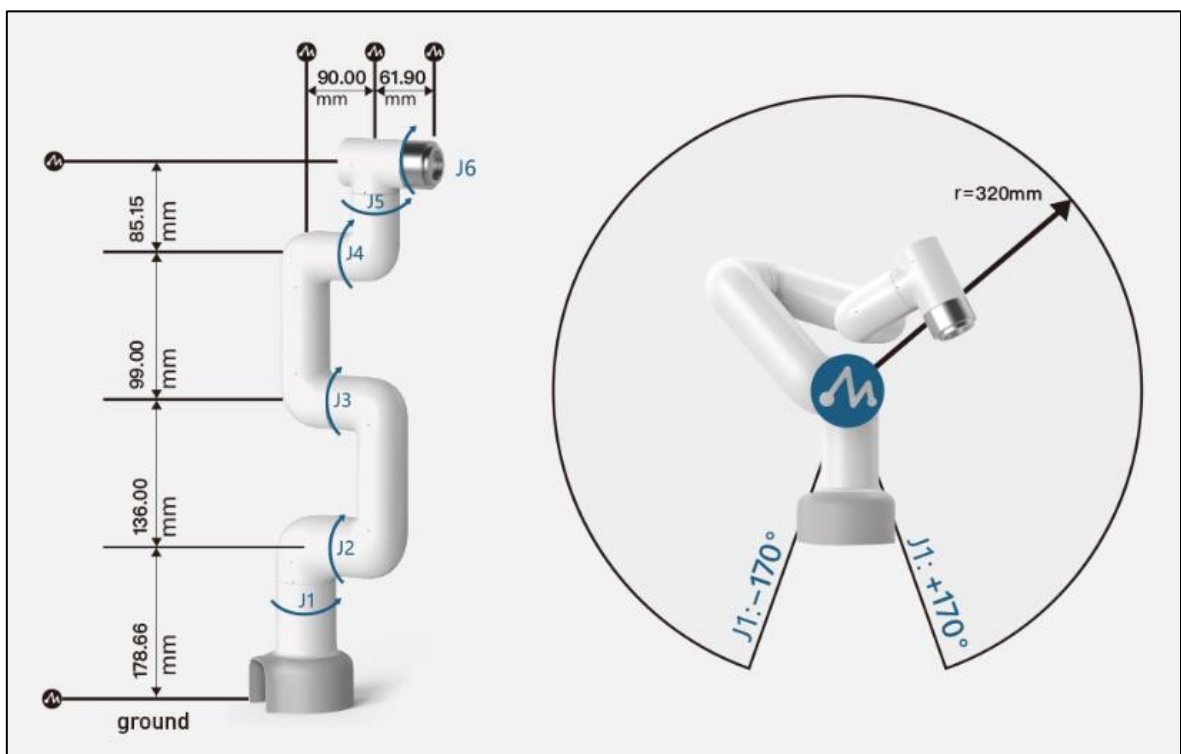
U inverzní kinematiky zjišťujeme kloubové souřadnice pro danou polohu koncového efektoru. Tato úloha je složitější, protože pro jednu polohu koncového efektoru může existovat několik řešení v podobě natočení jednotlivých kloubů. Také nemusí existovat žádné řešení. Úloha se dá řešit dvěma způsoby, a to analyticky, kdy získáme řešení v uzavřeném tvaru s omezujícími podmínkami, nebo numericky iteračním přístupem. Většinou se úloha řeší s přidáním omezujících podmínek, které souvisí s konstrukcí robota a značně úlohu inverzní kinematiky urychlí a dovoluje zpracovávání v reálném čase. Numerický přístup není omezen konstrukcí robota, ale doba řešení úlohy se nedá odhadnout, a proto není vhodná pro řízení pohybu průmyslového robota. [14]

4 ELEPHANT ROBOTICS

Elephant Robotics je čínská firma založena v roce 2016 s vizi „Enjoy Robots World“. V oblasti robotiky se zaměřují na výzkum a vývoj, platformový software a inteligentní výrobní služby. Vyvinuli řadu produktů obsahující vzdělávací, profesionální a humanoidní roboty s nosností od 0,25 do 10 kg. V oblasti vzdělávání dodávají nové řešení, sady pro AI a sady složených robotů pro vzdělávání robotiky. [19]

4.1 MyCobot 320 PI

MyCobot 320 PI je 6-osý kolaborativní robot s hmotností 3 kg a nosností 1 kg a pracovním prostorem s poloměrem 320 mm a opakovatelnou přesností $\pm 0,5$ mm (Obr. 44). Robot je napájen 24V adaptérem. Verze PI je vytvořen ve spolupráci mezi Elephant Robotics a Raspberry PI a obsahuje Raspberry PI 4B jako jeho řídicí jednotku s operačním systémem Ubuntu a s vývojovým prostředím pro Python, ROS, RoboFlow a myBlockly. Díky zabudovanému Raspberry Pi 4B je k dispozici také 12 digitálních vstupů a výstupů spolu se zbytkem konektorů, které obsahuje Raspberry Pi 4B. [19]



Obr. 44 MyCobot 320 PI [19]

4.1.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi je malý jednodeskový počítač s 64bitovým mikroprocesorem z rodiny ARM a výkonnostně je srovnatelný s běžným mobilním telefonem. Nejvíce používaný je model Raspberry Pi 4B (Obr. 45), ale existuje i novější výkonnější model Raspberry Pi 5. Raspberry Pi 4B obsahuje micro-HDMI pro připojení monitoru a USB porty pro připojení myši a klávesnice. Dále je zde USB Typu-C, RJ45, 3,5mm AV jack, 2 konektory pro moduly a 40 pinový GPIO (General-Purpose Input/Output). Operačním systémem je Raspberry Pi OS, který je založen na Operačním systému Debian, ale je možné používat i jiné distribuce Linuxu, který se společně s uložištěm Raspberry nachází na microSD kartě. Díky OS založeném na Linuxu je k dispozici mnoho softwarových aplikací a programovacích jazyků, jako je Scratch, Python, C++ a C#. [20]



Obr. 45 Raspberry PI 4B [20]

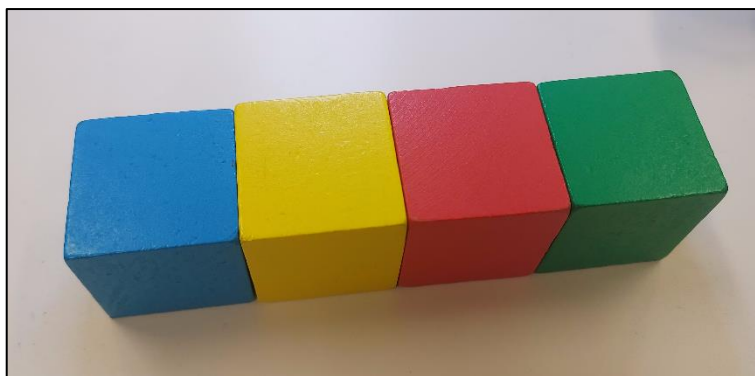
II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 KOMPONENTY PRACOVIŠTĚ

V této kapitole budou popsány jednotlivé části výukového pracoviště, jejich elektrické a programové propojení bude vysvětleno v dalších kapitolách. Pracoviště se skládá ze čtyř hlavních částí: kamery, dopravního pásu, robota a Raspberry Pi 5.

5.1 Snímaný objekt

Snímaným objektem jsou dřevěné krychle různých barev o rozměrech 40 x 40 x 40 milimetrů (Obr. 46). Tyto objekty je nutné v obraze z kamery detekovat, tedy zjistit jejich pozici a orientaci na dopravním páse.



Obr. 46 Snímaný objekt

5.2 Kamerová sestava

Při výběru kamerové sestavy byly potřeba určit její požadavky. Sestava je připevněna nad jednou polovinou dopravního pásu pomocí hliníkových profilů. Kamera je spínána IR senzorem umístěným pod kamerou.

5.2.1 Kamera

Pro snímání obrazu je použita kamera acA4024-29uc od firmy Basler, která byla vybrána kvůli komunikaci a napájení přes USB 3.0, které umožní jednoduché propojení s Raspberry Pi. Nebyly kladeny velké nároky na rozlišení a určení, zda je kamera monochromatická nebo barevná, kvůli jednoduchému tvaru snímaného objektu bez požadavků na určení barvy objektu.



Obr. 47 Kamera Basler ace U acA4024-29uc[21]

Kamera acA4024-29uc je průmyslová kamery z řady ace U. Tyto kamery jsou charakteristické jejich dobrým poměrem cena/výkon, malými rozměry a širokou škálou parametrů. Tato kamera s USB 3.0 rozhraním obsahuje barevný CMOS snímač od společnosti Sony s rozlišením 12,2 megapixelů (4024 x 3036 pixelů) a snímkovací frekvencí 31 snímků za sekundu. Objektiv se připojuje pomocí C-mount. [21]

5.2.2 Objektiv

Pro aplikaci je použit objektiv C125-1620-5M od firmy Basler, který má ohniskovou vzdálenost 16 milimetrů, nastavitelnou clonou v rozsahu F2 – F22 a připojení ke kameře přes C-mount. [22]



Obr. 48 Objektiv C125-1620-5M [22]

5.2.3 Osvětlovač

Byl zvolen kruhový osvětlovač RL-100W120 od české společnosti SmartView, který dostatečně nasvítí celý sledovaný prostor. Osvětlovač není upevněn ke kameře ale ke konstrukci z hliníkových profilů.



Obr. 49 Kruhové světlo RL-100W120[23]

5.2.4 IR senzor

Pro detekci krychle pod kamerou byl použit infračervený senzor E18-D80NK, který má nastavitelnou detekční vzdálenost 3–80 centimetrů pomocí potenciometru a jde jednoduše propojit s Raspberry Pi. [24]



Obr. 50 Infračervený senzor E18-DS80NK[24]

5.3 Dopravní pás

Dopravní pás byl použit od firmy Dobot o délce 600 milimetrů, který je poháněn krokovým motorem a je vybaven i senzorem pro snímání barev, který nebyl v aplikaci

využit, a infračerveným senzorem, který byl využit pro kamerovou soustavu. Pro řízení krokového motoru v dopravním páse byl použit řadič pro krokové motory TB6600.[25]



Obr. 51 Dopravní pás od firmy Dobot[25]



Obr. 52 Řadič pro krokové motory[26]

5.4 Raspberry Pi 5

Pro zpracování obrazu z kamery, řízení dopravního pásu a pro ModBus server byl zvolen mikropočítač Raspberry Pi 5, kvůli jeho výkonu, malé velikosti a snadnému použití. Obsahuje veškerou konektivitu, která je potřeba pro připojení všech komponentů. O Raspberry Pi je napsáno více v kapitole 4.

5.5 MyCobot 320 PI

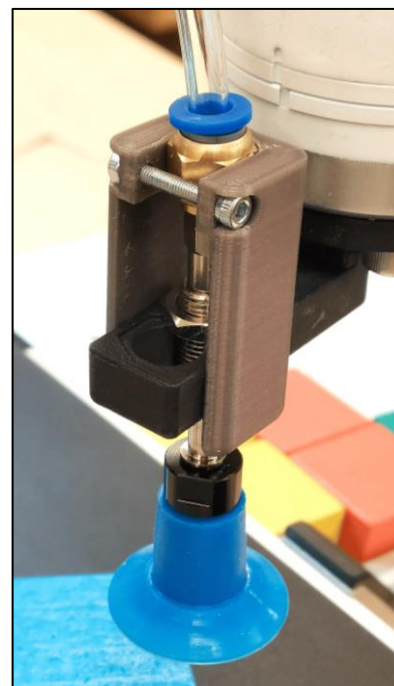
K pick-and-place aplikaci je použit kolaborativní robot MyCobot 320 PI, který již byl popsán v kapitole 4.

5.5.1 Gripper

Pro aplikaci je použit pneumatický gripper, který je součástí základního příslušenství dodávaného spolu s robotem. Gripper obsahuje celkem čtyři přísavky, kdy pro pick and place aplikaci bude použita pouze jedna přísavka pro chycení krychle. Součástí balení je i kompresor a pneumatický obvod pro ovládání gripperu. Pro zamezení rotace přísavky byl vytvořen pomocí 3D tisku fixační element, který samovolné rotaci zabraňuje (Obr. 54).



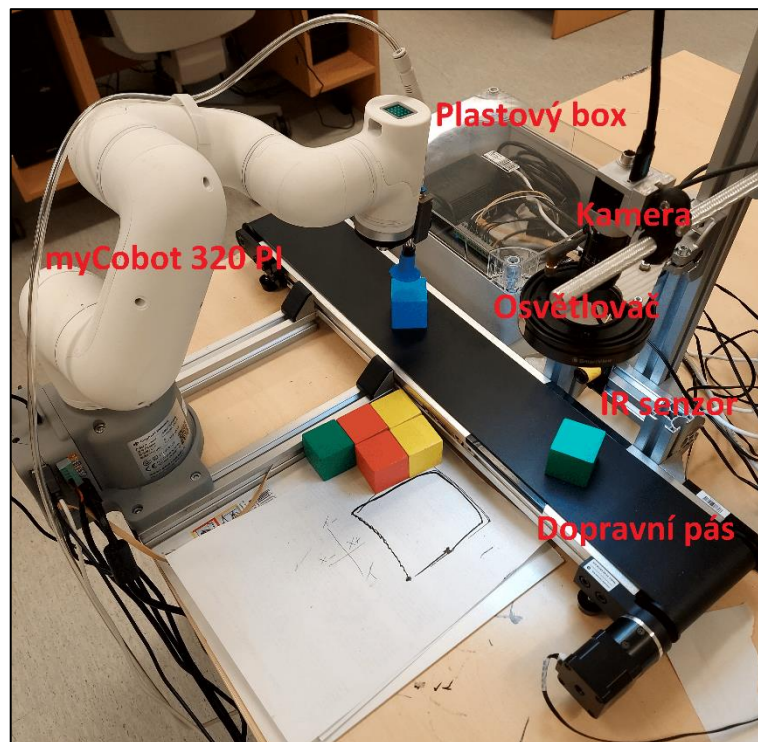
Obr. 53 Pneumatický gripper [19]



Obr. 54 Fixační element

6 ROZLOŽENÍ A KONSTRUKCE PRACOVIŠTĚ

Robot a kamerová sestava jsou připevněny k dopravnímu pásu pomocí hliníkových profilů (Obr. 55). Raspberry Pi 5, řadič pro motor a ethernetový switch jsou umístěny v plastovém boxu vedle dopravního pásu (Obr. 56). Dopravní pás byl rozdělen na dvě oblasti: oblast detekce a na oblast odběru krychlí.



Obr. 55 Pick and Place pracoviště



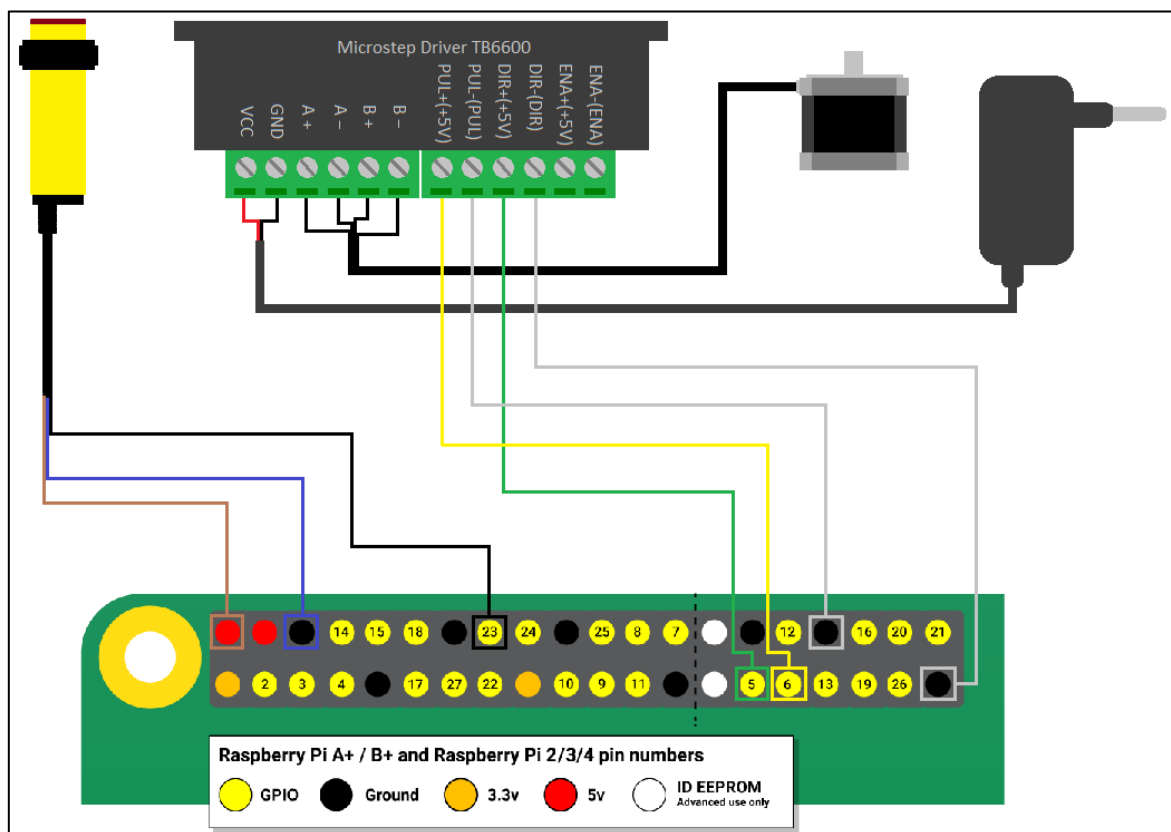
Obr. 56 Plastový box s řídicí elektronikou

6.1 Elektrická zapojení

Napájení robota MyCobot je zajištěno napájecím adaptérem obsaženém v balení. K robotovi je dále připojen monitor, klávesnice a myš. Raspberry Pi 5 je napájeno pomocí 27 W napájecího zdroje, který je dostupný u výrobce. Následující podkapitoly podrobněji popisují jednotlivé elektrické obvody.

6.1.1 Zapojení GPIO Raspberry Pi 5

Infračervený senzor a řadič motoru jsou připojeny k GPIO konektoru pomocí M-F kabelů DuPont. Infračervený senzor potřebuje napájení 5 V, které je zajištěno z konektoru GPIO. Řadič motoru vyžaduje napájecí napětí v rozmezí 9-42 V. Pro tento účel byl zvolen 24 V síťový adaptér. Do pinů A a B na řadiči motoru jsou připojeny jednotlivé pólové dvojice krokového motoru.



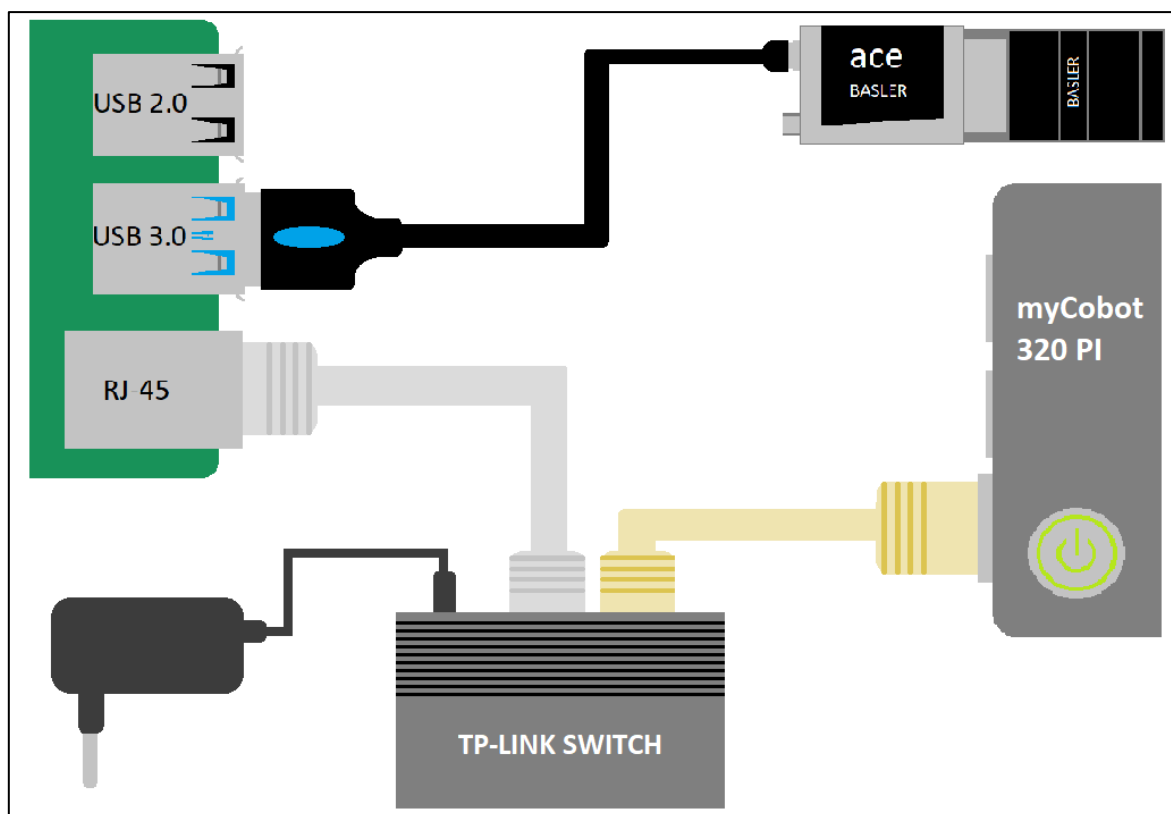
Obr. 57 Zapojení GPIO Raspberry Pi 5

Raspberry Pi 5	IR senzor	Microstep Driver TB6600
5 V	5VDC	
Ground	GND	DIR-(DIR), PUL-(PUL)
GPIO 5		DIR+(+5V)
GPIO 6		PUL+(+5V)
GPIO 23	OUT	

Tab. 1 Zapojení pinů GPIO

6.1.2 Zapojení předního panelu Raspberry Pi 5

Z předního panelu Raspberry Pi 5 je využíván pouze jedno USB 3.0 pro připojení kamery a RJ-45 pro funkci ModBus protokolu. Ethernetový switch je připojen na školní síť a na něj je připojen také robot a Raspberry Pi 5.



Obr. 58 Zapojení předního panelu Raspberry Pi 5

6.1.3 Připojení gripperu k robotovi

Pneumatický gripper je připojen na pneumatický obvod, který je napájen 12 V z robota a řízen pomocí pinu OUT4 na robotovi. Stlačený vzduch je dodáván kompresorem.

7 KALIBRACE KAMERY A ROBOTA

Pro zajištění přesného a spolehlivého odebírání krychlí z dopravního pásu je potřeba provést kalibraci souřadných systémů kamery a robota.

7.1 ArUco značky

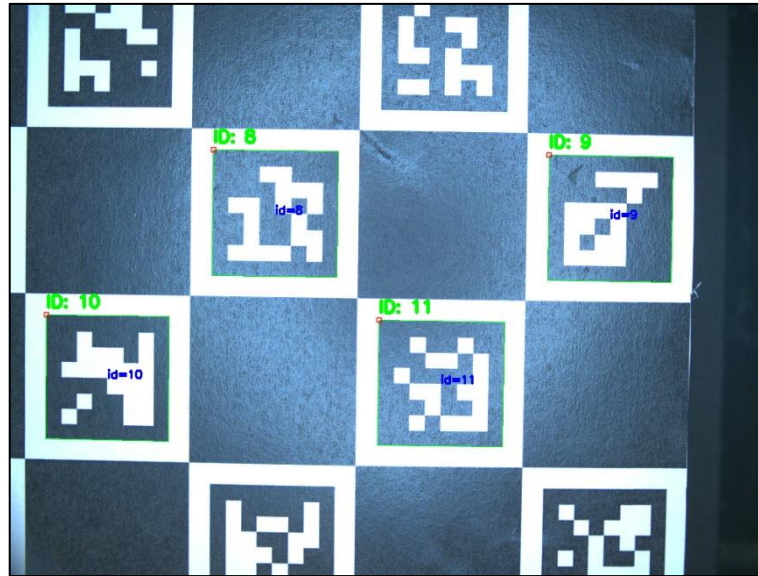
ArUco značky jsou typ vizuálních značek používaných v oblasti počítačového vidění, tyto značky se často používají pro kalibraci kamer, lokalizaci a sledování objektů. Značky se skládají z černých a bílých čtverečků uspořádaných do unikátní struktury, která umožňuje snadnou identifikaci pomocí kamery.

7.2 Kalibrace kamery

Po umístění ArUco značek ve výšce krychlí byla provedena kalibrace souřadných systémů kamery a dopravního pásu. Pro úspěšnou kalibraci bylo potřeba zjistit souřadnice rohů ArUco značek v systému kamery a dopravního pásu. Souřadnice značek na dopravním páse byly zjištěny změřením jejich vzdálenosti od počátku souřadného systému pásu. Pro získání souřadnic v systému kamery byl využit modul aruco v knihovně opencv a příkaz `cv2.aruco.detectMarkers()` (Obr. 59). Ze získaných souřadnic bylo následně potřeba vypočítat transformační matici H pomocí příkazu `cv2.findHomography()`, které umožňuje transformaci souřadnic ze souřadného systému snímku do souřadného systému pásu. Program pro kalibraci je uložen pod názvem: ArUco_Calibration.py.

Výsledná transformační matice H :

$$H = \begin{bmatrix} 8,0481 \times 10^{-2} & -1,5687 \times 10^{-2} & 2.2880 \times 10^1 \\ -2,8581 \times 10^{-5} & 5,7499 \times 10^{-2} & 4,7402 \times 10^1 \\ 1.3444 \times 10^{-5} & -3.2400 \times 10^{-4} & 1.000 \end{bmatrix}$$



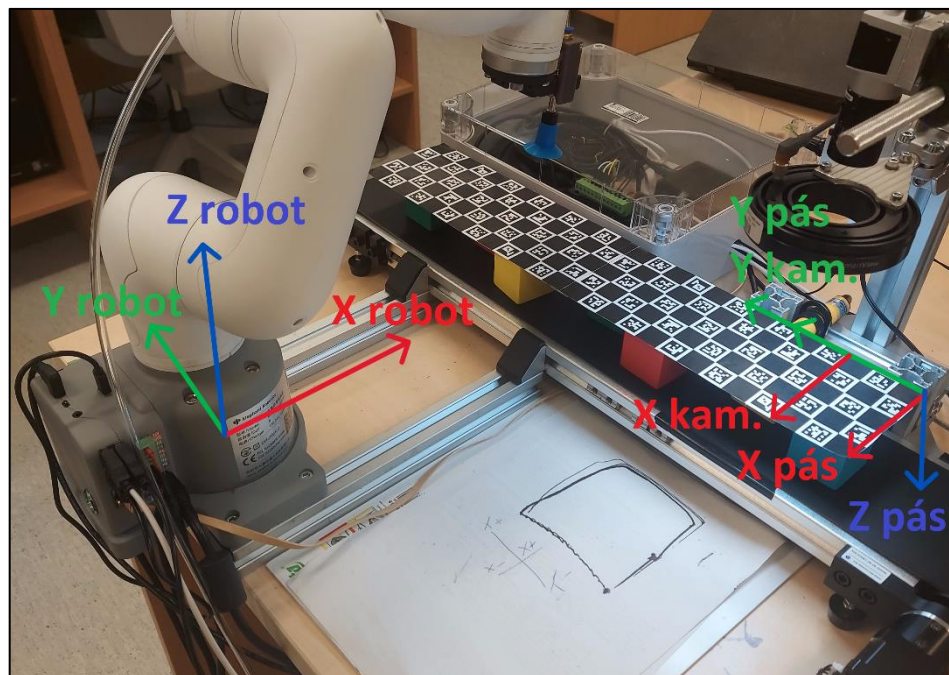
Obr. 59 Snímek z kamery při kalibraci pomocí ArUco značek

7.3 Kalibrace souřadných systémů kamery a robota

Souřadné systémy dopravního pásu a robota mají společnou jednotku, 1 milimetr, což usnadňuje jejich vzájemnou koordinaci. Osa Y obou systémů je ve stejném směru a osa X a Z mají opačný směr (Obr. 60). Pro získání transformační matice byly potřeba alespoň tři body, které byly získány pomocí měření a ručního navádění robota. Pro odhad transformační matice byl použit algoritmus využívající singulární dekompozice pro výpočet rotační matice a translačního vektoru. Byla použita Python funkce ze zdroje [27]. Program pro získání transformační matice je uložen pod názvem: Robot_Calibration.py. Z výsledné transformační matice lze vidět, že rotace souřadných systémů je minimální a jedná se hlavně o posunutí počátku obou souřadných systémů osy Y a osa X je posunutá v opačném směru.

Výsledná transformační matice T:

$$T = \begin{bmatrix} -9,9903 \times 10^{-1} & -4,3983 \times 10^{-2} & 0,0000 & 4,0858 \times 10^2 \\ -4,3983 \times 10^{-3} & 9,9903 \times 10^{-1} & 0,0000 & -3,2995 \times 10^2 \\ 0,0000 & 0,0000 & -1,0000 & 6,800 \times 10^1 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 1,0000 \end{bmatrix}$$



Obr. 60 Souřadné systémy kamery, dopravního pásu a robota

8 SCRIPT PRO KAMERU A DOPRAVNÍ PÁS

Script byl vytvořen v programu Microsoft Visual Studio Code v programovacím jazyce Python. Na Raspberry Pi 5 bylo vytvořeno virtuální prostředí pomocí modulu virtualenv, který je součástí instalace Python jazyka. Virtuální prostředí bylo nutné vytvořit pro instalaci Python knihoven používaných v tomto projektu. [28]

8.1 Použité knihovny

Pro správnou funkci všech periférií bylo potřeba do projektu přidat několik Python knihoven. V této kapitole jsou popsány jednotlivé Python knihovny a jejich využití v projektu.

8.1.1 OpenCV

OpenCV je knihovna pro počítačové vidění a strojové učení s otevřeným zdrojovým kódem. Tato knihovna umožňuje jednoduchou práci s obrazem.

8.1.2 Pymycobot

Umožňuje sériové komunikační rozhraní a řízení pohybu robota MyCobot pomocí Python skriptu. Knihovna je vyvinuta a určena pro produkty od Elephant Robotics.

8.1.3 Pypylon

Knihovna pypylon je rozhraní pro softwarový balík Pylon, které umožňuje propojení kamer společnosti Basler a nástrojů pylon vTools s programovacím jazykem Python.

8.1.4 Pymodbus

Tato knihovna umožňuje implementaci Modbus protokolu v jazyce Python. Pro funkci protokolu je potřeba vytvořit server a dva klienty.

8.1.5 NumPy

NumPy modul je potřeba k snadné práci s poli čísel a pro složitější matematické operace, které nejsou součástí základní instalace jazyka Python.

8.1.6 Threading

Tato knihovna umožňuje spustit Python skript nebo část skriptu na jiném vlákne procesoru. Díky tomu je možné spouštět několik skriptů bez toho, aby se navzájem ovlivňovali.

8.1.7 GPIO zero

Knihovna pro Raspberry Pi 5 pro ovládání periferií na 40 pinovém GPIO konektoru.

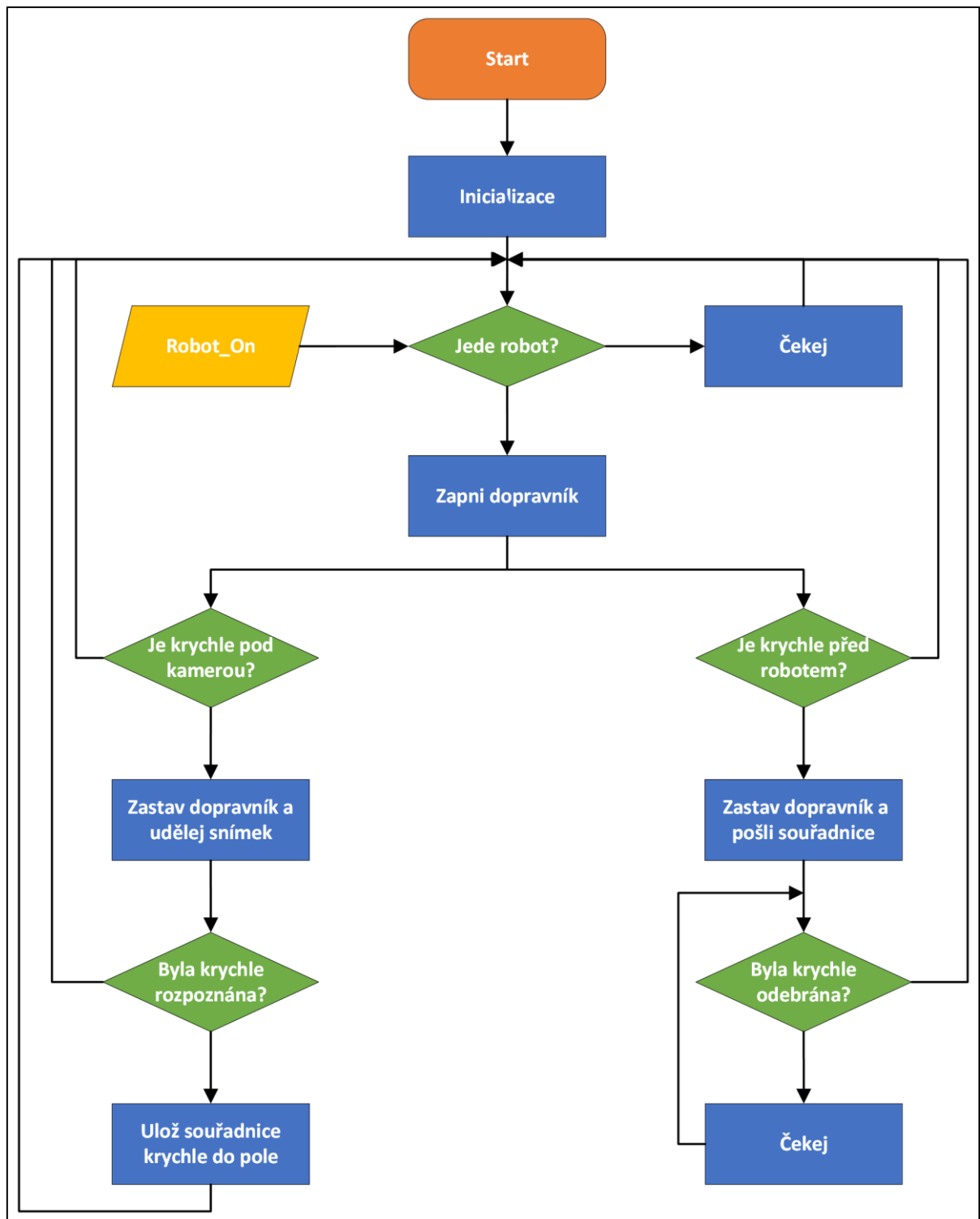
8.2 Vývojový diagram

Při spuštění skriptu nejprve dojde k importu všech potřebných knihoven, následně se klient připojí k ModBus serveru a inicializuje se kamera. Po spuštění programu robota je aktivován dopravní pás. Skript pak čeká na dvě možnosti: detekci krychle pod kamerovou sestavu nebo krychle dojela před robota a čeká na odběr, v obou případech je dopravní pás zastaven na potřebnou dobu.

Detekce krychle pod kamerovou sestavou je prováděna pomocí IR senzoru. Jakmile senzor zaznamená krychli, dopravní pás se zastaví a spustí se proces detekce pozice a orientace krychle. Úspěšně získané souřadnice jsou uloženy do pole čísel, a výsledek detekce je vypsan v terminálu. Poté je dopravní pás znovu spuštěn. Levá část vývojového diagramu je na Obr. 61.

Souřadnice krychlí v poli jsou dynamicky aktualizovány podle pohybu dopravního pásu. Jakmile souřadnice dosáhnou určené hodnoty na ose Y, typicky 335, tak se krychle nachází před robotem, a dopravní pás je zastaven. Poté jsou souřadnice krychle odeslány na server ModBus a odstraněny z pole. Pravá část vývojového diagramu je na Obr. 61.

Skript následně čeká na signál od robota, že krychle byla odebrána, a dopravní pás je opět spuštěn. Tento proces se opakuje v cyklu, dokud není robot vypnut. Skript je uložen na příloženém CD pod názvem: WorkStation_Program.py.

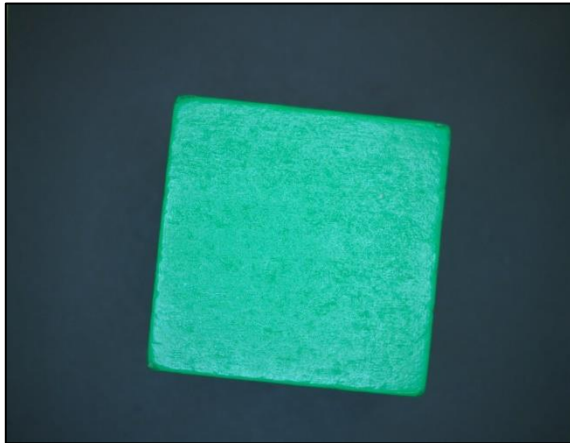


Obr. 61 Vývojový diagram programu

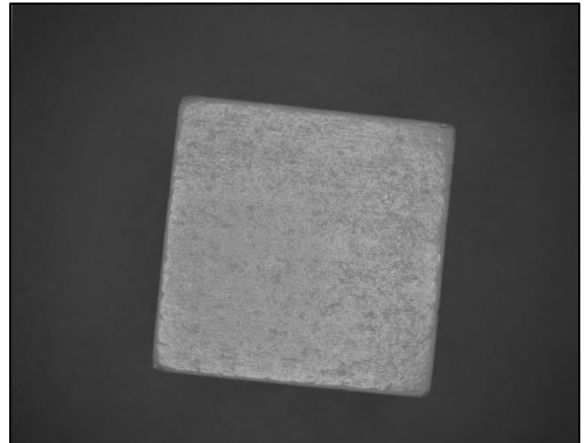
8.3 Úprava obrazu a detekce polohy krychle

Při detekci krychle infračerveným senzorem kamera udělá snímek, který je vidět na Obr. 62. Kamera snímá obraz v plném rozlišení 12,2 megapixelů a tak je obraz upraven pomocí funkce `cv2.resize()`, která sníží rozlišení z 4024 x 3036 na 1006 x 759. Tím je

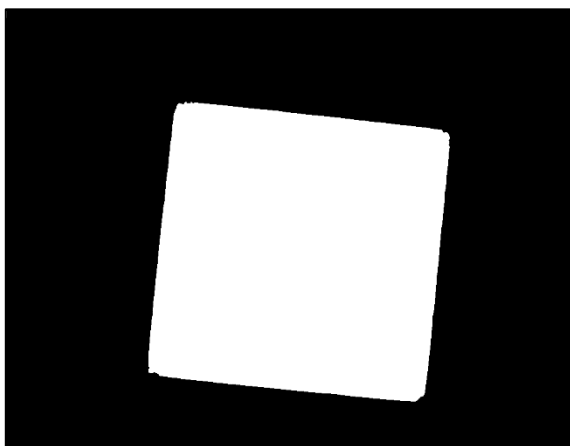
snížena náročnost následných výpočtů. Po snížení rozlišení se obraz převede na černobílý (Obr. 63), a následně na binární obraz, který obsahuje pouze černou a bílou barvu, tím získáme obraz s vysokým kontrastem pro detekci hran (Obr. 64).



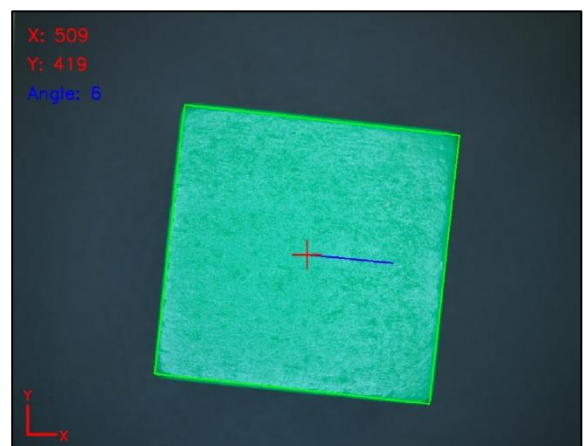
Obr. 62 Snímek z kamery



Obr. 63 Převod na černobílý obraz



Obr. 64 Převod na binární obraz



Obr. 65 Výsledná detekce krychle

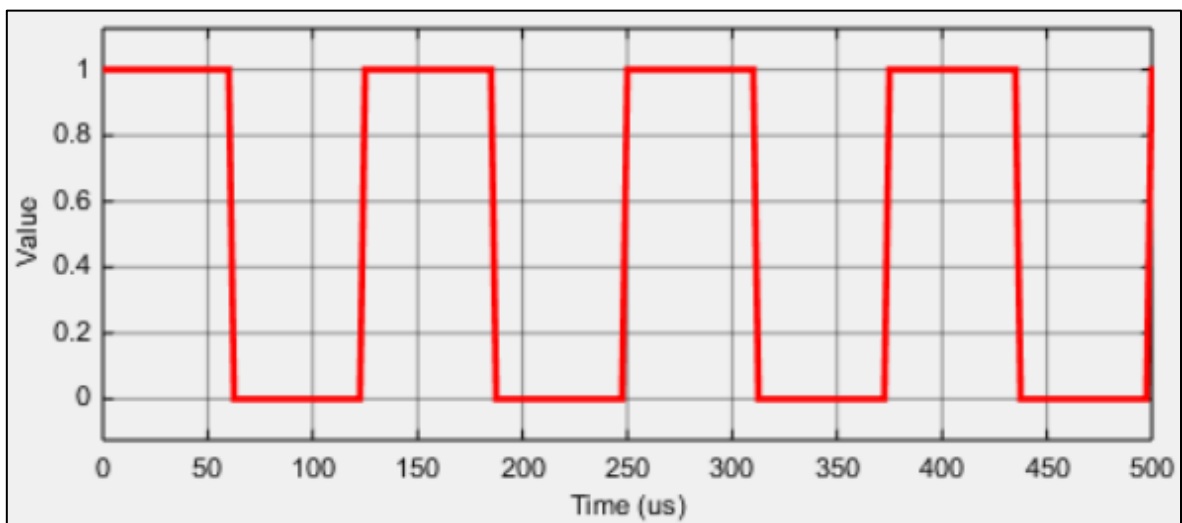
Následně je provedeno 10 cyklů detekce hran a hledání kontur, kdy se hledá největší čtyřstranný polygon v obraze. Pro detekci jsou použity funkce z knihovny OpenCV, pro detekci hran `cv2.canny()` a kontury `cv2.findContours()`. Tyto funkce obsahují několik parametrů, které byly doladěny testováním.

Po úspěšné detekci polygonu se najde jeho střed a úhel natočení, které jsou uloženy do pole pro posílání robotovi. Pro kalibraci osvětlení a testování je možné v programu zapnout zobrazení jednotlivých stavů obrazu, jak lze vidět na Obr. 62 až Obr. 65, ale jelikož kód pojede v pozadí je tato funkce vypnutá.

8.4 Řízení dopravního pásu

Dopravní pás je řízen posíláním pulzů do portu řadiče motoru, kdy při testování byla zjištěna optimální rychlost dopravního pásu při řízení pulsovým signálem s periodou 0,000125 sekund a střídou 50 % (Obr. 66). Tento signál vytvořený v Raspberry Pi 5 je přes GPIO posílán do pinu PUL+ na řadiči krokového motoru. Hodnota pinu DIR+ je nastavena na 1, pro nastavení správného směru pohybu. Řadič motoru byl pomocí přepínačů nastaven na mikrokrokování 1/8 základního kroku a pracovní proud na 1 A. Při tomto nastavení jeden puls posune dopravním pásem o 0,0134 milimetrů. Dopravní pás je spuštěn pouze, když nenastanou tyto situace:

- Program robota není spuštěn
- Detekce krychle infračerveným senzorem
- Krychle čeká na odběr robotem



Obr. 66 Průběh pulzů do pinu PUL+

8.5 Komunikace s robotem

Komunikace mezi robotem a Raspberry Pi 5 je provedena pomocí ModBus protokolu, který pro funkci potřebuje server a klienty, kteří mezi sebou komunikují. Pro propojení robota i Raspberry Pi 5 bylo potřeba využít ethernetového switche.

8.5.1 Protokol Modbus

ModBus je otevřený protokol umožňující komunikaci a přenos dat mezi zařízeními napříč různými sítěmi a sběrnicemi. Komunikace funguje přes předávání dat mezi klientem a serverem. Přenos dat je umožněn ethernetem nebo přes sériovou linku (RS-232, RS-485, optická vlákna).

8.5.2 ModBus Server

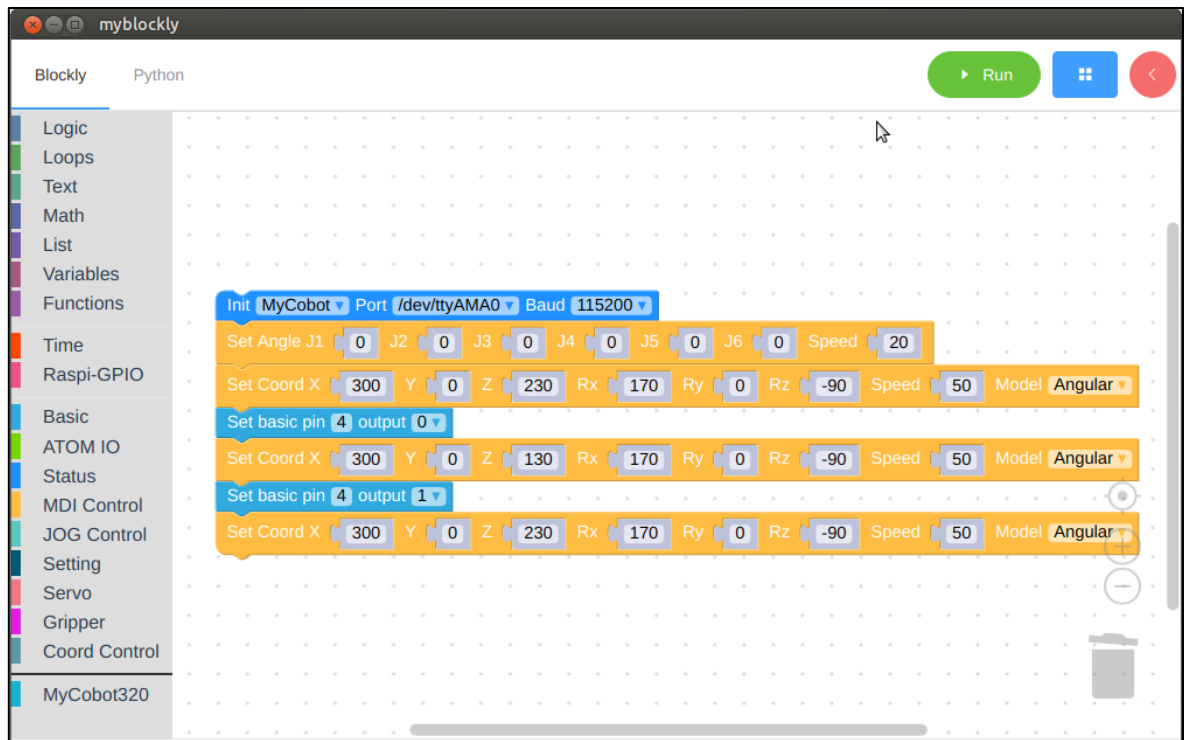
Server je spuštěn samostatným skriptem na Raspberry Pi 5, kde server běží na jiném vlákne procesoru, aby neovlivňoval chod hlavního programu. V paměti je alokováno deset registrů pro ukládání reálných proměnných a deset tzv. coils pro ukládání proměnných datového typu bool. Program pro ModBus server je uložen pod názvem: ModBus_Server.py, a je nutné jej spustit s root oprávněním.

8.5.3 ModBus Client

Klient je spuštěn jak na Raspberry Pi 5 tak i na robotovi a připojen na IP adresu a port Raspberry Pi 5. Klienti jsou schopni ze serveru číst a posílat data do registrů a coilů.

9 PROGRAM ROBOTA

Jednoduché pohybové programy lze vytvořit v aplikaci myBlockly, která je v programovacím jazyce Scratch (Obr. 67). Tato aplikace byla využita hlavně pro manuální ovládání robota.

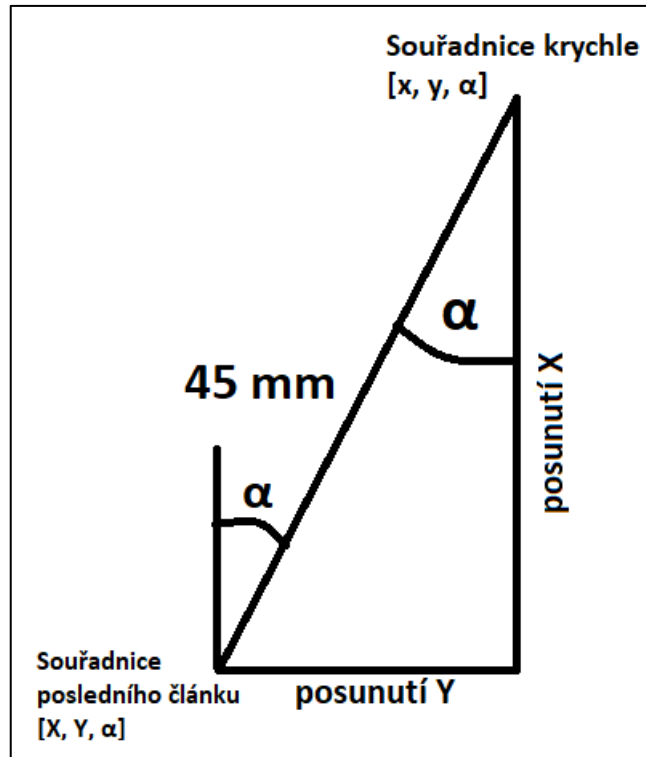


Obr. 67 ukázka programu myBlockly

Kvůli výsledné složitosti programu a Modbus rozhraní byl program pro řízení pohybu robota vytvořen v jazyce Python s využitím knihovny pymycobot. Pneumatický obvod k gripperu je ovládán pomocí příkazu `mc.set_basic_output()`. Robot v průběhu programu posílá na server, v jakém stavu se zrovna nachází.

9.1 Transformace souřadnic

Při pohybu robota pomocí souřadného systému se určují souřadnice posledního článku robota nikoliv gripperu. Proto je potřeba program doplnit transformací souřadného systému koncového efektoru robota na souřadný systém gripperu. Předpokládá se, že při manipulaci s krychlemi bude gripper robota ve vodorovné poloze a tím se výsledná transformace zjednoduší na výpočet odvěsen pravoúhlého trojúhelníku (Obr. 68), jestliže známe přeponu (délka ramene přísavky) a úhel natočení krychle. Odvěsny jsou posunutí souřadnic X, Y a přepona je vzdálenost přísavky od posledního článku.



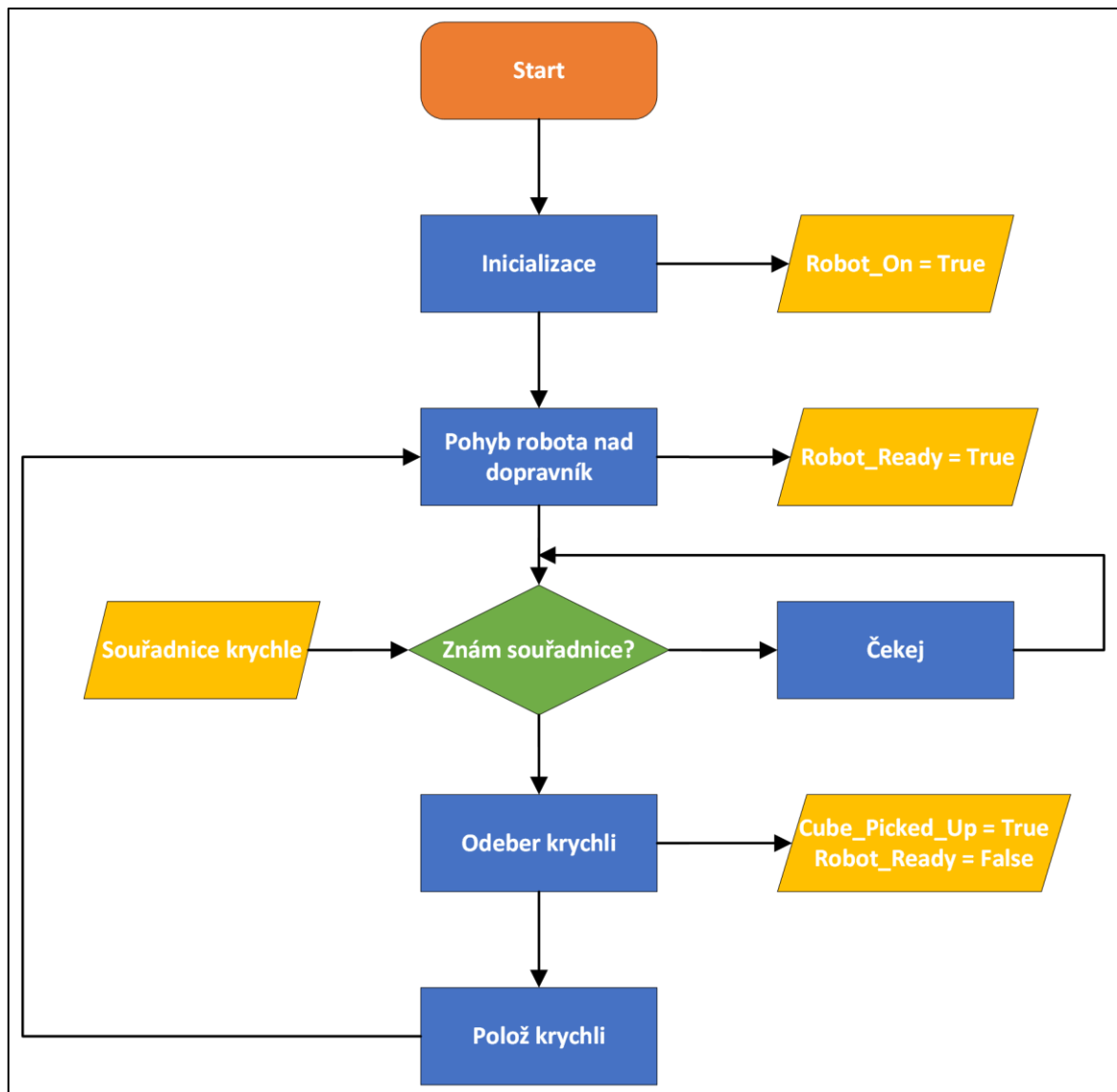
Obr. 68 Transformace souřadnic pro gripper

9.2 Vývojový diagram

Po spuštění programu se klient připojí k serveru ModBus a oznámí, že robot byl zapnut. Následně jsou klouby robota nastaveny z jejich vypnuté pozice na nulový úhel, a poté je gripper robota poslán nad dopravní pás, kde čeká na přijetí souřadnic krychle.

Jakmile Raspberry Pi 5 předá souřadnice, robot je transformuje do vlastního souřadného systému a krychli odebere z dopravního pásu. Po odebrání krychle robot pošle signál o jejím odebrání a následně ji položí napravo od sebe.

Krychle jsou postupně skládány do věže a po umístění třetí krychle se robot zeptá, zda má celý proces opakovat. Při ukončení procesu se robot vrátí do své vypnuté pozice, oznámí, že je vypnut, a program se ukončí. Schéma vývojového diagramu lze vidět na Obr. 69. Program robota je uložen pod názvem: Pick-and-Place_Program.py.



Obr. 69 Vývojový diagram robota

9.3 Spuštění skriptu pro kameru a server přes robota

Jelikož je k dispozici pouze jeden monitor a jedna sada periférií, a Raspberry Pi 5 je umístěno v boxu, je potřeba spustit skript pro kameru a zapnout ModBus serveru přes robota. Toto nám umožní program PuTTY, díky kterému je možné otevřít terminál Raspberry Pi 5. Pro připojení je potřeba jen IP adresa a propojení přes ethernet. Je třeba otevřít dva terminály, jeden pro ModBus server a druhý pro skript kamery a dopravního pásu.

ZÁVĚR

V této práci bylo vytvořeno pick and place pracoviště s kolaborativním robotem myCobot, které bude následně využíváno pro výuku. Pracoviště se skládá z robota, dopravního pásu, kamerové sestavy a řídicí elektroniky.

Kamerová sestava je vybavena kamerou od firmy Basler a osvětlovačem od společnosti SmartView. Obraz z kamery je zpracován v Raspberry Pi 5 pomocí skriptu v jazyce Python, který má za úkol v obraze zjistit pozici a orientaci krychle. Tato část skriptu se spouští při detekci krychle pod kamerovou sestavou pomocí IR senzoru, který dočasně zastaví pohyb dopravního pásu. Dopravní pás je následně zastaven, když krychle čeká na odebrání robotem, po odebrání krychle robotem je pás znovu puštěn.

Program robota je napsán v jazyce Python a obsahuje jednoduchý pohybový program, který je doplněn funkcemi pro komunikaci a transformaci souřadnic. Výsledek aplikace je položení tří stejně orientovaných krychlí na sebe.

V příloze se nachází zadání úlohy pro studenty bakalářského studia, kdy úloha spočívá ve vytvoření programu robota pro odběr krychle pomocí souřadnic získaných kamerou. Studentům bude k dispozici šablona programu, která bude obsahovat základní funkce pro komunikaci s ModBus serverem, transformaci souřadných systémů a přepočet souřadnic pro odběr gripperem. Dále budou mít studenti k dispozici dokument, který bude obsahovat instrukce pro spuštění celého pracoviště.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Matjaž Mihelj, Tadej Bajd, Aleš Ude, Jadran Lenarčič, Aleš Stanovnik, Marko Munih, Jure Rejc, Sebastjan Šlajpah. *Robotics*. Chem : Springer, 2019. ISBN 978-3-319-72910-7.
- [2] HAVLE, Otto. Strojové vidění I: Principy a charakteristiky. *Automa*. [Online] 2008. [Citace: 10. 1 2024.] https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/strojove-videni-i-principy-a-charakteristiky-2008_01_36550_5518/.
- [3] SZELISKI, Richard. *Computer Vision: Algorithms and Applications. Texts in computer science*. London : Springer, 2010. ISBN 9781848829343.
- [4] The 7 elements of a machine vision system. *Industrial Vision Systems*. [Online] 18. 10 2021. [Citace: 30. 4 2024.] <https://www.industrialvision.co.uk/news/the-7-elements-of-a-machine-vision-system>.
- [5] HAVLE, Otto. Strojové vidění III: Kamery a jejich části. *Automa*. [Online] 2008. [Citace: 10. 1 2024.] https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/strojove-videni-iii-kamery-a-jejich-casti-2008_03_36925_5342/.
- [6] Comparing Line Scan and Area Scan Technologies. *NewtonLabs*. [Online] [Citace: 6. 2 2024.] https://www.newtonlabs.com/line_systems.htm.
- [7] Basler Cameras. *Basler*. [Online] [Citace: 6. 2 2024.] <https://www.baslerweb.com/en/cameras/>.
- [8] Li, Larry. Time-of-Flight Camera - An Introduction. *Texas Instruments*. [Online] 1 2014. [Citace: 6. 2 2024.] https://www.ti.com/lit/wp/sloa190b/sloa190b.pdf?ts=1707214354690&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.
- [9] Imaging Electronics 101: Understanding Camera Sensors for Machine Vision Applications. *Edmund Optics Inc*. [Online] [Citace: 25. 1 2024.] <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/understanding-camera-sensors-for-machine-vision-applications/>.
- [10] HAVLE, Otto. Strojové vidění IV: Osvětlovače. *Automa*. [Online] 2008. [Citace: 10. 1 2024.] https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/strojove-videni-iv-osvetlovace-2008_04_36988_5853/.
- [11] Illumination Advisor. *BASLER*. [Online] [Citace: 5. 2 2024.] <https://www.baslerweb.com/en/tools/illumination-advisor/#step=1>.
- [12] LED Illumination. *BASLER*. [Online] [Citace: 5. 2 2024.] <https://www.baslerweb.com/en/illumination/led-illumination/>.

- [13] CCS Inc. The Differences in Images by Lighting. *CCS Inc.* [Online] [Citace: 16. 4 2024.] <https://www.ccs-grp.com>.
- [14] Zdeněk, KOLÍBAL. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno : VUTIUM, 2016. 978-80-214-4828-5.
- [15] Jazar, Reza N. *Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control (2nd Edition)*. New York : Springer, 2010. 978-1-4419-1750-8.
- [16] Abedin, Zain ul. Main Components of an Industrial Robot. *Mechanical Mentor*. [Online] 28. 10 2023. [Citace: 30. 4 2024.] <https://mechanicalmentor.com/components-of-industrial-robot>.
- [17] 17 Industrial Robot Applications for Smart Manufacturers. *RoboDK*. [Online] 15. 8 2022. [Citace: 15. 5 2024.] <https://robodk.com/blog/industrial-robot-applications/>.
- [18] KUKA ROBOT GROUP. *KUKA System Software 8.3: Operating and Progamming Instruction for End Users*. 2018.
- [19] *Elephant Robotics*. [Online] [Citace: 15. 3 2024.] <https://www.elephantrobotics.com/en/>.
- [20] HALFACREE, Gareth. *The Official Raspberry Pi Beginner's Guide. 4th edition*. Cambridge : Raspberry Pi Trading, Raspberry Pi Trading, 2019. ISBN 978-1-912047-62-8.
- [21] Fixed Focal Lenses. *Basler*. [Online] [Citace: 5. 5 2024.] <https://www.baslerweb.com/en/lenses/fixed-focal-lenses/>.
- [22] Basler ace. *Basler*. [Online] [Citace: 2. 5 2024.] https://www.baslerweb.com/en/cameras/ace/?camera_product_family=ace+U#produkte.
- [23] Kruhová světla. *SmartView*. [Online] [Citace: 2. 5 2024.] <https://www.smartview.cz/p-kruhova-svetla>.
- [24] Infračervený senzor E18-D80NK. *RPishop.cz*. [Online] [Citace: 2. 5 2024.] <https://rpishop.cz/svetlo/2447-infracerveny-senzor-e18-d80nk.html#tab-description>.
- [25] Mini Conveyor Belt Kit. *Dobot*. [Online] [Citace: 2. 5 2024.] <https://www.dobot-robots.com/products/conveyor-belt/conveyor-belt-kit.html>.
- [26] *Drátek.cz*. [Online] [Citace: 2. 5 2024.] <https://dratek.cz/arduino/7899-driver-prokrokov-motory-4a-tb6600.html>.
- [27] nghiaho12. rigid_transform_3D. *github.com*. [Online] 2021. [Citace: 20. 5 2024.] https://github.com/nghiaho12/rigid_transform_3D.
- [28] LUTZ, Mark. *Learning Python. 4th ed.* Beijing : O'Reilly, 2019. ISBN 978-0-596-15806-4.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PLC Programmable Logic Controller

USB Universal Serial Bus

LED Light-Emitting Diode

ROS Robot Operating System

ARM Architektura procesorů

IR Infrared Light

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Systém strojového vidění [4]	12
Obr. 2 Area scan kamera Basler[7]	15
Obr. 3 Line scan kamera Basler [7].....	16
Obr. 4 Stereo kamera Basler[7].....	16
Obr. 5 ToF kamera Basler[7]	16
Obr. 6 Diagram CCD snímače obrazu[9]	17
Obr. 7 Diagram CMOS snímače obrazu[9]	18
Obr. 8 Rozdíl mezi standartním a telecentrickým objektivem[5]	19
Obr. 9 Přední osvětlení s jasným obrazovým polem[11]	20
Obr. 10 Přední osvětlení s temným zorným polem [11]	20
Obr. 11 Zadní osvětlení[11].....	21
Obr. 12 Rozložení prvků při použití plošného osvětlovacího pole[12]	21
Obr. 13 Kovový objekt před nasvícením [13]	21
Obr. 14 Plošné osvětlovací pole[12]	22
Obr. 15 Kovový objekt po osvětlení plošným osvětlovacím polem [13].....	22
Obr. 16 Rozložení prvků při použití bodového osvětlovače[12]	22
Obr. 17 Bodový osvětlovač[12]	22
Obr. 18 Rozložení prvků při použití kruhového osvětlovače [12].....	23
Obr. 19 Kovový objekt před nasvícením [13]	23
Obr. 20 Kruhový osvětlovač [12].....	23
Obr. 21 Kovový objekt po osvětlení kruhového osvětlovače [13].....	23
Obr. 22 Rozložení prvků při použití kopulového osvětlovače[12]	24
Obr. 23 Kovový objekt před nasvícením [13]	24
Obr. 24 Kopulový osvětlovač [12].....	24
Obr. 25 Kovový objekt po osvětlení kopulovým osvětlovačem [13]	24
Obr. 26 Rozložení prvků při použití coaxiálního osvětlovače[12]	25
Obr. 27 Kovový objekt před nasvícením [13]	25
Obr. 28 Coaxiální osvětlovač [12]	25
Obr. 29 Kovový objekt po osvětlení coaxiálním osvětlovačem [13]	25
Obr. 30 Rozložení prvků při použití osvětlovače dark-field[12]	26
Obr. 31 Kovový objekt před nasvícením [13]	26
Obr. 32 Osvětlovač dark-field [12]	26
Obr. 33 Kovový objekt po osvětlení dark-field osvětlovačem [13].....	26
Obr. 34 Rozložení prvků při použití osvětlovače backlight[12].....	27

Obr. 35 Žárovka před nasvícením [13].....	27
Obr. 36 Osvětlovač backlight [12].....	27
Obr. 37 Kovový objekt po osvětlení backlight osvětlovačem [13].....	27
Obr. 38 Rozdělení manipulačních zařízení [14]	28
Obr. 39 Součásti robotického systému [16].....	31
Obr. 40 Souřadné systémy robotů[18]	34
Obr. 41 Obecný pohyb[18]	35
Obr. 42 Lineární pohyb [18]	36
Obr. 43 Kruhový pohyb[18]	36
Obr. 44 MyCobot 320 PI[19].....	38
Obr. 45 Raspberry PI 4B [20].....	39
Obr. 46 Snímaný objekt.....	41
Obr. 47 Kamera Basler ace U acA4024-29uc[21]	42
Obr. 48 Objektiv C125-1620-5M [22]	42
Obr. 49 Kruhové světlo RL-100W120[23].....	43
Obr. 50 Infračervený senzor E18-DS80NK[24]	43
Obr. 51 Dopravní pás od firmy Dobot[25]	44
Obr. 52 Řadič pro krokové motory[26].....	44
Obr. 53 Pneumatický gripper [19]	45
Obr. 54 Fixační element	45
Obr. 55 Pick and Place pracoviště.....	46
Obr. 56 Plastový box s řídicí elektronikou	46
Obr. 57 Zapojení GPIO Raspberry Pi 5.....	47
Obr. 58 Zapojení předního panelu Raspberry Pi 5.....	48
Obr. 59 Snímek z kamery při kalibraci pomocí ArUco značek	50
Obr. 60 Souřadné systémy kamery, dopravního pásu a robota.....	51
Obr. 61 Vývojový diagram programu	54
Obr. 62 Snímek z kamery	55
Obr. 63 Převod na černobílý obraz.....	55
Obr. 64 Převod na binární obraz	55
Obr. 65 Výsledná detekce krychle	55
Obr. 66 Průběh pulzů do pinu PUL+.....	56
Obr. 67 ukázka programu myBlockly	58
Obr. 68 Transformace souřadnic pro gripper.....	59
Obr. 69 Vývojový diagram robota	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Zapojení pinů GPIO.....	48
--------------------------------	----

SEZNAM PŘÍLOH

CD-ROM:

- Bakalářská práce ve formátu .pdf
- Archiv .zip:
 - Pick and Place úloha.pdf
 - WorkStation_Program.py
 - ModBus_Server.py
 - ArUco_Calibration.py
 - Pick-and-Place_Program.py
 - Robot_Calibration.py
 - Sablona_Programu.py
 - Fixacni_Element.stl