

Využití vizuální informace pro navigaci mobilního robotu

Patrik Láník

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Patrik Láník**
Osobní číslo: **A17041**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Inteligentní systémy s roboty**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Využití vizuální informace pro navigaci mobilního robotu**
Téma práce anglicky: **The Use of Visual Information for Mobile Robot Navigation**

Zásady pro vypracování

1. Provedte literární rešerši na zadané téma.
2. Analyzujte metody zpracování obrazu použitelné pro danou úlohu.
3. Vyberte některou z perspektivních metod a implementujte ji ve vhodném programovém prostředí.
4. Vybranou metodu otestujte na reálných datech.
5. Implementovanou metodu zpracování obrazu využijte za účelem řízení pohybu mobilního robotu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam doporučené literatury:

1. SANKOWSKI, Dominik a Jacek NOWAKOWSKI. *Computer vision in robotics and industrial applications*. Singapore: World Scientific, [2014], xi, 563 s. Series in computer vision. ISBN 9789814583718.
2. CORKE, Peter I. *Robotics, vision and control: fundamental algorithms in Matlab*. Berlin: Springer, 2011, xxiv, 570 s. Springer tracts in advanced robotics. ISBN 9783642201431.
3. ŠONKA, Milan, Václav HLAVÁČ a Roger BOYLE. *Image processing, analysis, and machine vision*. Second edition. Pacific Grove: PWS Publishing, [1999], xxiv, 770 s. ISBN 053495393X.
4. COOK, Gerald. *Mobile robots: navigation, control and remote sensing*. Hoboken: Wiley, [2011], xvi, 307 s. ISBN 9780470630211.
5. BHAUMIK, Arkapravo. *Mobile Robotics: Theory and Implementation*. S.l.: [s.n.], 2016, 1 online zdroj. ISBN 9781482251470. Dostupné také z: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781482251487>
6. SIEGWART, Roland, Illah Reza NOURBAKHSH a Davide SCARAMUZZA. *Introduction to autonomous mobile robots*. 2nd ed. Cambridge, Mass.: MIT Press, c2011, 1 online zdroj (xvi, 453 p.). Intelligent robotics and autonomous agents. ISBN 9780262295321. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/bkabstractplus.jsp?bkn=6267528>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Navrátil, Ph.D.
Ústav řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: 20. prosince 2019
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. května 2020



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

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 diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- 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 – diplomovou/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 11.8.

Patrik Láník, v. r.

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je využití vizuální informace získané z kamerového systému pro navigaci mobilního robotického systému.

V první části se práce zabývá výběrem vhodných metod zpracování obrazu pro navigaci mobilního robota. Druhá část se zabývá realizací programu pro zpracování obrazu pomocí vybrané metody s následnou komunikací mezi kamerou a inteligentními motory, které zajišťují pohyb robota i kamery. Dále je popsána činnost použitých inteligentních servomotorů a použité komunikace mezi kamerou a motory. Implementovaná metoda zpracování obrazu za účelem řízení mobilního robota je následně otestována na reálných datech ve vybraném programovém prostředí.

Klíčová slova: mobilní robot, kamera, servomotor, zpracování obrazu, navigace robota

ABSTRACT

The objective of bachelor thesis is usage of visual information obtained from the camera system for navigation of the mobile robotic system.

The first part deals with selection of suitable image processing methods for mobile robot navigation. The second part deals with program realization for image processing and communication between a camera and intelligent servo motors which controls movement of a robot and a camera. Next there are further described functions of servo motors and used communication between a camera and servo motors. Implemented image processing method for mobile robot navigation is then tested on real data in the selected software environment.

Keywords: mobile robot, camera, servo, image processing, robot navigation

Děkuji Ing. Petru Navrátilovi, Ph.D. za konzultace a odborné vedení bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1 METODY ZPRACOVÁNÍ OBRAZU.....	10
1.1 BAREVNÉ PROSTORY	10
1.2 PREPROCESSING	12
1.3 METODY SEGMENTACE OBRAZU.....	14
1.4 POSTPROCESSING	15
II PRAKTICKÁ ČÁST	18
2 ČÁSTI ROBOTICKÉHO SYSTÉMU.....	19
2.1 AI-MOTOR 1001	19
2.2 ZÁKLADNÍ DESKA MGR-BPT232	22
2.3 RADIOMODUL HW86010 A RADIOMODEM HW8612.....	24
2.4 WEBOVÁ KAMERA AXIS 206W	27
2.5 PŘÍSTUPOVÝ BOD ASUS WL-530GV2	28
3 REALIZACE METODY ZPRACOVÁNÍ OBRAZU.....	30
3.1 BAREVNÝ PROSTOR.....	30
3.2 PREPROCESSING	30
3.3 SEGMENTAČNÍ METODA	31
3.4 POSTPROCESSING	32
3.5 PROGRAM.....	33
4 IMPLEMENTACE NA REÁLNÝCH DATECH.....	36
ZÁVĚR	39
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	40
SEZNAM OBRÁZKŮ	42
SEZNAM TABULEK.....	44
SEZNAM PŘÍLOH.....	45

ÚVOD

Zpracování obrazu i robotika samotná se každým rokem raketovou rychlostí posouvá vpřed. V dnešní době jsou komerční nebo průmyslové roboty všeobecně známé. Našli jsme si k nim cestu, protože jsou v mnoha ohledech lepší než člověk, odstraňují lidský faktor na místech, kde není prostor pro chyby a můžeme je bez starostí použít v nebezpečném prostředí. Roboty jsou přesnější, rychlejší a levnější variantou člověka. Zpracování obrazu pro navigaci robotů je neodmyslitelnou součástí u autonomních robotů, bez kterých by z velké části nemohly fungovat.

Cílem této práce je využití obrazové informace z kamery pro navigaci a ovládání pohybu mobilního robota. Práce se zabývá výběrem vhodných metod, použitelných pro zpracování obrazu z webové kamery. Systém je ovládán pomocí šestice inteligentních servomotorů, které jsou ovládány pomocí sériové linky. Čtyři motory slouží pro řízení pohybu robota a zbylé dva motory obstarávají natočení kamery. Cílem je vytvoření programu ve vhodném prostředí, který bude zpracovávat vizuální informaci kamery za účelem navigace a řízení mobilního robota.

Teoretická část bakalářské práce, tedy kapitola 1 se zabývá pouze porovnáním a výběrem metod zpracování obrazu. Praktická část obsahuje kapitolu 2, která popisuje jednotlivé části robotického systému, kapitola 3 řeší již vybranou metodu zpracování obrazu a její implementaci na robotický systém. Kapitola 4 je věnována testům na reálných datech.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 METODY ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

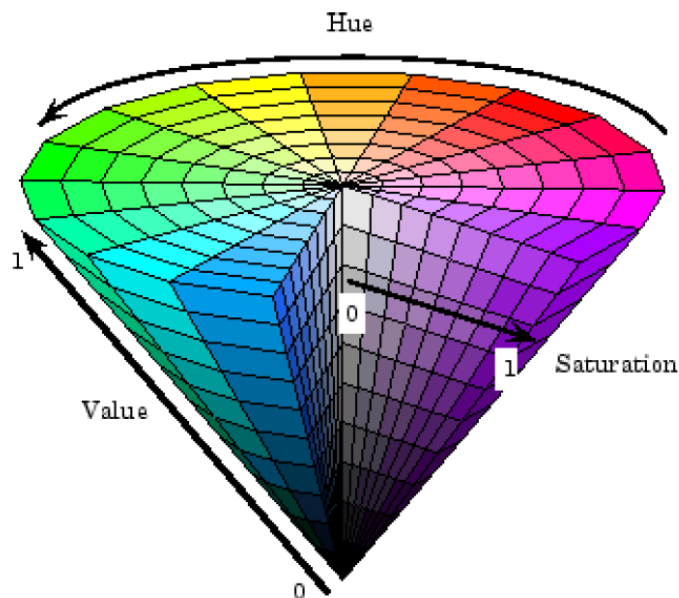
Tato část se zabývá analýzou vybraných metod zpracování obrazu. Zaměřená na rozdělení barevných prostorů a převody mezi nimi, budou představeny vybrané metody předzpracování dat, jejich následná segmentace a nakonec bude zmíněno dodatečné upravení dat po jejich zpracování.

1.1 Barevné prostory

Barevné prostory/modely jsou matematické modely popisující barvy na základě jednotlivých podílů složek. Mezi nejznámější barevné modely patří RGB a CMYK. Popis pomocí RGB modelu používá aditivní míchání barev, zato CMYK model používá subtraktivní míchání barev. Pro tuto práci jsem si vybral barevné modely, které lépe popisují prostor díky oddělené barevné složce od jasové složky. Jsou to modely HSV a c1c2c3 [16].

1.1.1 HSV

HSV celým názvem: *Hue-Saturation-Value* tedy, *Barva-Sytost-Hodnota* je velmi oblíbený barevný prostor využívaný pro segmentaci obrazu. Má tu vlastnost, že má oddělenou složku hodnoty jasu od sytosti, tudíž k sobě můžeme přiřadit barevné body nezávisle na jejich intenzitě jasu.



Obrázek 1: Barevný prostor HSV [12]

Převod z RGB do HSV:

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{(R - G) + (R - B)}{2 \cdot \sqrt{(R - G)^2 + (R - B) \cdot (G - B)}} \right) \quad (1)$$

$$H = \begin{cases} \theta & \text{pokud } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{pokud } B > G \end{cases} \quad (2)$$

$$S = 1 - \frac{3 \cdot \min(R, G, B)}{R + G + B} \quad (3)$$

$$V = \frac{R + G + B}{3} \quad (4)$$

Hodnota H reprezentuje úhel v kruhovém HSV prostoru a je definována v rozsahu $\langle 0, 360^\circ \rangle$, saturace S i intenzita V jsou definovány v rozsahu $\langle 0, 1 \rangle$. Před převodem z RGB do HSV musíme normalizovat složky RGB z rozsahu $\langle 0, 255 \rangle$ do rozsahu $\langle 0, 1 \rangle$ [12].

1.1.2 C1C2C3

Pomocí barevného prostoru C1C2C3 získáváme model, který je neovlivněn světelnými účinky stínu, zejména pro matné objekty [7].

Převod z RGB do C1C2C3:

$$c1 = \tan^{-1} \left(\frac{R}{\max(G, B)} \right) \quad (5)$$

$$c2 = \tan^{-1} \left(\frac{G}{\max(R, B)} \right) \quad (6)$$

$$c3 = \tan^{-1} \left(\frac{B}{\max(R, G)} \right) \quad (7)$$

1.2 Preprocessing

Preprocessing v obrazové analýze je oblast, která se zabývá úpravou dat před samotným zpracováním. V našem případě se zabývá potlačováním nežádoucích vlastností obrazu, tedy například odstraňováním šumu z obrazu pomocí metody diskrétní dvourozměrné konvoluce a pomocí filtru Mean-shift.

1.2.1 Diskrétní dvourozměrná konvoluce

Konvoluce je operátor, který ze dvou funkcí vytvoří funkci novou. V případě diskrétní dvourozměrné konvoluce a zpracování obrazu má následující tvar:

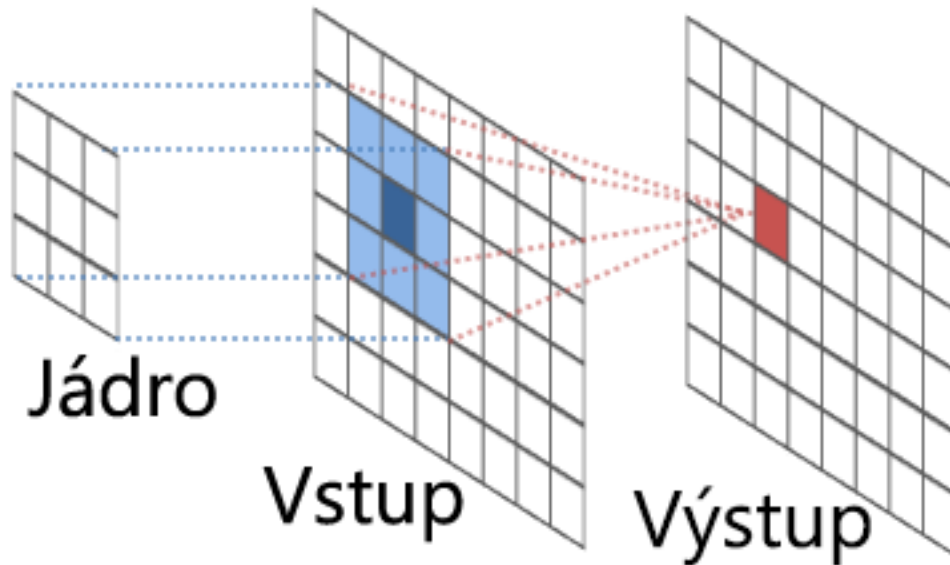
$$I(x, y) = \sum_{i=-k}^k \sum_{j=-k}^k f(x-i, y-j) \cdot g(i, j) \quad (8)$$

kde $I(x, y)$ značí intenzitu výsledného pixelu na pozici $[x, y]$, $f(x, y)$ značí intenzitu vstupního obrázku na pozici $[x, y]$ a $g(i, j)$ je intenzita bodu v masce (také nazývaná jako konvoluční jádro) na pozici $[i, j]$.

Pro potlačení šumu v obraze je použito Gaussovo konvoluční jádro s následujícím tvarem:

$$G(x, y) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2} \cdot e^{-\frac{x^2+y^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (9)$$

Kde (x, y) označují relativní pozici v konvolučním jádře od prostředního prvku. σ je směrodatná odchylka. Aby nedocházelo ke zvyšování jasu, musí být součet všech prvků v jádře roven jedné. Zvolením velikosti masky a diskretizací ve středových bodech jednotlivých pixelů získáme Gaussovu matici pro filtraci obrazu (masku) [15, 22].



Obrázek 2: Na vstupní obraz je aplikováno konvoluční jádro, které upraví výstupní obraz podle nastavených parametrů jádra [4]

1.2.2 Filtr Mean-shift

Zobrazením bodů do vícedimenzionálního prostoru příznaků, získáme kvantifikovatelné vlastnosti obrazu. Tyto vlastnosti jsou například souřadnice bodů nebo jejich barevná informace. Po provedení tohoto zobrazení pro celý obraz získáme shluky, které představují jednotlivé objekty obrazu. Analýzou tohoto prostoru lze tyto shluky určit.

Filtr Mean-shift posouvá barevnou hodnotu aktuálního obrazu ke střední hodnotě okolních bodů. Na počátku algoritmu je náhodně zvolena pozice v obraze, pomocí zvoleného kernelu se vypočítá gradient hustoty bodů v daném okolí a tuto pozici posuneme ve směru gradientu. Tento postup opakujeme do okamžiku dosáhnutí lokálního maxima. Filtr má tu výhodu, že zachovává ostré hrany mezi objekty s rozdílnou barvou [3, 14].



Obrázek 3: Porovnání obrázku před a po použití filtru mean-shift [2]

1.3 Metody segmentace obrazu

Segmentace obrazu se skládá z několika kroků, s pomocí kterých můžeme obraz rozdělit do několika oblastí, podle určitých společných vlastností. Nejčastěji se jedná o oddělení objektu od pozadí.

1.3.1 Prahování

Metoda prahování je nejjednodušší způsob segmentace obrazu. Jako určující parametr u metody prahování se ve většině případů využívá jas obrazu. Metoda prahování funguje na principu určení prahu a následném porovnáním každého pixelu, kdy pixely s menší hodnotou intenzity jasu jsou považovány za pixely pozadí a pixely s větší intenzitou jsou považovány jako pixely objektu. Tato metoda je časově nenáročná, díky získání výsledku již po prvním průchodu obrazu.

Problém může nastat v případě, že intenzita vyšší než prahová, tedy teoreticky pixel reprezentující objekt se může nacházet i v oblasti pozadí a vzniknou tedy nepřesnosti. Tento problém lze odstranit v dalším zpracování pomocí postprocessingu [3].



Obrázek 4: Porovnání originálního obrázku s obrázkem, na který je aplikována metoda prahování

1.3.2 Rostoucí regiony

Metoda rostoucích regionů pracuje s každým bodem obrazu zvlášť, vytváříme tedy skupiny podobných bodů podle jejich vlastností. Hlavním kritériem metody je homogenita. Metodu lze založit na mnoha vlastnostech jako barva, intenzita jasu, tvar nebo textura. Cílem metody je získat co největší homogenní oblast bez možnosti spojení s jinou sousední oblastí [3].

1.3.3 Segmentace pomocí Mean-shift

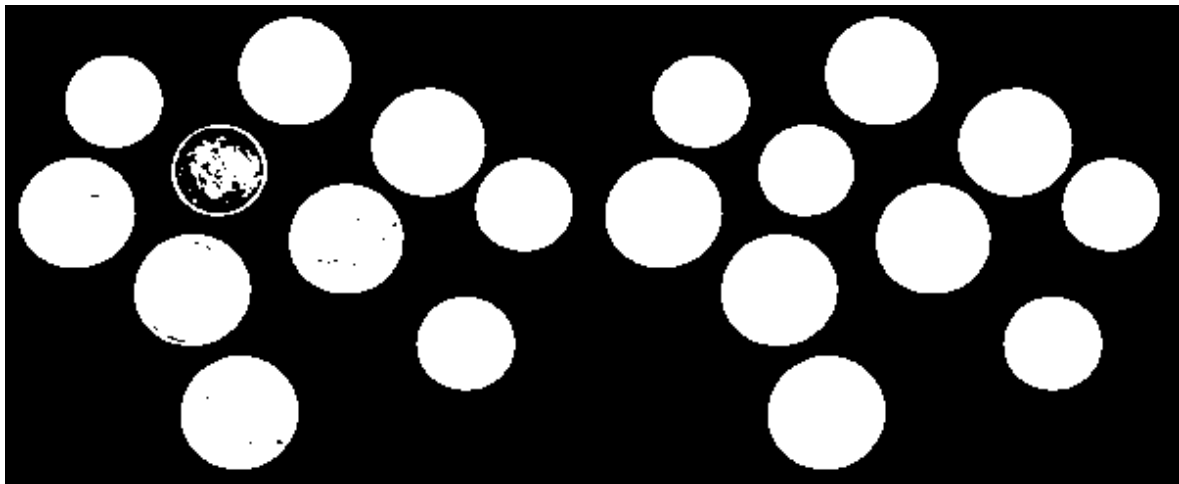
Jak již bylo zmíněno v oblasti preprocessingu, metoda Mean-shift posouvá barevnou hodnotu (gradient hustoty) aktuálního obrazu ke střední hodnotě okolních bodů. Na počátku algoritmu je náhodně zvolena pozice v obraze, pomocí zvoleného kernelu se vypočítá gradient hustoty bodů v daném okolí a tuto pozici posuneme ve směru gradientu. Tento postup opakujeme do okamžiku dosažení lokálního maxima. Všechny body, které dosáhnou do stejného lokálního maxima, sloučíme do jednoho shluku [3, 14].

1.4 Postprocessing

Tato oblast se zabývá dodatečnou úpravou dat po tom, co obraz projde celým cyklem zpracování. Může to být například vyřešení problému u segmentace obrazu, kdy se pixely přiřadí do špatné oblasti, sloučení menších oblastí do oblastí, které mají podobné vlastnosti nebo odstraňování míst, které se vlastnostmi nikam nehodí [18].

1.4.1 Vyplňování děr v obraze

Vyplňování děr v obraze zajistí opravení zpracovaného obrazu v místech, kde vznikly takzvané díry v obraze, kvůli nehomogenosti objektů v prostředí (například malé překážky v místě snímané cesty). Metoda najde tyto místa, a pokud je počet pixelů v zadaném rozsahu, tak oblast sloučí s největší sousední oblastí [18].



Obrázek 5: Porovnání obrázku před a po použití metody vyplňování děr

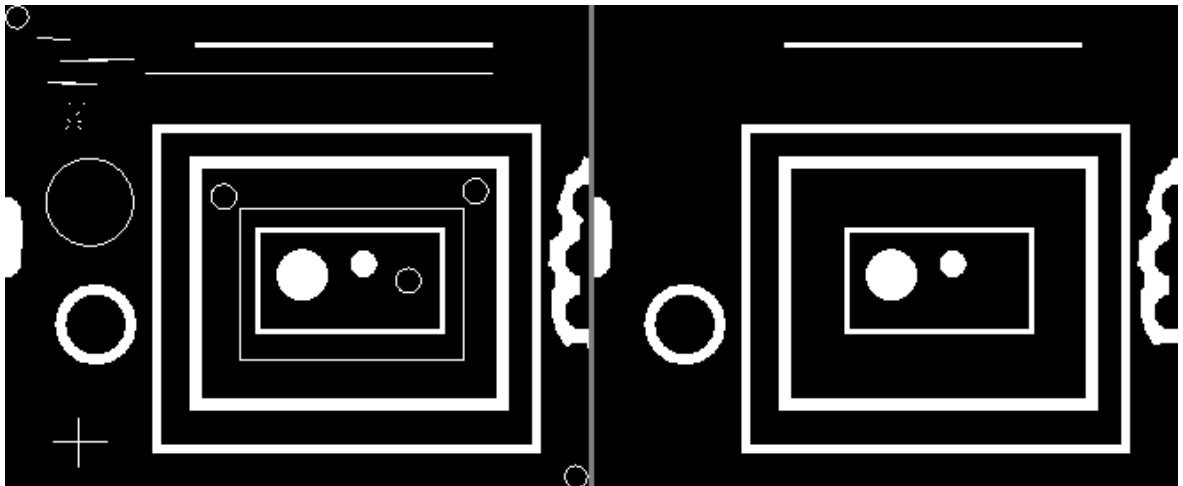
1.4.2 Morfologické operace dilatace a eroze

Dilatace a eroze jsou operace z oblasti matematické morfologie, které se aplikují jako dodatečná úprava obrazu. Tyto operace se využívají k zaplnění děr a zjednodušení celkové struktury objektu.

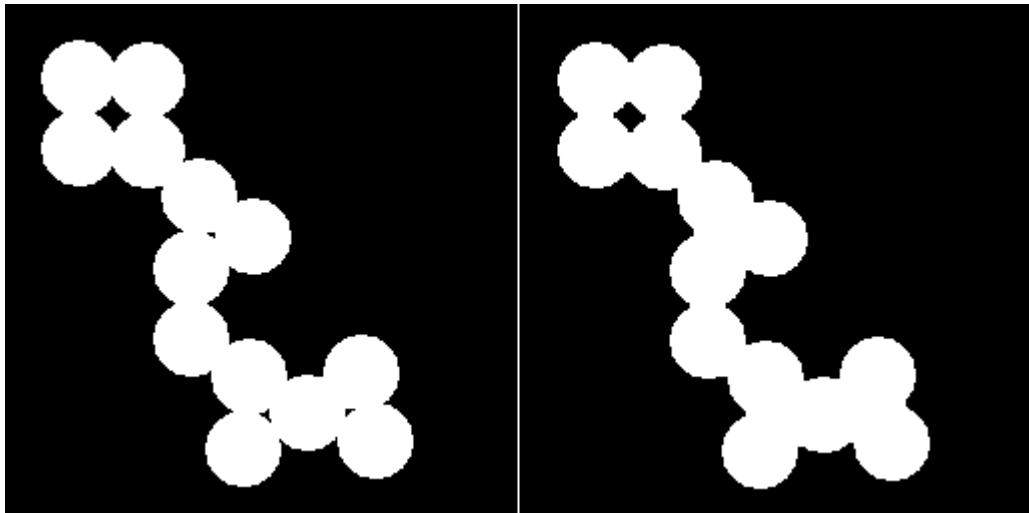
Dilatace je vektorový součet dvou množin, kdy vybraná oblast převeze vlastnosti z oblasti v blízkém okolí s maximální hodnotou. Dilatace obraz zvětší o jednu vrstvu a zaplní malé díry.

Eroze je vektorový rozdíl dvou množin, kdy vybraná oblast převeze vlastnosti z oblasti v blízkém okolí s minimální hodnotou. Eroze odstraní objekty jednotkové tloušťky, spojí objekty blízko u sebe a rozdělí složité objekty na objekty jednodušší.

Pro získání obrysů objektu stačí odečíst erodovaný obraz od originálu. Tyto operace můžeme také společně kombinovat a získáme zjednodušený obraz. Při erozi a následné dilataci získáme takzvané morfologické otevření, které zjednoduší obraz tím, že oddělí objekty tenkou čarou. Naopak dilatací a následnou erozí dostáváme morfologické uzavření, které spojí blízké objekty, zaplní díry a vyhladí obrysy [17].



Obrázek 6: Ukázka morfologického otevření – vlevo originál a vpravo po použití morfologického otevření [1]



Obrázek 7: Ukázka morfologického uzavření – vlevo originál a vpravo po použití morfologického uzavření [1]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 ČÁSTI ROBOTICKÉHO SYSTÉMU

V této části bakalářské práce se budeme zabývat jednotlivými částmi robotického systému. Budou blíže popsány a představeny funkce a vlastnosti jednotlivých komponentů, ze kterých je systém sestaven.



Obrázek 8: Robotický systém

2.1 AI-MOTOR 1001

AI-MOTOR 1001 se používá k řízení robotů a tvoří komplex servomotoru, pevných částí a řídicích obvodů. Instrukce pro ovládání motorů a data jsou přenášeny pomocí RS232 sériové komunikace.



Obrázek 9: AI-MOTOR 1001 [9]

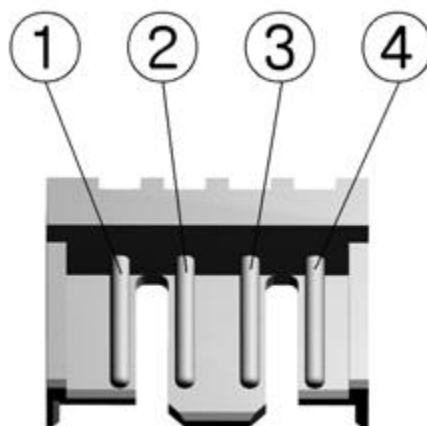
Systém je ovládán pomocí šestice inteligentních servomotorů, které jsou ovládány pomocí sériové linky. Čtyři motory slouží pro řízení pohybu robota a zbylé dva motory obstarávají natočení kamery.

2.1.1 Elektronické propojení a vnitřní funkce AI-MOTORU 1001

Pro propojení dvou motorů nebo motoru a základní desky se používají kabely MGR-LWW-10 nebo MGR-LWW-15. Každý motor obsahuje dva konektory, tudíž můžeme vytvořit sériové propojení více motorů. Probíhá automatická kontrola jednotlivých motorů a ve chvíli, kdy by protékal obvodem příliš vysoký proud, tak se motor automaticky odpojí [9].



Obrázek 10: Propojovací kabely MGR-LWW-10 a MGR-LWW-15 [9]



Obrázek 11: Konektor AI-MOTOR 1001 [9]

Tabulka 1: Popis vlastností AI-MOTOR 1001

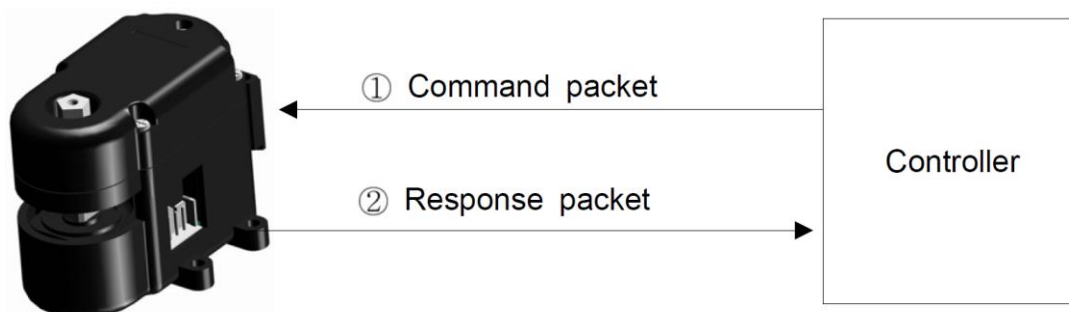
Vlastnost	Rozsah
Přenosová rychlost	2400 až 460800 bit/s
Proudová ochrana	400mA (5V) až 1000mA (10V)
Rozsah pohybu	0 až 254 (360°)
Rozlišení	Low (0-166°), High (0-322°)
Točivý moment	10 kg/cm při 9,5V
Rychlost otáček	60 otáček za minutu

Tabulka 2: Popis funkcí konektorů

Číslo	Funkce	Popis
1	VCC	Napájení
2	TXD	Datový výstup
3	RXD	Datový vstup
4	GND	Zem

2.1.2 Komunikace

Kontroler zasílá motoru řídicí 4bytové a nastavovací 6bytové příkazy (command packet) a motor nazpátek posílá odezvu o obdržení příkazů (response packet).



Obrázek 12: Komunikace mezi kontrolerem a AI-MOTOR 1001 [9]

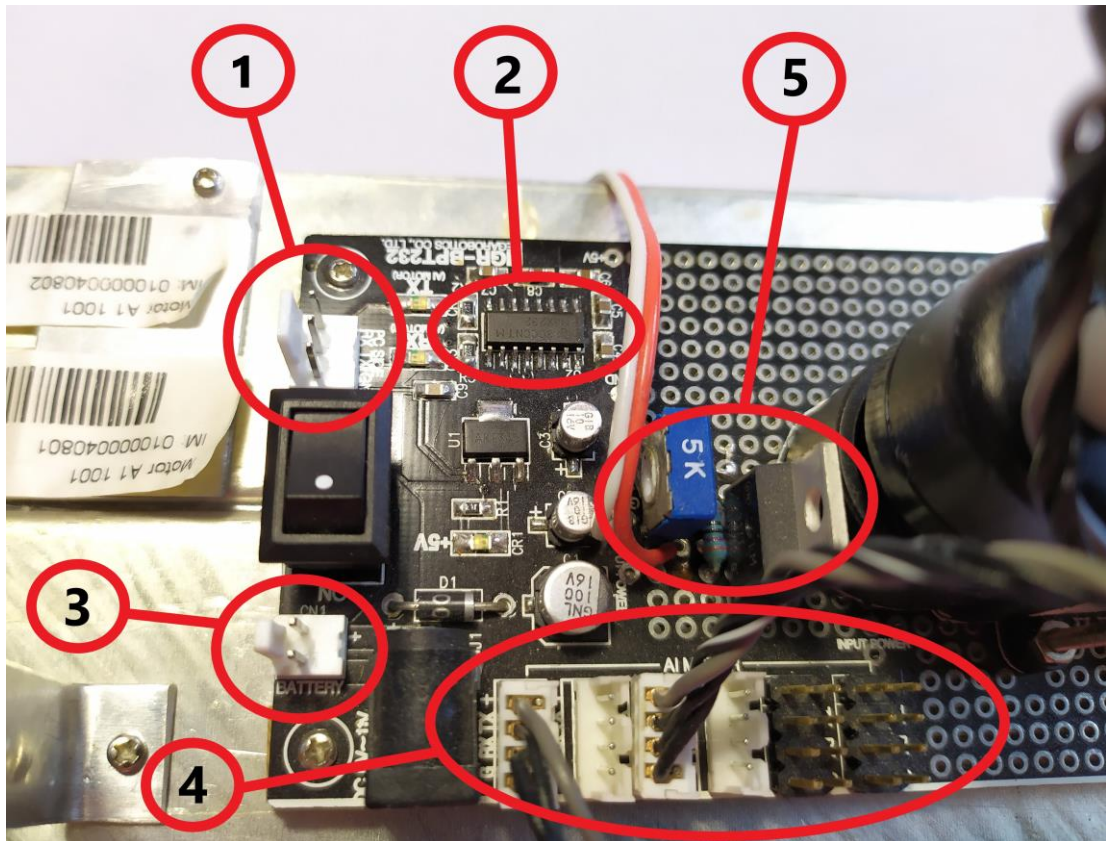
2.1.3 Nastavení rozlišení úhlového natočení

Motory lze nastavit do dvou druhů rozlišení tj. mód nízkého a vyššího rozlišení. Rozsah hodnot u absolutní pozice zůstává stejný pro oba druhy 0 až 254. Při použití nízkého rozlišení se může motor natočit v rozsahu 0° až 332° , z toho vyplývá, že 1 pozice absolutního natočení odpovídá zhruba 1.3071° . Při módu vyššího rozlišení odpovídá 1 pozice absolutního natočení přibližně 0.6535° , tudíž se může motor natočit v rozsahu 0° až 166° .

Pro otočení motorů o 360° by šlo použít funkci „360 degrees Rotation Command“, ale v našem případě funkci nemůžeme použít u motorů, které obstarávají pohyb kamery, protože to není konstrukčně možné [9].

2.2 Základní deska MGR-BPT232

Napájecí napětí desky se pohybuje v rozmezí 6 až 11V. Deska může být připojena pomocí síťového rozvodu 230V/50HZ nebo pomocí šesti AA baterií. Na desce jsou umístěny LED diody RX a TX, které signalizují správnost zasílání instrukcí nebo otevření portu [10].



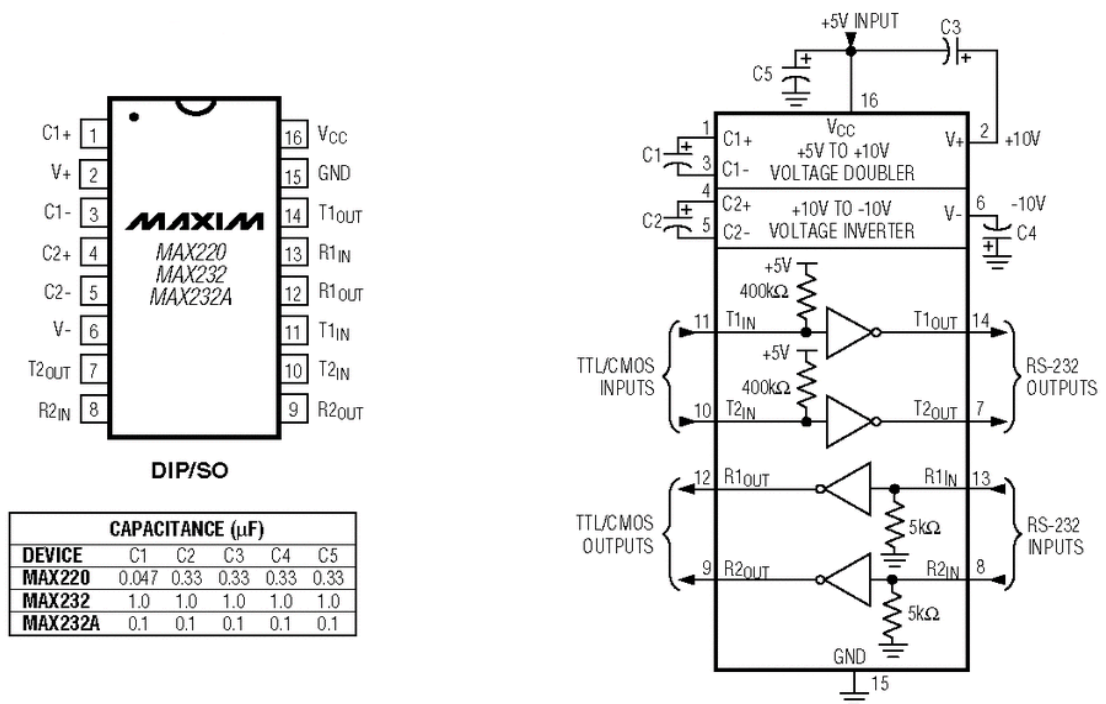
Obrázek 13: Základní deska MGR-BPT232

Tabulka 3: Popis funkcí základní desky

Číslo	Funkce
1	Konektor sériového portu CD3pin(M)
2	Integrovaný obvod MAX232
3	Konektor baterií
4	Čtyři konektory k připojení AI-MOTOR
5	Stabilizátor napětí s integrovaným obvodem LM317

2.2.1 Integrovaný obvod MAX232

Integrovaný obvod MAX232 převádí TTL logiku na RS232. Obvod má integrované dvě nábojové pumpy, z první se získává napětí pro RS232 a ostatní piny můžeme použít pro napájení dalších obvodů.



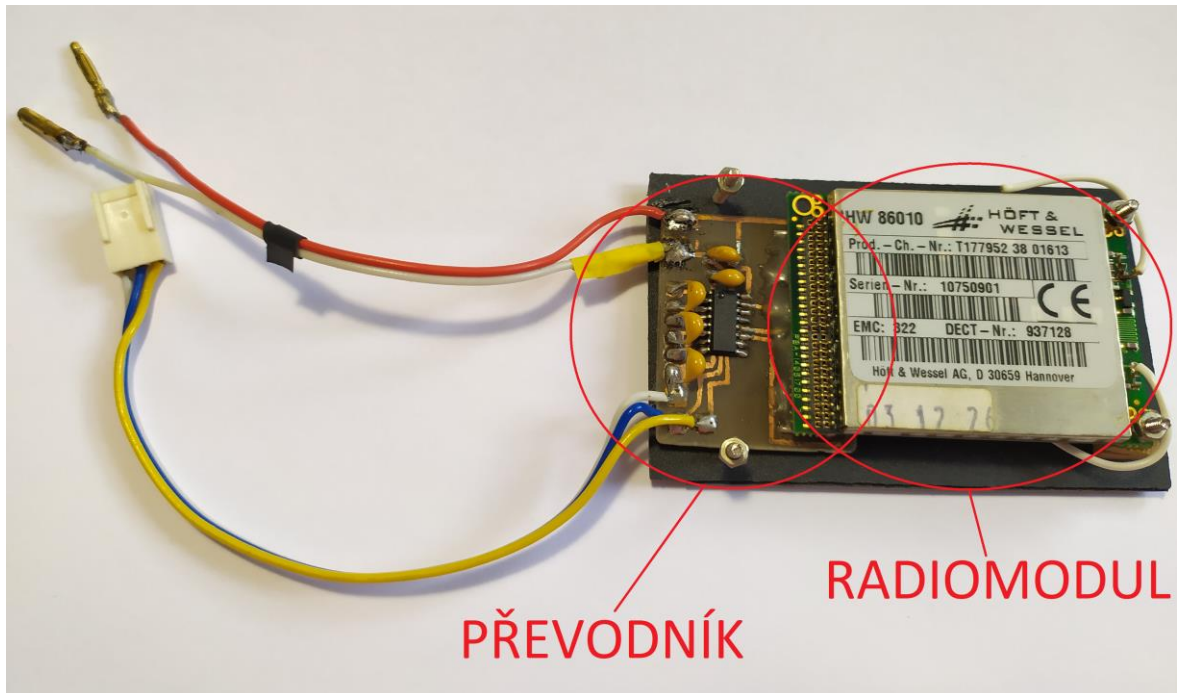
Obrázek 14: Popis pinů a schéma obvodu MAX232 [8]

2.3 Radiomodul HW86010 a radiomodem HW8612

K bezdrátové komunikaci počítače s robotem, tedy se základní deskou byl použit radiomodul HW86010 a radiomodem HW8612.

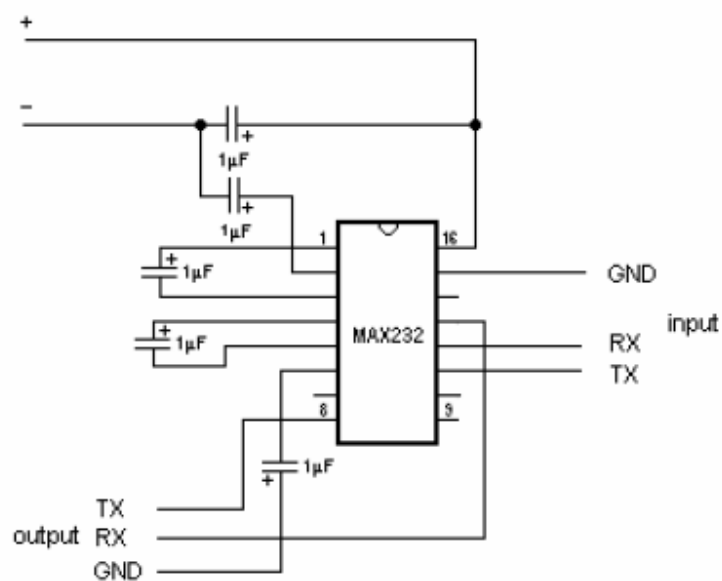
2.3.1 Radiomodul HW86010

Modem pracuje v DECT pásmu 1880 až 1900MHz (bez-licenční pásmo). Obousměrný přenos dat obstarává RS232. Modem používá „Pulzně kódovací modulaci“ (PCM) k připojení ISDN a PBX. Radiofrekvenční výkon je 250mW s dosahem až 300m v otevřeném prostoru a v zastavěné oblasti do 60m. Napájecí napětí modemu je 3.3 až 4.7V.



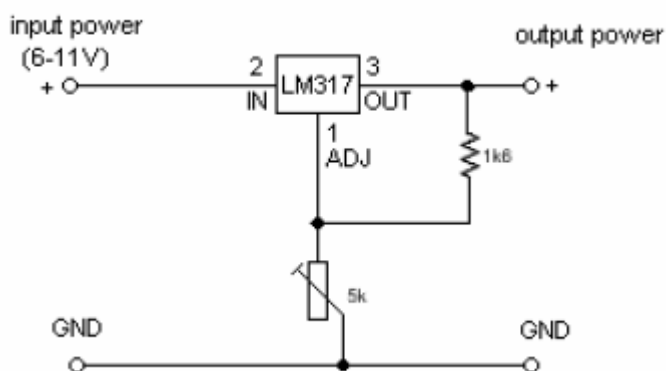
Obrázek 15: Radiomodul HW86010 s převodníkem signálu – popsán níže

Signály připojených částí robotického systému se pohybují okolo 12V, ale rozhraní RS232 používá signály, které pracují na úrovni 3,3V CMOS, proto bylo nutné signály stabilizovat. Byl použit integrovaný obvod MAX232, který převádí signály RS232 na úroveň TTL/CMOS [5].



Obrázek 16: Schéma převodníku [5]

„Převodník byl přiveden na piny 22(GND), 25(RX), 26(TX) a 28(3,3V) radiového modulu HW86010 a na výstup byl opatřen konektorem CD3pin(F) ke snadnému připojení k základní desce MGR-BPT232. Základní deska má výstupy GND, +5V a input power (je rovno napájecímu napětí přivedenému k základní desce). Jelikož se napájení pohybuje v rozmezí 6-11V (v našem případě 9V), radiový modul však pracuje na 3,3V, bylo nutné toto napětí stabilizovat a přivést k radiomodulu. Proto byl navržen malý stabilizátor napětí, který byl připojen přímo k základní desce. LM317t je integrovaný obvod vhodný pro malé regulovatelné zdroje a stabilizátory napětí. Stabilizátor je opatřen odporovým trimrem 5k Ω pro snadné nastavení výstupního napětí.“ [5].

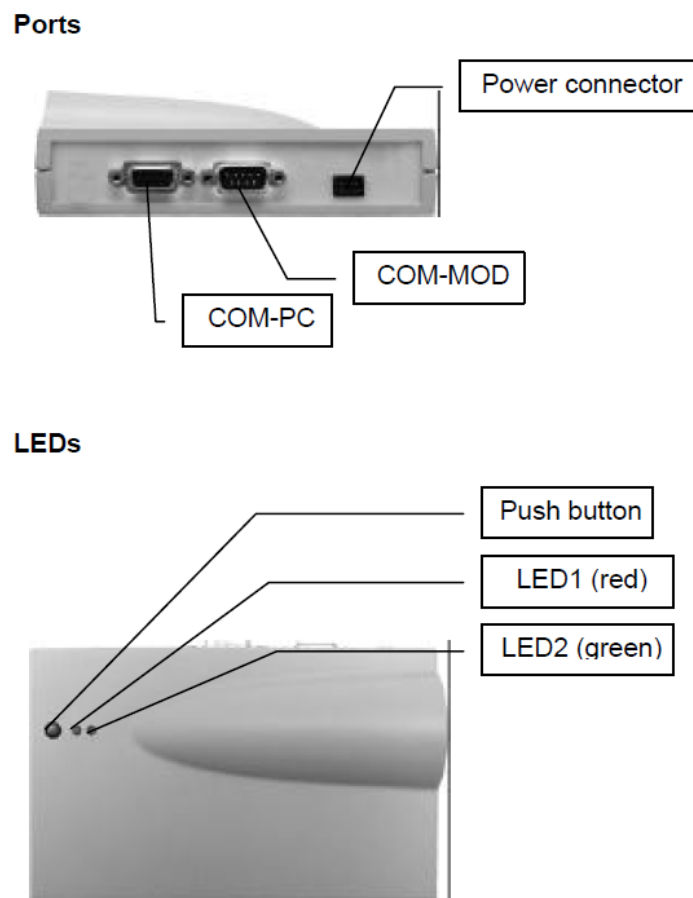


Obrázek 17: Schéma stabilizátoru napětí s integrovaným obvodem LM317 [5]

2.3.2 Radiomodem HW8612

Radiomodem má přenosovou rychlost 115kbit/s a je opatřen funkcí automatické opravy erroru.

Radiomodem využívá RS232 a jeho základem je výše uvedený radiomodul HW86010. Výstupní signál není potřeba převádět na úroveň 3,3V, proto můžeme modem připojit přímo k základní desce.

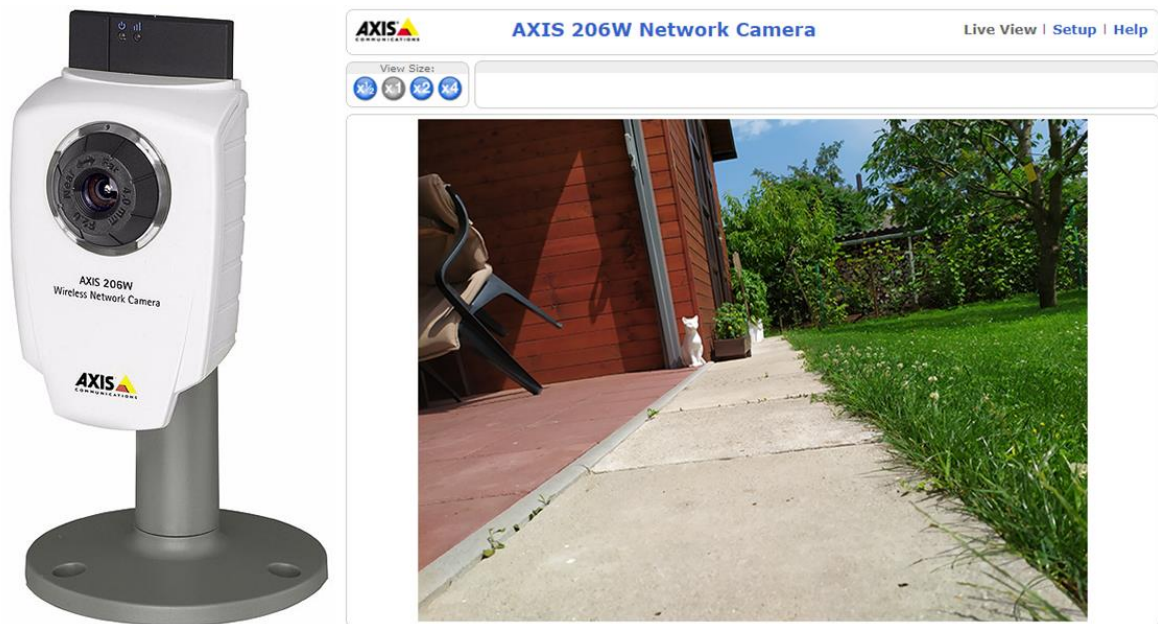


Obrázek 18: Radiomodem HW8612 [6]

Zelená dioda LED2 bliká, pokud je modem připojen do sítě. Pokud podržíme jediné tlačítko na modemu (v obrázku „Push button“) déle jak 3 sekundy, rozblíkají se obě LED diody a modem bude připraven k použití.

2.4 Webová kamera AXIS 206W

Díky své velikosti a váze je kamera pro vnitřní použití AXIS 206W ideální řešení v našem systému. Má vestavěné bezdrátové připojení WIFI 802.11b, zpracování obrazu je zajištěno pomocí CMOS senzoru. Kamera dokáže zaznamenat 30 snímků za sekundu v rozlišení 640x480. Má zabudovaný webový server, který můžeme využít ke sledování obrazu pomocí webového prohlížeče [11].



Obrázek 19: Webová kamera AXIS 206W [11] a její webové prostředí

Ve webovém prostředí kamery si po přihlášení můžeme nastavit specifické hodnoty, ve kterých se bude obraz nahrávat. Můžeme si nastavit rozlišení obrazu, kvalitu obrazu zvýšením nebo snížením komprese nebo třeba jestli chceme kontinuální záznam snímků tvořící video nebo generování jednoho snímku při každé aktualizaci stránky.

2.5 Přístupový bod ASUS WL-530GV2

Pro připojení kamery k internetu byl použit WIFI router ASUS WL-530GV2. Router využívá standard IEEE 802, který využívá i naše kamera. Zabezpečení obstarává 128bitové a 64bitové WPA šifrování.



Obrázek 20: WIFI router ASUS WL-530GV2

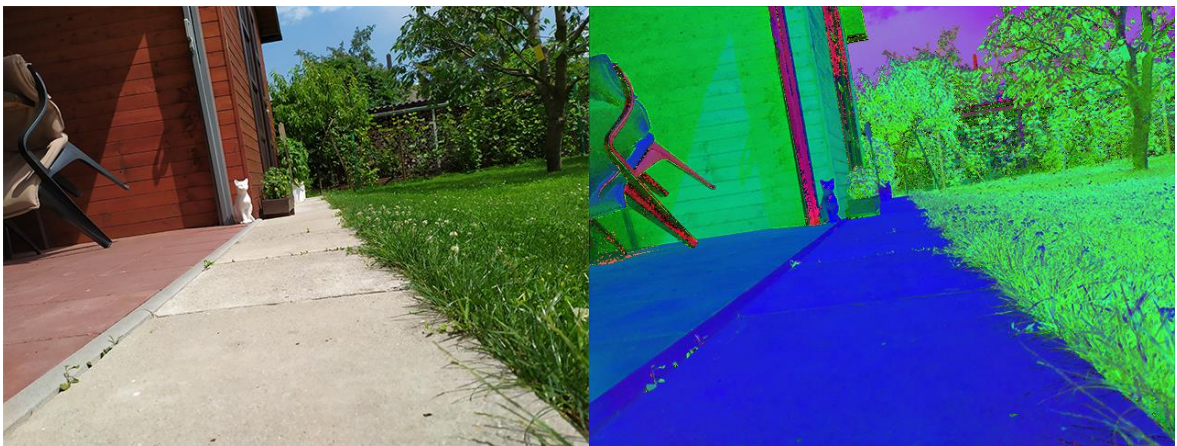
Po zapojení a zadání adresy 192.168.1.1 do prohlížeče se dostaneme do webového prostředí nastavení routeru, ve kterém zjistíme potřebné údaje pro propojení routeru s kamerou. Hodnoty zadáme do AXIS Setup Toolu, do kterého se dostaneme propojením kamery s PC pomocí USB a nastavíme si námi používanou statickou IP adresu, pomocí které se dostaneme přes webové prostředí k obrazu z kamery.

3 REALIZACE METODY ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Tato část bakalářské práce se zabývá použitím vybraných metod zpracování obrazu na reálných datech, jejich podrobným popisem a implementací na náš robotický systém.

3.1 Barevný prostor

Jako barevný prostor pro převod z RGB je využit prostor HSV, kvůli jeho nenáročnosti, rychlosti a relativně dobrým výsledkům.



Obrázek 21: Porovnání originálního RGB modelu a převedeného na model HSV

3.2 Preprocessing

Preprocessing je oblast, která se zabývá úpravou dat před samotným zpracováním.

Pro filtraci šumu je použito Gaussovo konvoluční jádro, pro které jsou použity doporučené parametry pro námi používanou funkci v programu Matlab [13].



Obrázek 22: Porovnání originálního obrázku a upraveného pomocí diskrétní dvourozměrné konvoluce s Gaussovým jádrem

Po použití diskrétní dvourozměrné konvoluce pro redukci šumu a následném převodu do HSV barevného modelu se nám obraz zjednodušil a v oblastech se složitější texturou jsme získali více homogenní úseky.



Obrázek 23: Porovnání originálního obrázku a upraveného pomocí diskrétní dvourozměrné konvoluce s Gaussovým jádrem a následném převodu do HSV modelu

3.3 Segmentační metoda

Pro segmentaci je využita metoda prahování. Tato metoda je časově nenáročná, díky získání výsledku již po prvním průchodu obrazu na rozdíl od jiných segmentačních metod. Každý pixel je podroben testu, ve kterém se určí, jestli je jeho hodnota jasu větší nebo menší než určený práh a následně bude podle výsledku pixel převeden na černý nebo bílý.



Obrázek 24: Porovnání originálního obrázku a upraveného pomocí diskrétní dvourozměrné konvoluce s Gaussovým jádrem, převedeným do barevného prostoru HSV s následnou aplikací metody prahování

3.4 Postprocessing

Pro dodatečnou úpravu obrazu jsou použité morfologické operace dilatace a eroze. Nejdřív je na obraz aplikováno morfologické uzavření a následné otevření, čímž získáme ucelenější obraz, kde jsou malé objekty spojeny dohromady, díry jsou zaplněny a hrany vyhlazeny. Následně jsou z obrazu odstraněny všechny objekty kromě největšího, tedy cesty.



Obrázek 25: Porovnání originálního obrázku a obrázku s morfologickým uzavřením



Obrázek 26: Porovnání originálního obrázku a obrázku s morfologickým uzavřením a následným otevřením



Obrázek 27: Porovnání originálního obrázku a finálního zpracovaného obrázku kde zůstává pouze největší objekt-tedy cesta

3.5 Program

Tato část práce se zabývá popisem vybraných částí programu našeho robotického systému. Rozebereme si program pro zpracování snímaného obrazu z naší kamery.

3.5.1 Získání obrazu z kamery

Získání obrazu z kamery je obstaráno pomocí příkazu *ipcam*, která se po zadání url adresy a přihlašovacích údajů do webového prostředí připojí na danou kameru a následným příkazem *snapshot* se obraz z kamery uloží.

```
camera=ipcam('http://192.168.1.2/axis-  
cgi/mjpg/video.cgi?resolution=640x480', 'root', 'admin')  
rgb=snapshot(camera);
```

3.5.2 Preprocessing

Na obraz je aplikován gaussův filtr s doporučeným parametrem jádra 2. Následně je obraz převeden do barevného prostoru HSV.

```
gauss = imgaussfilt(rgb,2);  
hsv = rgb2hsv(gauss);
```

3.5.3 Segmentační metoda

Pro segmentaci byla použita metoda prahování, kdy se porovnává hodnota jasů pixelu, který je následně podle výsledku převeden na černý nebo bílý.

```
image = hsv;
mean_image = imfilter(image, fspecial('average',[15,15]),'replica');
subtract = image-(mean_image+0.005); %%+0.01%%
black_white = im2bw(subtract,0);
```

3.5.4 Postprocessing

Pro dodatečnou úpravu obrazu bylo použito morfologické uzavření, následné otevření a nakonec byly z obrazu odstraněny malé předměty a je ponechán pouze největší.

```
%%morfologicke uzavreni%%
originalBW = black_white;
se = strel('disk',10);
closeBW = imclose(originalBW,se);

%%morfologicke otevreni%%
se = strel('disk',10);
openBW = imopen(closeBW,se);

%%prohozeni cerne a bile%%
reverseBnW=imcomplement(openBW);

%%vyfiltrovani vseh objektu krome nejvetsiho%%
BW2 = bwareafilt(reverseBnW,1);
BW3=imfill(BW2, 'holes');
```

3.5.5 Výpočet směru pohybu robota

Na závěr jsou vypočítány souřadnice, které určují následný směr pohybu robota.

```
props = regionprops(BW3, 'Centroid');
xCentroid = props.Centroid(1)
yCentroid = props.Centroid(2)

Bod_stredni = [xCentroid, yCentroid];
Bod_pocatek = [320, 480];
```

3.5.6 Grafické zobrazení

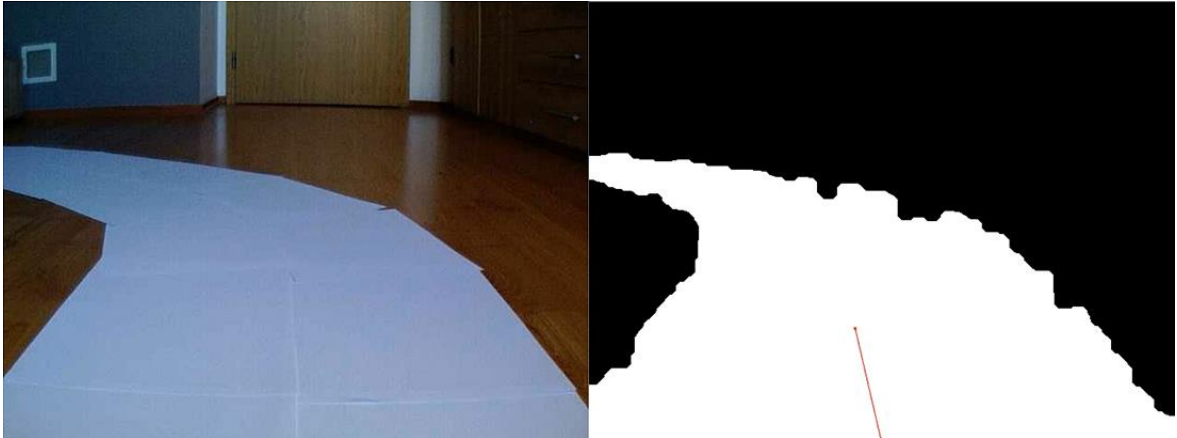
Pomocí příkazu *close* se zavřou všechna okna, je tedy zajištěno, že se bude aktualizovaný obraz zobrazovat do stejného okna a nebudou se otevírat nové. Následně je červeně vykreslena i plánovaná trajektorie pohybu robota. Po sekundové pauze je získán nový obraz z kamery a cyklus se opakuje.

```
close  
imshow(BW3);
```

```
hold on  
plot([Bod_pocatek(1) Bod_stredni(1)], [Bod_pocatek(2)  
Bod_stredni(2)], '-r')  
pause(1)
```

4 IMPLEMENTACE NA REÁLNÝCH DATECH

Jelikož je robot konstrukčně sestaven pro vnitřní použití, byla sestavena dráha z bílého papíru, reprezentující cestu, na které se má robot udržet. Test probíhal v odpoledních hodinách, pouze za denního světla.

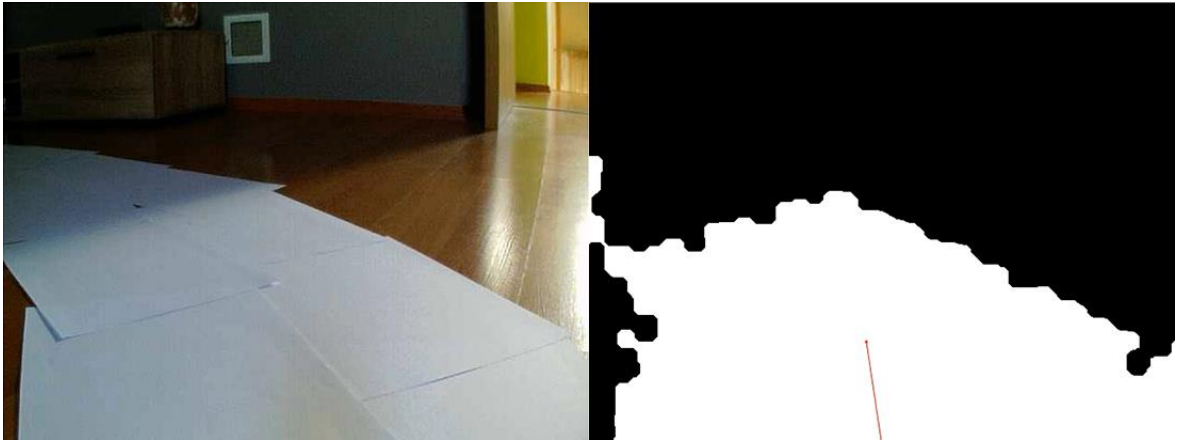


Obrázek 28: Originální a zpracovaný obraz za šera s denním světlem z jedné strany

Poté, co byl přidán faktor denního světla z jiného úhlu, vznikl v levé horní části stín a v pravé horní části lesklá plocha. Výsledný zpracovaný obraz si s odleskem dokázal porazit. Problém nastává s nově vzniklým stínem, který je zpracován jako pozadí. Stín je zatím v takové vzdálenosti, že trasu robota neovlivní.



Obrázek 29: Originální a zpracovaný obraz za šera s denním světlem ze dvou stran a výskytem stínu a lesklého místa



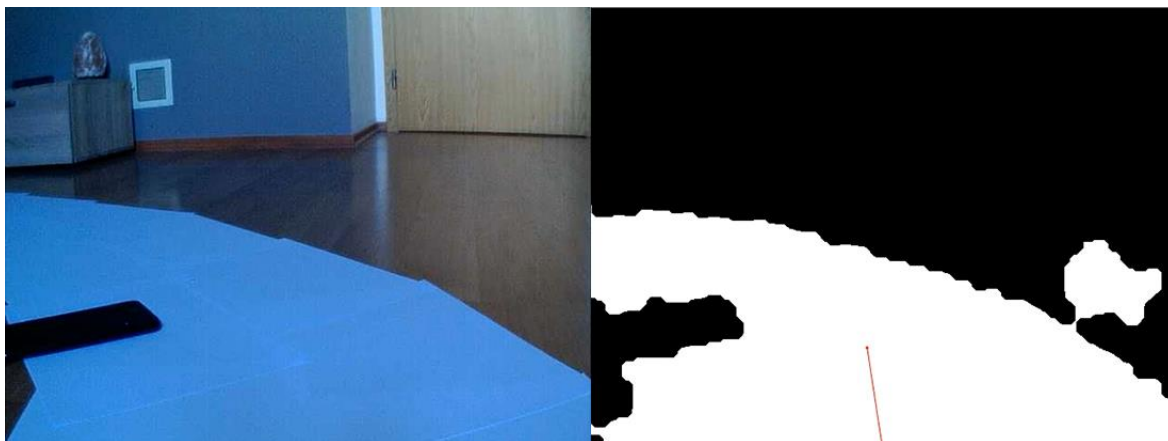
Obrázek 30: Originální a zpracovaný obraz s výskytem přechodu do stínu

Po dostatečném přiblížení ke stínu se dokáže obraz zpracovat správně a cestu najde. Trajektorie, pomocí které je robot naváděn se počítá pouze v blízké vzdálenosti, jelikož nepotřebujeme předpovídat trasu do velkých vzdáleností.

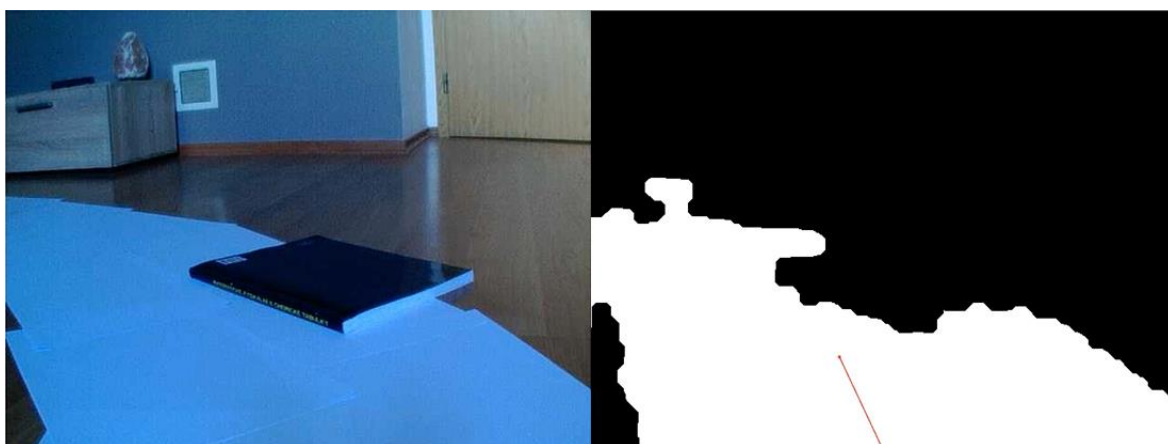


Obrázek 31: Originální a zpracovaný obraz po přiblížení ke stínu

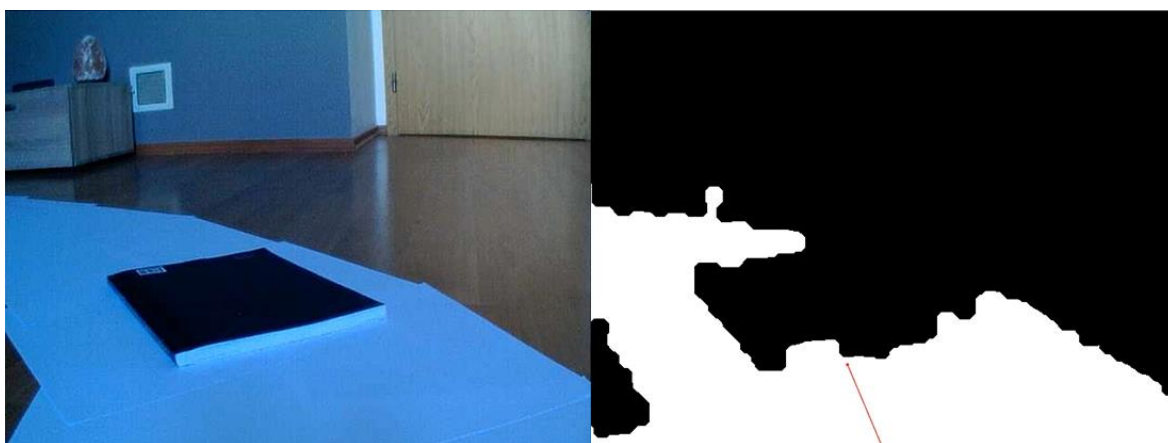
Ve chvíli, kdy se na okraji cesty objeví malá nebo velká překážka, program dokáže najít trasu, kterou se jí vyhne. Pokud je překážka velkých rozměrů a je uprostřed cesty, začíná mít program problém s nalezením trasy.



Obrázek 32: Originální a zpracovaný obraz s výskytem malé překážky na okraji cesty



Obrázek 33: Originální a zpracovaný obraz s výskytem velké překážky na okraji cesty



Obrázek 34: Originální a zpracovaný obraz s výskytem velké překážky uprostřed cesty

ZÁVĚR

Cílem práce bylo využít vizuální informaci získanou z kamerového systému pro navigaci mobilního robotického systému.

Teoretická část se zabývala metodami pro zpracování obrazové informace. Byly představeny barevné prostory, jak upravovat data před samotným zpracováním, co je to segmentace obrazu a následné metody pro dodatečnou úpravu obrazu po zpracování.

V praktické části byl představen samotný robotický systém. Blíže popsány byly použité motory, základní deska, komunikace pomocí radio signálu, použitá webová kamera a wifi router. V druhé polovině praktické části bylo blíže popsáno a programově realizováno zpracování obrazu pomocí zvolených metod zpracování obrazu. Jako programové prostředí byl použit MATLAB.

Nakonec byl program implementován do reálného prostředí a otestován. Byla získána data při použití robotického systému ve vnitřních prostorech za denního světla. Po zpracování obrazu jsme získali výsledky, ze kterých vyplývá, že program nemá problém s rozpoznáním cesty a navigací po ní i ve zhoršených světelných podmínkách. Překážkám na okraji cesty se program dokáže vyhnout, problém nastává při výskytu velké překážky uprostřed cesty, se kterou si program nedokáže dostatečně poradit.

Poslední bod práce, tedy pohyb robota na základě vizuální informace splněn nebyl. Nastal problém se zprovozněním radio komunikace na systému Windows 10, zároveň s využitím převodníku z RS232 na USB a softwarem, který měl poslední podporovanou verzi pro Windows XP. Tudíž jsem nemohl ovládat motory. Problém jsem konzultoval s technickou podporou firmy, která má radio modem na starosti, bohužel neúspěšně. Použít jinou bezdrátovou komunikaci jsem v časové tísni už nestihl.

Možným rozšířením a vylepšením systému by bylo připojení napájení kamery na baterie, tudíž by mělo smysl připojit na baterie i zbytek systému a celý robot by tedy nebyl polohově omezen na délku síťového kabelu. Dále by bylo ideální použít jinou bezdrátovou komunikaci pro ovládání motorů, která by nevyužívala například již zmíněný COM port, který na dnešních počítačích téměř nenalezneme.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Types of Morphological Operations [online]. [cit.:2020-22-7]. Dostupné z:
<https://ch.mathworks.com/help/images/morphological-dilation-and-erosion.html>
- [2] Image Segmentation using Mean Shift [online]. [cit.:2020-22-7]. Dostupné z:
<https://stackoverflow.com/questions/4831813/image-segmentation-using-mean-shift-explained>
- [3] ŠONKA, Milan, Václav HLAVÁČ a Roger BOYLE. *Image processing, analysis, and machine vision*. Second edition. Pacific Grove: PWS Publishing, [1999], xxiv, 770 s. ISBN 053495393X
- [4] Understanding convolutions [online]. [cit.:2020-22-7]. Dostupné z:
<http://colah.github.io/posts/2014-07-Understanding-Convolutions/>
- [5] OHAREK, PETR. *Ovládání internetové komunikační kamery se dvěma stupni volnosti*. Zlín, 2006. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta aplikované informatiky.
- [6] HW8612 MANUAL [online]. [cit.:2020-21-7]. Dostupné z:
<https://fccid.io/PGMHW86120001/User-Manual/users-manual-162771/>
- [7] GEVERS, T., SMEULDERS, A. W. M. *Colour based object recognition*, Pattern Recognition, 32, 453–464. 1999 [online]. [cit.:2020-16-7]. Dostupné z:
<https://staff.fnwi.uva.nl/th.gevers/pub/GeversPR99.pdf>
- [8] Max232 Pin out and Working [online]. [cit.:2020-21-7]. Dostupné z:
https://www.engineersgarage.com/knowledge_share/max232-pin-out-and-description/
- [9] *AIMOTOR-1001 MANUAL ver. 1.02*. Tribotix Megarobotic [online]. [cit.:2020-21-7]. Dostupné z:
<https://usermanual.wiki/Document/AIMOTOR1001manualv102.3026900133>
- [10] *MGR-BPT232 MANUAL*. Tribotix Megarobotic [online]. [cit.:2020-21-7]. Dostupné z: <https://usermanual.wiki/Document/MGRBPT232v100.4173164973>
- [11] *AXIS 206 Family Network Camera User's Manual*. 2nd ed. Axis, [2005] [online]. [cit.:2020-21-7]. Dostupné z: https://netcam.cz/produkty/ip-kamery/pdf/206_um.pdf

- [12] NIRAPURE, D., UDAYPAL R. *Fast Retrieval of Images Using Filtered HSV Color Level Detection*. International Journal of Emerging Techn-ology and Advanced Engineering, Vol. 3, No. 3, PP. 414-419, 2013.
- [13] 2-D Gaussian filtering of image. [online]. [cit.:2020-20-7]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imgaussfilt.html>
- [14] CHENG, YIZONG. *Mean shift, mode seeking, and clustering*. Vol. 17. NO. 8, s. 790-799. [online]. [cit.:2020-16-7]. Dostupné z: http://home.ku.edu.tr/mehyilmaz/public_html/mean-shift/00400568.pdf
- [15] Diskrétní dvourozměrná konvoluce [online]. [cit.:2020-16-7]. Dostupné z: <http://cgtucna.blogspot.com/2013/11/diskretni-dvourozmerna-konvoluce.html>
- [16] Reprezentace a vytváření barev [online]. [cit.:2020-16-7]. Dostupné z: https://wikisofia.cz/wiki/Reprezentace_a_vytv%C3%A1%C5%99en%C3%AD_barev
- [17] Morfologické operace [online]. [cit.:2020-16-7]. Dostupné z: http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Exercise10/content_cz.php
- [18] Implementing a Connected Component Labeling algorithm from scratch [online]. [cit.:2020-16-7]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/implementing-a-connected-component-labeling-algorithm-from-scratch-94e1636554f>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Barevný prostor HSV [12]	10
Obrázek 2: Na vstupní obraz je aplikováno konvoluční jádro, které upraví výstupní obraz podle nastavených parametrů jádra [4].....	13
Obrázek 3: Porovnání obrázku před a po použití filtru mean-shift [2].....	13
Obrázek 4: Porovnání originálního obrázku s obrázkem, na který je aplikována metoda prahování	14
Obrázek 5: Porovnání obrázku před a po použití metody vyplňování děr	16
Obrázek 6: Ukázka morfologického otevření – vlevo originál a vpravo po použití morfologického otevření [1].....	17
Obrázek 7: Ukázka morfologického uzavření – vlevo originál a vpravo po použití morfologického uzavření [1]	17
Obrázek 8: Robotický systém	19
Obrázek 9: AI-MOTOR 1001 [9]	20
Obrázek 10: Propojovací kabely MGR-LWW-10 a MGR-LWW-15 [9].....	20
Obrázek 11: Konektor AI-MOTOR 1001 [9]	21
Obrázek 12: Komunikace mezi kontrolerem a AI-MOTOR 1001 [9].....	22
Obrázek 13: Základní deska MGR-BPT232.....	23
Obrázek 14: Popis pinů a schéma obvodu MAX232 [8]	24
Obrázek 15: Radiomodul HW86010 s převodníkem signálu – popsán níže	25
Obrázek 16: Schéma převodníku [5]	25
Obrázek 17: Schéma stabilizátoru napětí s integrovaným obvodem LM317 [5]	26
Obrázek 18: Radiomodem HW8612 [6].....	27
Obrázek 19: Webová kamera AXIS 206W [11] a její webové prostředí	28
Obrázek 20: WIFI router ASUS WL-530GV2	29
Obrázek 21: Porovnání originálního RGB modelu a převedeného na model HSV.....	30
Obrázek 22: Porovnání originálního obrázku a upraveného pomocí diskrétní dvourozměrné konvoluce s Gaussovým jádrem.....	30
Obrázek 23: Porovnání originálního obrázku a upraveného pomocí diskrétní dvourozměrné konvoluce s Gaussovým jádrem a následném převodu do HSV modelu.....	31

Obrázek 24: Porovnání originálního obrázku a upraveného pomocí diskretní dvourozměrné konvoluce s Gaussovým jádrem, převedeným do barevného prostoru HSV s následnou aplikací metody prahování	31
Obrázek 25: Porovnání originálního obrázku a obrázku s morfologickým uzavřením	32
Obrázek 26: Porovnání originálního obrázku a obrázku s morfologickým uzavřením a následným otevřením.....	32
Obrázek 27: Porovnání originálního obrázku a finálního zpracovaného obrázku kde zůstává pouze největší objekt-tedy cesta.....	33
Obrázek 28: Originální a zpracovaný obraz za šera s denním světlem z jedné strany	36
Obrázek 29: Originální a zpracovaný obraz za šera s denním světlem ze dvou stran a výskytem stínu a lesklého místa.....	36
Obrázek 30: Originální a zpracovaný obraz s výskytem přechodu do stínu	37
Obrázek 31: Originální a zpracovaný obraz po přiblížení ke stínu	37
Obrázek 32: Originální a zpracovaný obraz s výskytem malé překážky na okraji cesty.....	38
Obrázek 33: Originální a zpracovaný obraz s výskytem velké překážky na okraji cesty.....	38
Obrázek 34: Originální a zpracovaný obraz s výskytem velké překážky uprostřed cesty.....	38

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Popis vlastností AI-MOTOR 1001	21
Tabulka 2: Popis funkcí konektorů	21
Tabulka 3: Popis funkcí základní desky	23

SEZNAM PŘÍLOH

P I Obsah CD

PŘÍLOHA P I: OBSAH CD

/text – text práce

/code – zdrojový kód programu

/data – obrázky z testování na reálných datech