

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

IMPLEMENTACE SOFTWAREVÉHO ROZHŘANÍ PRO KAMERU OMNIVISION

SOFTWARE INTERFACE IMPLEMENTATION FOR OMNIVISION CAMERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR TOMÁŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. STANISLAV VĚCHET, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Tomáš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

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

Implementace softwarového rozhraní pro kameru OmniVision

v anglickém jazyce:

Software interface implementation for OmniVision camera

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Barevná kamera s čipem OmniVision umožňuje, vzhledem ke svým rozměrům a dostupnosti, využití v mobilní robotice. Zejména u mobilních robotů, které nedisponují velkými rozměry a výkonnými řídicími jednotkami. Hlavním cílem této práce je prozkoumat a ověřit možnosti vybrané kamery na testovací úloze a zhodnotit její využití v mobilních robotech jejichž řídicí jednotka je založena na bázi mikrořadičů.

Cíle bakalářské práce:

Nastudujte možnosti barevné kamery s čipem OmniVision.

Navrhněte potřebné hw rozhraní pro připojení kamery.

Navrhněte strukturu softwarového modulu pro komunikaci.

Realizujte navržené hw rozhraní a implementujte modul pro komunikaci.

Vytvořené řešení otestujte.

Seznam odborné literatury:

www.hobbyrobot.cz

www.robotika.cz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Zde je vložena licenční smlouva.

Zde je vložena licenční smlouva.

Prohlášení o původnosti práce

Já Petr Tomáš, prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.

V Brně dne 27.5.2011

.....

Abstrakt

Hlavním cílem této bakalářské práce je provést analýzu a otestování možností speciálního kamerového modulu (obrazový čip firmy OmniVision) se závěrečným ohodnocením použitelnosti tohoto modulu v mobilní robotice.

V úvodní části práce byla použita výzkumná metoda porovnávání a hodnocení jednotlivých informací nejpoužívanějších kamerových systémů v mobilní robotice, kde hlavní prameny informací tvořily internetové zdroje. V další části práce byla aplikována vlastní výzkumná metoda, která napomohla k získávání dat, k vysvětlení důležitých pojmů a zároveň k novým informacím o vlastním kamerovém modulu. V závěrečné části práce bylo cílem použít doporučených programovacích jazyků za účelem vyřešení zkoumaného problému a vyvodit vlastní závěry pro praxi.

Celá tato bakalářská práce poskytuje návrh implementace hardwarového a softwarového rozhraní pro vybraný kamerový modul. Vyvinutím vlastní testovací aplikace práce reprezentuje základní možnosti snímacího senzoru, a zároveň vytváří podklad pro použití kamerového modulu v nejrůznějších aplikacích a poskytuje novým uživatelům potřebné informace k rychlému a k efektivnímu používání této či obdobné kamery s čipem OmniVision. Modul je vhodný k použití v mobilní robotice a lze ho doporučit mobilním robotům, kteří disponují malými rozměry a nízkými energetickými kapacitami. Konkrétně modul umožňuje předzpracování obrazu díky jeho programovatelnosti a širokým možnostem nakonfigurování snímané scény přímo u obrazového čipu.

Abstract

The main aim of this bachelor degree thesis is to analyse and test potential of special camera module (OmniVision image sensor) and to evaluate its applicability to the mobile robotics.

In the first part of this work a research method was used which compares and evaluates information gained from the camera systems most widely used in the mobile robotics. The main source for this part of the work was Internet. In the next part, research method was applied which helped to obtain data, to explain important concepts as well as to get new information about the camera module itself. The conclusion of this thesis focuses on the use of the recommended programming language in order to solve the problem which was under examination and to draw my own conclusions concerning the applicability of the image sensor to the practise.

This bachelor degree thesis offers a suggestion how to implement hardware and software interface for the camera module chosen. A new test application was developed for the purpose of this work to represent basic potential of the image sensor. It also creates basis for the use of the camera module in different applications. This work also provides factual information for new users how to use this or similar camera with OmniVision sensor quickly and effectively. This camera module is suitable for the mobile robotics and it can be recommended for small mobile robots with low energy content. Concretely, this module makes it possible to pre-elaborate the image due to its program possibilities and wide range of ways how to configure the scanned scene right in the image sensor.

Klíčová slova

Mobilní robotika, robotické soutěže, kamerový modul C3088, mikrokontrolér, CMUcam3, implementace, Windows aplikace

Keywords

Mobile robotics, robot competitions, C3088 camera module, microcontroller, CMUcam3, implementation, Windows applications

Bibliografická citace VŠKP

TOMÁŠ, P. *Implementace softwarového rozhraní pro kameru OmniVision*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 69 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Stanislav Věchet, Ph.D..

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především mému bratru Ing. Michalu Tomášovi, vedoucímu bakalářské práce Ing. Stanislavu Věchetovi, Ph.D. a Ing. Miroslavu Zezulovi za pomoc, cenné rady a věnovaný čas při tvorbě závěrečné práce.

V neposlední řadě bych také rád poděkoval celé mé rodině a všem blízkým, kteří mi svou tolerancí a trpělivostí vytvořili podmínky pro vytvoření této práce.

Obsah

Zadání VŠKP	3
Licenční smlouva	5
Abstrakt a klíčová slova	7
Bibliografická citace VŠKP	8
Poděkování	9
Obsah	11
1. ÚVOD	13
2. SNÍMÁNÍ OBRAZU V MOBILNÍ ROBOTICE	15
2.1 Srovnání obrazových technologií CCD a CMOS	15
2.2 Robotické soutěže	17
2.2.1 <i>Robotický fotbal</i>	17
2.2.2 <i>Robotour</i>	19
2.2.3 <i>Fieldrobot</i>	21
2.2.4 <i>Grand Challenge</i>	23
2.2.5 <i>Ostatní soutěže</i>	23
3. DIGITÁLNÍ KAMERA C3088	25
3.1 Základní popis	25
3.2 Objektiv	26
3.3 Snímání obrazu - CMOS senzor OV6620	26
3.3.1 <i>Základní informace</i>	27
3.3.2 <i>Princip činnosti</i>	27
3.3.3 <i>Spektrální citlivost</i>	28
3.3.4 <i>Snímací režim</i>	29
3.4 Zobrazení obrazu.....	30
3.4.1 <i>Analogové rozhraní</i>	30

3.4.1	<i>Digitální rozhraní</i>	31
3.4.2	<i>Barevné modely - reprezentace obrazu</i>	32
3.5	Registry	34
3.6	Specifické vlastnosti	35
3.7	Piny	36
3.8	Příklady projektů s kamerou C3088	36
3.8.1	<i>AVRCam</i>	36
3.8.2	<i>BlazingCore</i>	37
3.8.3	<i>CMUcam</i>	38
4.	PRAKTICKÁ REALIZACE	41
4.1	Implementace hardwaru	41
4.1.1	<i>CMUcam3</i>	41
4.1.2	<i>Testovací sestava hardwaru</i>	44
4.2	Implementace softwaru	45
4.2.1	<i>Firmware</i>	45
4.2.2	<i>Windows aplikace</i>	49
4.3	Testování	53
4.3.1	<i>Analogový výstup</i>	53
4.3.2	<i>Digitální výstupy</i>	54
5.	ZÁVĚR	59
	Seznam použité literatury	61
	Seznam obrázků	64
	Seznam tabulek	66
	Přílohy	68

1. ÚVOD

Zrak jako jeden z nejdůležitějších smyslových orgánů v lidském těle reaguje na světlo, různé barvy a tvary z našeho světa, který nás obklopuje. Zrak je tedy velkým zdrojem nejrůznějších informací pro člověka. Ve velice perspektivním oboru *mobilní robotika* se snažíme v dnešní době tento smysl nějakým způsobem nahradit. K tomu nám může sloužit tzv. *kamerový systém* (optický senzor), který se v dnešní době stále více používá jako hlavní informační kanál pro robota.

Tato bakalářská práce se specializuje na určitou digitální kameru, která je předmětem řešení v rámci většího robotického projektu na Ústavu informatiky a řízení. Předem bylo vybráno takové provedení kamerového modulu, které by splňovalo potřeby mobilní robotiky, tj. malý rozměr, kompaktní realizace a plně programovatelné řešení snímání obrazu na bázi jednočipových mikropočítačů. Nezbytným faktorem byla při výběru dostupnost i pořizovací cena. Na základě těchto stanovených kritérií byl vybrán speciální kamerový modul vyrobený firmou COMedia Ltd., který disponuje snímacím čipem od firmy OmniVision. Produkt nese obchodní označení C3088.



Obr. 1 – Logo firmy OmniVision Technologies Inc.. [1]

Americká společnost *OmniVision Technologies Inc.* [1] se zabývá návrhem a vývojem digitálních obrazových senzorů. Její produkty můžeme nalézt např. v mobilním telefonu iPhone 4 od firmy Apple Inc. nebo v HTC EVO 4G od firmy HTC Corporation.

Hlavním cílem této bakalářské práce je prozkoumat a otestovat všechny zajímavé možnosti vybrané barevné digitální kamery. A následně zhodnotit využití tohoto kamerového řešení v mobilní robotice.

Jeden z dílčích cílů práce zkoumá návrh potřebného hardwarového rozhraní pro připojení kamery. Tento interface musí zajistit dostatečně rychlé zpracování obrazu. Obecně zvolit dostatečně výkonný jednočipový mikropočítač (mikrokontrolér) s možností odesílat obrazová data přes externí sběrnici do PC.

Nejdůležitějším cílem práce je návrh a implementace softwarového rozhraní pro vybraný hardware (firmware), který bude řídit a zpracovávat obrazové informace z kamerového modulu. Dále je nutné navrhnout Windows testovací aplikaci, která bude zobrazovat snímání obrazu a interpretovat možnosti kamery. Proces implementace softwaru spočívá v naprogramování účelného řešení.

Závěrečná část práce se věnuje realizování, otestování a ověřování navrženého hardwarového a softwarového řešení na základě vytvořené Windows aplikace.

Smyslem všech úkolů je, aby vybraná digitální kamera dosáhla funkčního stavu a skrze vytvořený software poskytla možnost objevit její snímací vlastnosti.

Celá tato práce je rozdělena na tři hlavní části. První dvě části jsou rešeršního rázu. Počáteční část zkoumá digitální kamery obecně používané v mobilní robotice, což vytváří základ na výsledné zhodnocení kamerového modulu. Další část čerpá z dostupné literatury a vysvětluje všechny důležité informace o vlastní kameře C3088. Třetí část se zabývá řešením problému implementace hardwarového a softwarového rozhraní, který plyne ze zadání bakalářské práce, s následným praktickým prozkoumáním a ověřením možností kamerového zařízení v provozu.

2. SNÍMÁNÍ OBRAZU V MOBILNÍ ROBOTICE

Druhá kapitola se zabývá technologiemi snímání obrazu a přehledem kamerových systémů používaných v mobilní robotice.

2.1 Srovnání obrazových technologií CCD a CMOS

CCD (charge coupled device) a CMOS (complementary metal oxide semiconductor) jsou dvě technologie (dva typy obrazových snímačů), které jsou v dnešní době, v oblasti digitálních fotoaparátů a kamer, nejpoužívanější. Oba tyto optické sensorické systémy snímají světlo a převádějí ho na elektrické signály, které se posléze převedou na digitální informace. Snímání zajišťují fotocitlivé buňky, které jsou umístěny na ploše čipu. [2]

O technologii CMOS se obecně hovoří spíše jako o výrobní technologii, kterou se vyrábějí nejrůznější integrované obvody, jako jsou mikroprocesory, jednočipové počítače, statické paměti RAM (random access memory) a také obrazové senzory. S pojmem výrobní technologie se nejvíce mluví o velikosti čísla, které nám říká o šířce tranzistoru na čipu. Dnešní běžná velikost výrobní technologie je 22 nm [3]. První CMOS obrazové senzory spatřily světlo světa již v 70 letech minulého století. Avšak vývoj těchto čipů v oblasti běžného snímání obrazu se datuje až k počátku 90. let. [4]

CCD bylo vyvinuto speciálně pro kamerový průmysl, mluvíme tedy o něm pouze ve snímání technice. O vynalezení prvotního CCD čipu se nejvíce zasloužili pánové Willard Boyle a George E. Smith v roce 1969. Za tento vynález dostali v roce 2009 Nobelovu cenu. První komerční zařízení s CCD čipem bylo vyrobeno v roce 1975 a jednalo se o televizní kameru. Postupem času se tyto čipy začaly objevovat např. ve čtečkách čárových kódů či skenerech. V dnešní době se používají především v digitálních fotoaparátech a kamerách. [5]

Pokud chceme porovnat tyto dvě technologie, nelze jednoznačně určit, která je nejlepší. První rozdíl nastává již při výrobě. Technologie výroby CCD čipů je o mnoho náročnější, CCD čip dokáže vyrobít jen málo světových firem [2]. CMOS senzory se vyrábí standardním způsobem jako většina polovodičových součástek. Z tohoto vyplývá, že pořizovací cena CCD čipu je větší oproti CMOS čipu.



Obr. 2 – CCD čip o velikosti 1/3 palce (vlevo), CMOS čip o velikosti 1/4 palce (vpravo). [5]

Další odlišností je snímání scény. U CCD se obraz zaznamenává pomocí tzv. *analogových posuvných registrů* [6]. Výsledkem je analogový signál, který se musí digitalizovat. Digitalizaci zajišťují obvody založené na výrobní technologii CMOS. Vznikl tedy nápad integrovat obrazový snímač a analogově digitální převodník (A/D) na jeden čip vyrobený právě technologií CMOS [6]. Výstupem je již digitalizovaný signál.

Rozdíl dále nastává i při zpracování dat z čipu. U CMOS každá fotocitlivá buňka disponuje jednoduchým obvodem, který se stará o zesílení a o přenos signálů do procesoru. V okolí CCD buněk žádná elektronika není [2]. Elektrické signály putují přímo do řídicí elektroniky.

Ve větší míře díky těmto rozdílům je celkově CMOS technologie na prostor méně náročná [2] a má i nižší spotřebu elektrické energie v desítkách miliwattů. CCD má spotřebu zhruba o jeden desítkový řád větší.

Typ senzoru	CCD	CMOS
Cena	vysoká	nízká
Rozměry řešení	vyšší	nízké
Spotřeba	vysoká	nízká
Kvalita obrazu	vysoká	nižší až nízká
Citlivost	vysoká	střední
Rozlišení	vysoké	střední
Komplexnost čipu	vysoká	nižší až nízká
Digitální šum	nízký	vysoký
Rychlost	nižší až vysoká	vysoká
Dynamický rozsah	vysoký	nižší
Možnost výřezu	nativně žádná	ano

Tab. 1 – Rozdíly mezi CCD a CMOS technologiemi. [4]

Ze srovnávací tabulky je zřejmé, že každá technologie má své klady i zápory a obě jsou vhodné pro jiné použití. Nelze tedy jednoznačně určit, která je lepší či horší.

Za poslední léta jsou největší novinkou z oblasti obrazových senzorů tzv. *BSI* (Backside Illumination) CMOS čipy [4], se kterými přišla roku 2009 společnost Sony. Změna spočívá v přesunutí elektroniky za světlo-citlivou část, čímž naroste činná plocha téměř na 100%. Je vidět, že technologie CCD a CMOS se stále vyvíjejí, soupeří mezi sebou a chtějí své hlavní nevýhody eliminovat.

2.2 Robotické soutěže

Tato podkapitola analyzuje robotické závody se zaměřením na druhy nejpoužívanějších číslicových kamer a způsoby jejich použití.

Mobilní robotika se v dnešní době hlavně rozvíjí díky nejrůznějším soutěžím [7], kde roboti mají speciální úkoly a soupeří či spolupracují mezi sebou. V těchto turnajích často soutěží zcela autonomní roboti nebo člověkem ovládaní. Roboti používají k získávání informací z okolí nejrůznějších senzorů, kde v neposlední řadě zde nechybí ani digitální kamera. Kamera obsahuje obrazový snímač, který reaguje na světlo a podobně jako u člověka oko zajišťuje u robota „zrak“. Tento informační kanál robotovi slouží k orientaci či navigaci v prostředí, k rozeznávání různých překážek anebo k rozpoznávání barev (pokud se použije barevná kamera).

Obrazový senzor tedy zachytí potřebné informace, které se následně digitalizují na obrazová data. Tyto data by byla robotovi nepotřebná, když by se následně nepoužilo tzv. *segmentace* a tzv. *klasifikace* obrazu [8].

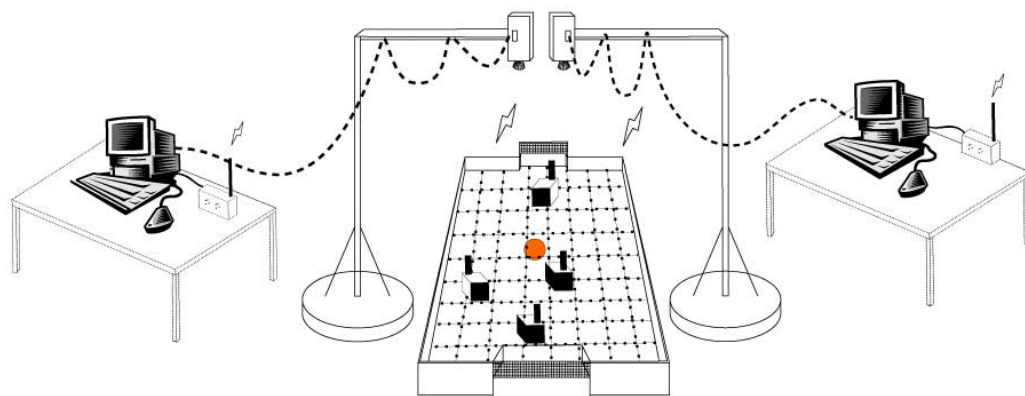
Segmentace obrazu jsou různé metody, které vytvářejí z částí obrazu oblasti (objekty), které mohou být pro robota užitečné. Probíhá např. zvýraznění hran nebo konkrétně se provádí zvýraznění cesty, po které se bude robot pohybovat.

Klasifikací obrazu se rozumí ohodnocení objektů či oblastí, které byly vytvořeny segmentací, kde jednotlivým pixelům z obrazu se přiřazuje určitá informace.

2.2.1 Robotický fotbal

Robotický fotbal je populární mezinárodní soutěž, která je pod vedením organizace FIRA (Federation of International Robot-soccer Association), a která byla založena roku 1997 [9]. V této soutěži se hraje klasický fotbal, co hrají lidé. Rozdíl je v tom, že do míče nekopají lidé, ale roboti. Turnaje, které se pořádají po celém světě, se konají hned v několika kategoriích. Rozdíly v kategoriích jsou dány v rozměrech hřiště a v robotech samotných (humanoidní, kolové atd.).

Jedna z nejoblíbenějších tříd robotického fotbalu je soutěž MiroSot (Micro Robot World Cup Soccer Tournament). Pro hru tři proti třem má hřiště obdélníkový tvar o rozměrech 150x130 cm. Roboti jsou kolové a mají podobu malé krychličky. Oba hrající týmy mají svojí kameru a řídicí počítač. Kamerový systém je umístěn staticky nad hřištěm. K získávání informací o poloze jednotlivých hráčů a míče se používají většinou barevné CCD kamery. Optické senzory musí dostatečně rychle snímat scény, protože jednotliví hráči se po hřišti pohybují rychlostí až 1,5 m/s. Roboti jsou řízeni dálkově s aplikováním algoritmů počítačového vidění [9].



Obr. 3 – Schéma uspořádání pro soutěž Mirobot. [9]

Zajímavou kategorií v robotickém fotbalu je také turnaj RoboCup (Robot Soccer World Cup) [10]. Fotbaloví hráči jsou humanoidního typu, což znamená, že se podobají člověku. Soutěž je optimalizována na snímání obrazu. Je tedy potřeba kvalitní barevné kamery, která je umístěna na každém robotovi. Hráči jsou zcela autonomní.

V soutěži RoboCup se objevují cenově dostupné, tzv. *web kamery*. Webové kamery jsou běžná příslušenství k osobním počítačům, kde nastavením lze většinou pouze mírně upravovat obraz na výstupu, a které komunikují přes sběrnici USB (Universal Serial Bus). K těmto kamerám je dodávám výrobci software, díky kterému můžete se zařízením za pár chvil pracovat.

Jako příklad webové kamery lze uvést Microsoft LifeCam HD-5000. Disponuje obrazovým snímačem CMOS 1,3 Mpx (Megapixel). Procesor dokáže zpracovat videozáznam až 30-ti snímků za sekundu o rozlišení 1280x720 pixelů. A dalšími vlastnostmi jsou automatické zaostřování a možný záznam zvuku integrovaným mikrofonom.



Obr. 4 – Webová kamera Microsoft LifeCam HD-5000 s CMOS čipem. [10]

Jiný typ snímacího zařízení, které lze použít je speciální tzv. *všesměrová kamera*. Tato kamera využívá asférického zrcadla, které bez nutnosti otáčení umožňuje pohled v rozsahu 0 až 360°. Příkladem může být model VS-C14U-80-ST [10], který je již cenově méně dostupný. Tento model používá 1/3 palcový CCD obrazový senzor, který dokáže zobrazit až 16,7 milionu barev a je schopen zaznamenat video snímky 30-krát za sekundu v rozlišení 1024x768 pixelů. Napájení a komunikace je realizována přes sběrnici USB. Vertikální zorný úhel je 15° až -55°.



Obr. 5 – Všesměrová kamera VS-C14U-80-ST s CCD čipem a ukázka obrazu. [10]

2.2.2 Robotour

Robotour (outdoor delivery challenge) [11] je soutěž původem z České republiky, která se poprvé konala roku 2006. Závody probíhají vždy v nějakém městském parku, kde soutěží plně autonomní roboti, kteří se pohybují po parkových cestičkách. První tři ročníky byly pořádány v parku Stromovka v Praze, následující závody se uskutečnily v parku Lužánky v Brně, v bratislavském parku na Slovensku a letošní se budou konat ve Vídni v Rakousku.

Hlavním úkolem robotů je, aby v zadaném časovém limitu projely po cestičkách určitou trasu v parku. Aby robot věděl, kde se nachází, potřebuje mapu. Dříve si týmy mapy vytvářely sami, ale od ročníku 2010 je povolena pouze mapa od organizátorů, která je vytvořena vektorizací ortofotomapy. Družstva si tento mapový plán mohou dále vylepšovat. V průběhu let se tedy pravidla vždy trochu změní, vylepší se, ale tím se soutěž stává náročnější. Jedny z pravidel jsou požadavky na detekci překážek, možnost dopravy nákladu pro větší bodové ohodnocení či možnost kooperace až tří robotů v týmu. Roboti startují z neznámých pozic hromadným startem, kde těsně před startem jsou obdrženy souřadnice cílového bodu.

Pro orientaci v prostoru či detekci překážek jsou používány různé GPS (Global Positioning System) moduly, ultrazvukové senzory, kompas, laserové skenery a v neposlední řadě se používají i digitální kamery.

Příkladem týmu, kde byly použity číslicové kamery, může být seskupení FoG [12]. Tento tým použil tři robotů s pracovními názvy Head, Body a Tail. Robot Head měl navigaci založenou na rozpoznávání cesty s pomocí významných objektů ve snímaném obrazu. Roboti Body a Tail sledovaly kamerou objekt výrazné barvy na robotu před nimi.

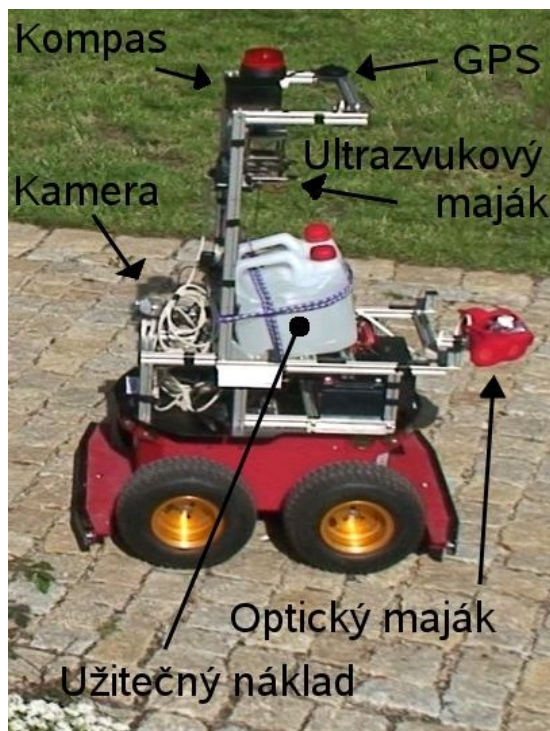
Hlavním kamerovým systémem byla použita barevná jednočipová průmyslová kamera Fire-i 400, která se nacházela na robotovi Head. Kamera poskytovala RGB obraz rychlostí 15 snímků za sekundu při rozlišení 640x480 pixelů. S palubním počítačem (procesor Intel Core 2 Duo – 2 GHz) komunikovala přes sériovou sběrnici FireWire (IEEE

1194). Výhodou této kamery je uzávěrka a manuálně nastavitelná clona. Použitý objektiv zajišťoval zorný úhel 45 stupňů.



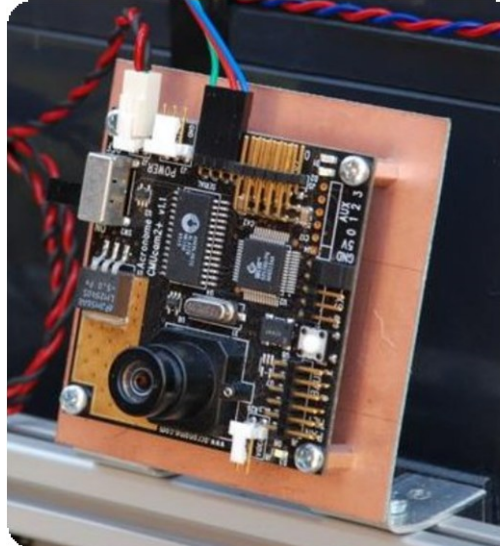
Obr. 6 – Průmyslová kamera Fire-i 400 se Sony CCD čipem. [12]

Body robot disponoval běžnou USB webovou kamerou s plastovou optikou a čipem OmniVision OV7648 [13], který je schopen zaznamenávat obraz o rozlišení 640x480 bodů. Sejmuté snímky byly ve formátu JPEG (Joint Photographic Experts Group), které se následně přenesly na zpracování do počítače, který byl osazen procesorem Intel Pentium III (900 MHz).



Obr. 7 – Robot Body s webovou kamerou s OmniVision CMOS čipem. [13]

Třetí robot Tail byl vybaven kamerovým modulem CMUcam2 [13], který je jednodušším avšak inteligentním kamerovým systémem. Kromě snímání obrazu umožňuje zpracovávat obraz přímo u obrazového snímače.



Obr. 8 – Inteligentní kamerový modul CMUcam2 s CMOS OmniVision čipem. [13]

Kamera pracovala v rozlišení 160x85 pixelů s rychlostí snímání 15 barevných snímků za sekundu. Výhodou bylo, že šlo o jednoduché zpracování obrazu v reálném čase. Další výhodou tohoto modulu oproti běžným webovým kamerám bylo sériové rozhraní s TTL logikou (Transistor Transistor Logic), které umožňovalo připojení k běžným mikrořadičům. Nebylo tedy potřeba převodníků napětových úrovní či další obvodů. Předzpracovaný obraz se posílal dále do palubního počítače, který byl osazen procesorem XScale PXA25 o taktu 400 MHz.

Použití digitální kamery jako hlavního senzoru se vyskytuje u mnoha týmů. Objevují se zde také IP kamery (např. IP kamera Intellinet LX550710 u týmu BestBase) či fotoaparáty s možností záznamu videa. Dále jsou kamery dovybaveny například širokoúhlým objektivem nebo panoramatickým zrcadlem, které zajišťuje možnost snímání scény pod horizontálním úhlem 360°. Některé týmy používají tzv. *stereo-vidění*, kde je obraz zpracováván ze dvou kamer. [11]

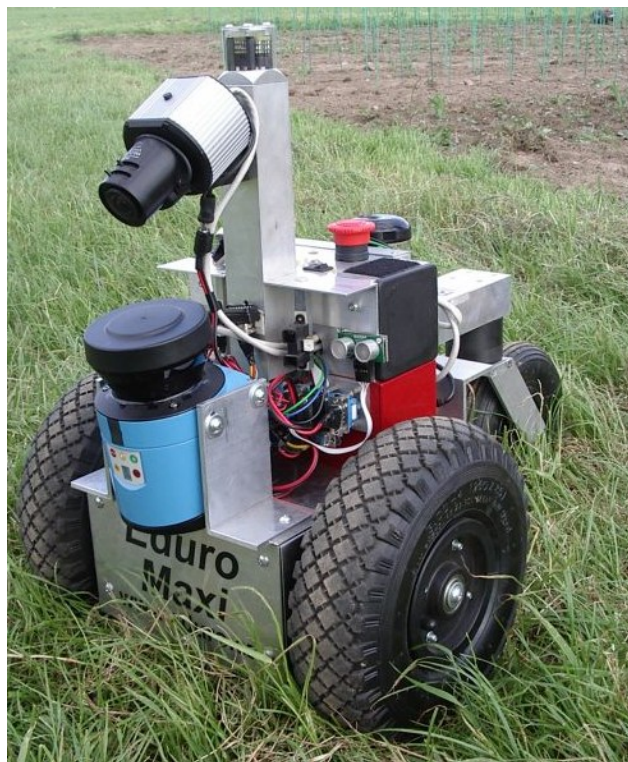
2.2.3 Fieldrobot

FRE (Field Robot Event) [14] je mezinárodní tzv. *outdoor* soutěž autonomních robotů, která se poprvé konala v roce 2009 v Německu. Téma soutěže zasahovalo do oboru zemědělství se zaměřením na automatizovanou zemědělskou techniku, kde nápad vznikl na akademické půdě.

Hlavním úkolem robotů v těchto závodech je co nejrychleji se pohybovat (navigovat) v poli mezi řádkami kukuřice pod podmínkou nepoškození žádné rostliny.

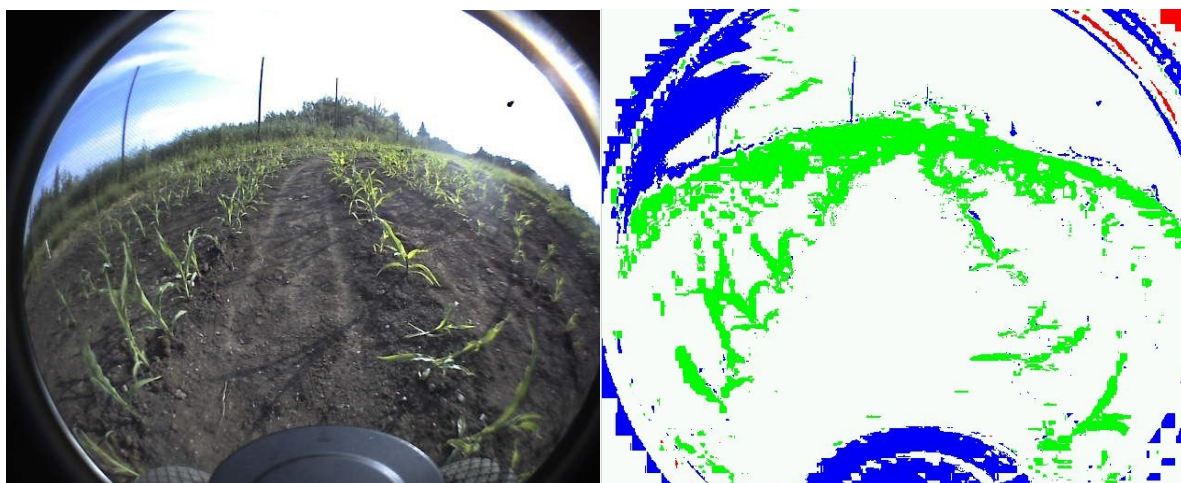
I zde v této soutěži některé týmy použily jako hlavní senzor digitální kameru. Příkladem může být tým Eduro Team [15]. Tento tým použil tzv. Eduro (EDUCational ROBot) modulární mobilní robotickou platformu, která byla postavena na SMAC (Stepper Motor – Adaptive Control) technologii. Konkrétně byl použit robot

Eduro Maxi HD (viz obr. 9). Mezi hlavní senzory tohoto robota patří IP kamera s širokoúhlým objektivem, laserový dálkoměr LMS100, kompas, odometrie a sonar. O řízení se stará procesor řady x86.



Obr. 9 – Autonomní robot Eduro Maxi HD s IP kamerou. [15]

Pro navigaci autonomního robota pomocí kamery byla použita barevná segmentace, s následným analyzováním počtu zelených pixelů vlevo a vpravo ve směru jízdy. Příklad reálného a segmentovaného snímku je na obr. 10.



Obr. 10 – Reálný pohled z kamery (vlevo), barevná segmentace snímku (vpravo). [15]

2.2.4 Grand Challenge

Grand Challenge [16] byla soutěž autonomních vozidel (robotů), kterou vyhlásila americká agentura DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency). Tyto závody se konaly zatím pouze třikrát a to naposled v roce 2007 (Urban Challenge). Cílem soutěže Grand Challenge bylo se dostat v pusté krajině náročného terénu z místa A do místa B s plně autonomním vozidlem. Soutěž se stala velice náročnou, jelikož vozidla musela ujet stovky kilometrů v časovém limitu.

Sestavení takového vozidla bylo velmi náročně technicky i cenově. Vítězem ročníku 2005 se stalo vozidlo *Stanley* [17], které vzniklo na Stanfordské univerzitě v Kalifornii s přispěním automobilky Volkswagen. Toto vozidlo pro snímání okolí používalo pět laserových dálkoměrů (LIDAR-Light Detection And Ranging), radar a dvojice digitálních kamer jako stereo kameru, která sloužila na sledování jízdních podmínek až do vzdálenosti 80-ti metrů (mimo dosah LIDARu), aby byl zajištěn dostatečný prostor pro zrychlení vozidla.

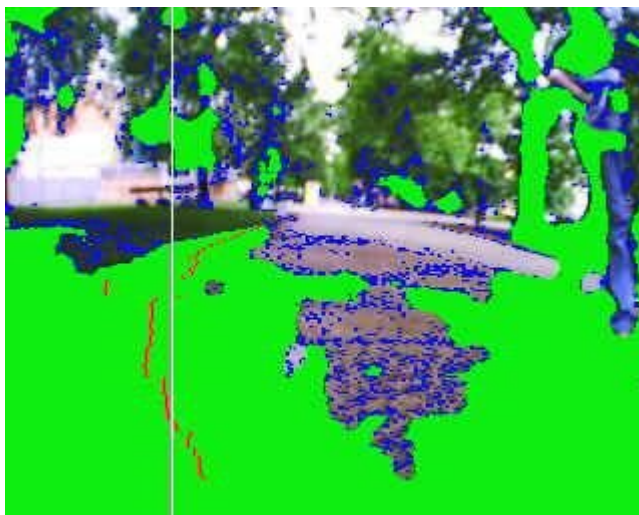


Obr. 11 – Autonomní vozidlo Stanley používající stereo kameru. [17]

2.2.5 Ostatní soutěže

Zde jsou uvedeny jen stručně další soutěže, kde se používá kamerové zařízení u mobilních robotů.

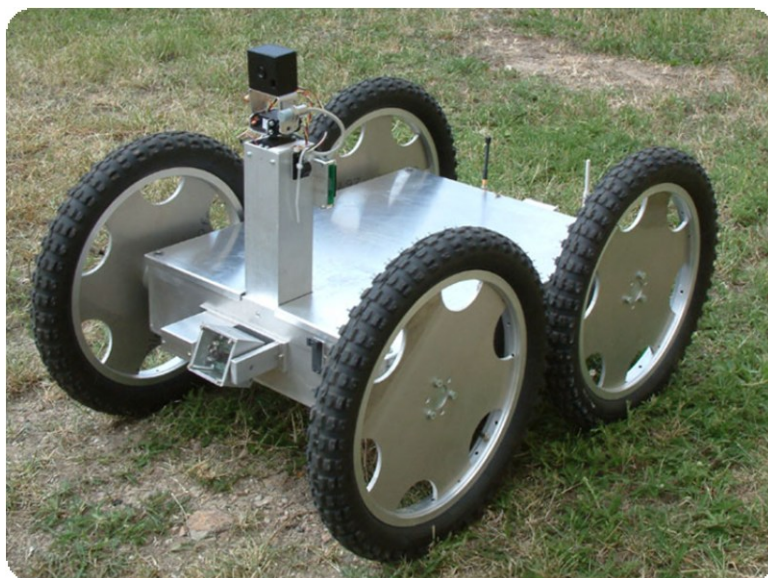
Soutěž autonomních robotů se zvláštním názvem *Robotem rovně* [18] pořádal Radioklub Písek. Vyhrál zde ten, kdo dojel nejdále po rovné parkové cestičce, která dosahovala délky zhruba 300 metrů. Tento zdánlivě jednoduchý úkol se pro mnohé stal nesnadným. I v této soutěži použilo mnoho týmů k orientaci robota kameru.



Obr. 12 – Pohled z „oka“ robota týmu ARbot. [18]

Dalším zajímavým typem soutěže může být závod záchranářských robotů *Rescue* [19]. Úkolem robotů je nalézt lidské oběti (figuríny) v daném modelu zříceného domu. Tato soutěž proběhla v Itálii v roce 2003 a zúčastnil se jí i robot z VUT Brno jménem *Orpheus* [20], který byl vybaven třemi kamerami. Dvě černobílé a velmi citlivé kamery, které byly pohyblivé v jedné ose v rozsahu 180° a umožňovaly pohled vzad a vpřed. Třetí vrchní kamera byla barevná kamera s vysokým rozlišením, která poskytovala kvalitní video snímky operátorskému stanovišti.

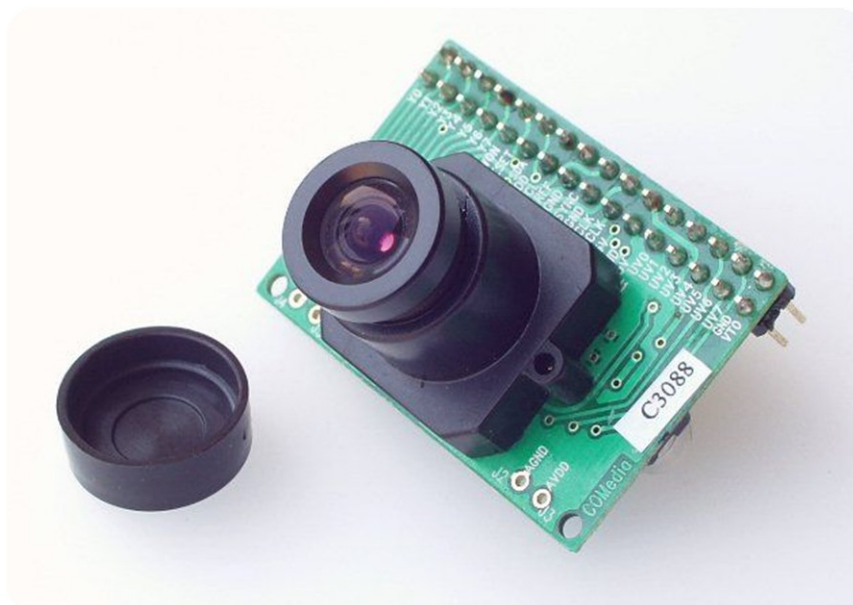
Této soutěže se například zúčastnil německý tým, který použil tzv. *termovizní* kameru, která sloužila k analýze teploty okolí.



Obr. 13 – Záchranářských robot *Orpheus* (vybaven třemi kamerami). [20]

3. DIGITÁLNÍ KAMERA C3088

Třetí kapitola se zabývá detailní charakteristikou vybrané kamery C3088. Popisují se zde její hlavní vlastnosti a možnosti. Dále je vysvětleno na jakých principech a technologiích modul pracuje.



Obr. 14 – Kamerový modul 3088 s čipem OmniVision 6620.

3.1 Základní popis

C3088 [21] je speciální 1/4" kamerový modul s malými rozměry 40x20 mm. Modul disponuje objektivem a 32 konektorovými kolíky, které jsou vyvedeny z integrované desky.

Jádrem kamery je barevný digitální obrazový CMOS senzor OmniVision 6620. Kombinací CMOS technologie a jednoduchého digitálního rozhraní je C3088 levným řešením pro vytváření video snímků o maximálním rozlišení snímků 352x288 bodů. Přednost senzoru je v možnosti široké konfigurace v tzv. *registrech*. Další zajímavou vlastností je široký dynamický rozsah, *anti blooming* či *zero smearing*.

Hodnota napájecího stejnosměrného napětí je 5 V. Spotřeba v aktivním režimu nepřesahuje 80 mW a v pohotovostním režimu 30 μ W.

Pro přenos obrazu jsou zde digitálními výstupy i analogový výstup. A pro práci s registry kamery je implementována programovatelná I²C (Inter-Integrated Circuit) sběrnice. Skrze toto komunikační rozhraní lze nastavovat nejrůznější vlastnosti snímaného obrazu.

3.2 Objektiv

Objektiv [22] je „okem“ a nedílnou součástí každého kamerového zařízení. Tato součástka je čočka nebo soustava čoček, která opticky mění snímaný obraz a zajišťuje správné soustředění světla na senzor.



Obr. 15 – Objektiv kamerového modulu C3088. [23]

K modulu je dodáván objektiv, který má pevnou clonu a disponuje ohniskovou vzdáleností 3,6 mm, zadní ohniskovou vzdáleností 5,7 mm a clonovým číslem 2,0 [23]. Z těchto hodnot vyplývá možnost zaostření obrazu od 40 mm až do nekonečna. Vyhovující velikost zorného pole je dána třemi úhlovými hodnotami. Diagonální úhel je roven 92°, horizontální 80° a vertikální 59°. Objektiv je přimontován k modulu metrickým závitem M12x0,5, což mu umožňuje vykonávat šroubový pochyb a tím manuálně zaostřovat snímaný obraz.

Dále objektiv má v sobě zabudovaný IR (Infrared radiation) cut filter. Tento filtr má za úkol odfiltrovat infračervené záření a propustit viditelné světlo. Zjistit jestli je objektiv citlivý na IR záření, lze jednoduše vyzkoušet např. s dálkovým ovladačem od televize. Ofocená zapnutá dioda by na vytvořeném snímku neměla zářit. [24]

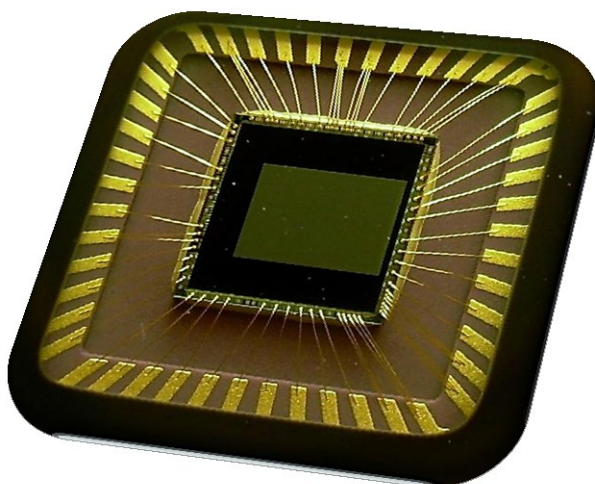
3.3 Snímání obrazu - CMOS senzor OV6620

Tato podkapitola zkoumá kameru z hlediska problematiky snímání obrazu, kde obraz zajišťuje senzor OmniVision. Jsou zde vysvětleny důležité pojmy a principy.

3.3.1 Základní informace

Hlavním prvkem každé digitální kamery je obrazový senzor, který zajišťuje získání obrazových dat. Kamera C3088 je osazena snímacím čipem od firmy OmniVision s produktovým číslem 6620.

OmniVision 6620 je barevný obrazový snímač [25], který postaven na snímací technologii CMOS. Velikost čipu je 1/4 palce. Tento senzor dokáže snímat obraz v rozlišení podle standardu CIF (Common International Format) 352x288 a QCIF (Quarter Common International Format) 176x144 pixelů. Efektivní obrazová oblast je 3,1x2,5 mm, kde rozměr jednoho pixelu je 9x8,2 μm . Celkový počet fotocitlivých buněk je 101 376. Dále je čip schopen reprezentovat snímky v barevných modelech RGB (Red - Green - Blue) a YCrCb (Luminance - Red - Blue). Senzor dokáže snímat obraz až 60 snímků za sekundu za podmínky použití externího krystalu (30 MHz), se standartním krystalem (17,73 MHz) je snímková frekvence kolem 35 snímků za sekundu.

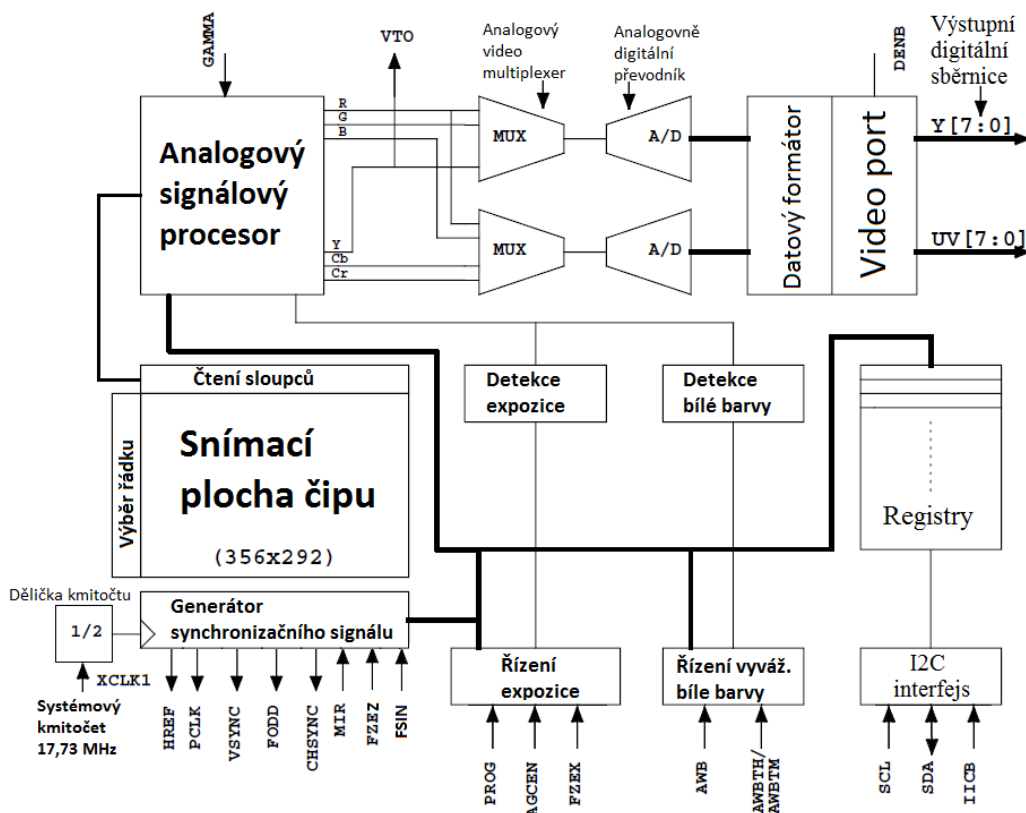


Obr. 16 – Čip OmniVision 6620.

3.3.2 Princip činnosti

Zjednodušený princip činnosti snímače OV6620 (kamery) spočívá v sejmutí obrazu pomocí fotocitlivých buněk na ploše čidla senzoru. Získaná data spolu s konfiguračními hodnotami z bloku řízení expozice, řízení vyvážení bílé barvy a z bloku registrů zpracuje analogový signálový procesor. Správné časování všech pochodů zajišťuje generátor synchronizačního signálu. Zpracovaná data z procesoru dle nastavení putují třemi kanály podle zvoleného barevného modelu. Dále obrazové informace jsou přemístěny do analogového video multiplexoru, který plní funkci přepínače kanálů. Následně se obraz převede, pomocí 8-bitových analogově digitálních převodníků, do digitální podoby. V konečné fázi se data převedou na 8bitový formát a skrze digitální sběrnice jsou posílány na další zpracování např. do mikrokontroléru. Toto vše probíhá na pracovní frekvenci 8,86 MHz. [25]

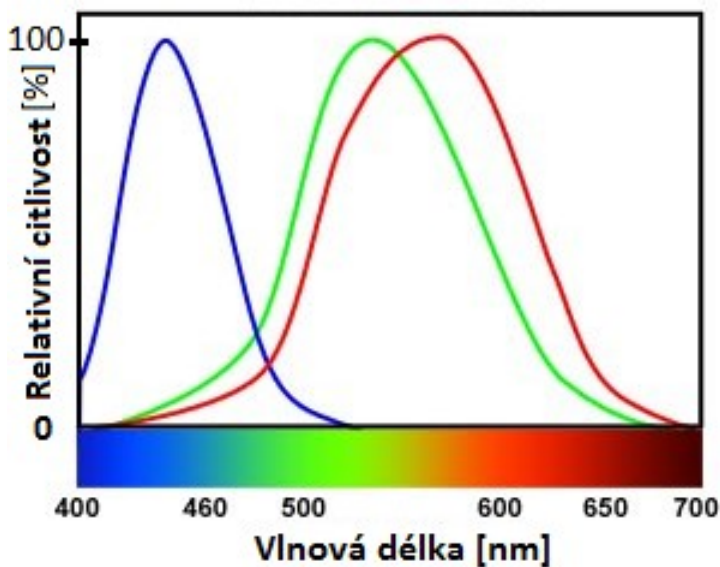
Pro přehlednost je zde blokové schéma (viz obr. 17), které nám demonstruje, jakým způsobem kamerový modul pracuje a ukazuje převod snímané scény na digitální data.



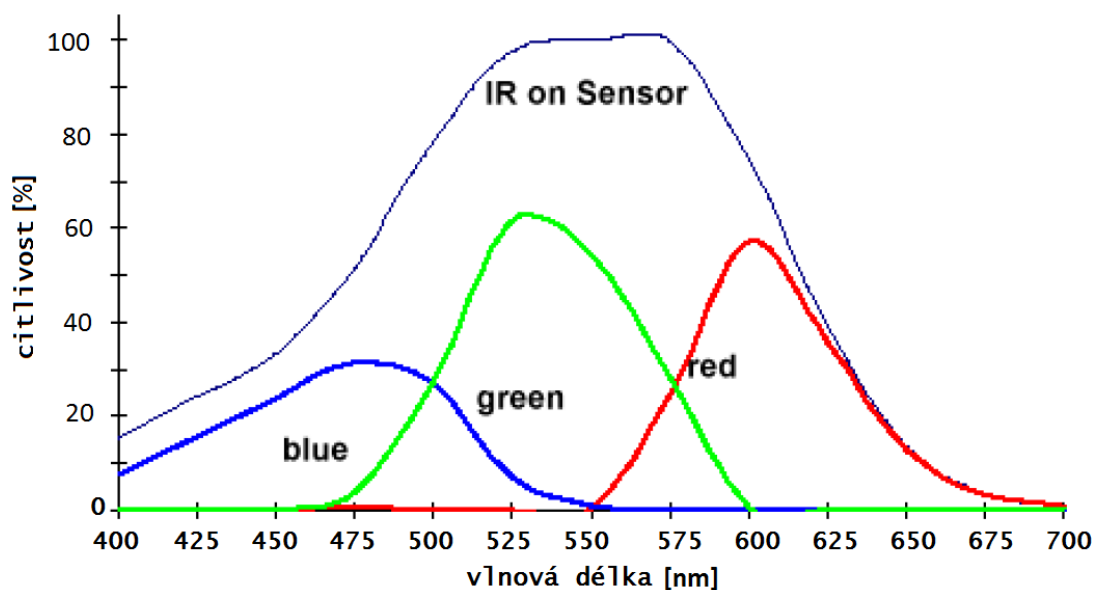
Obr. 17 – Blokové schéma senzoru OV6620. [25]

3.3.3 Spektrální citlivost

Výrobci obrazových senzorů chtějí vyrábět takové obrazové čipy, které by se podobaly lidskému oku. Podobností se myslí, aby spektrální charakteristika snímače a oka byla co nejvíce stejná. Spektrální charakteristika [26] nám určuje závislost relativní citlivosti na vlnové délce světelného záření. Grafu spektrální charakteristiky se někdy říká spektrální citlivost.



Obr. 18 – Spektrální citlivost lidského oka na barvy. [26]



Obr. 19 – Spektrální charakteristika senzoru OV6620. [25]

Z porovnání grafů je vidět, že senzor odpovídá lidskému oku jen velmi zhruba. Dále je možnost vypočítat, že snímač nejvíce reaguje (největší citlivost) v oblasti zelené složky barevného spektra.

3.3.4 Snímací režim

Obrazové senzory mohou snímat scénu dvěma různými metodami. Tyto techniky se v anglickém znění nazývají *global shutter* a *rolling shutter*.

Global shutter [27] je termín užívaný k popisu obrazového senzoru. Vyznačuje se tím, že senzor je vystavován světlu v jediném časovém okamžiku. Obrazová data z horní, střední a dolní části čidla jsou přenášena téměř současně. Tento druh snímáče obrazu je nejrozšířenější, ale je většinou dražší.

Rolling shutter [28] metodu můžeme najít u těch levnějších kamerových systémů. Rozdíl oproti první metodě je v tom, že se obrazové informace snímají z různých oblastí čidla v jiných časových okamžicích. Odeslání dat probíhá postupně z horní části snímáče, směrem k dolní části, dokud se nedosáhne konce. Poté se začnou data opět zaznamenávat z horní části. V závislosti na kmitočtu se tento cyklus opakuje mnohokrát za sekundu. Z rozdílných časů zaznamenávání dat obrazu vyplývá, že u objektu, který se rychle pohybuje, se mnou kolmé hrany zobrazit jako šikmé na výsledném snímku.



Obr. 20 – Příklady možného defektu fotografie při použití rolling shutter snímače. [28]

Tato vada pochopitelně nevznikne, kde není snímáno pohybující se okolí. Lze tedy tento typ senzoru použít v určitých aplikacích, které ovšem nejsou náročné na kvalitu výsledného obrazu.

CMOS snímače se vyrábějí s technologií rolling shutter i global shutter. Oproti tomu CCD snímače používají jen global shutter režim.

V technické dokumentaci zkoumaného snímače OmniVision je uváděn snímací mód *progressive* [25]. Z čeho vyplývá, že se jedná o rolling shutter senzor.

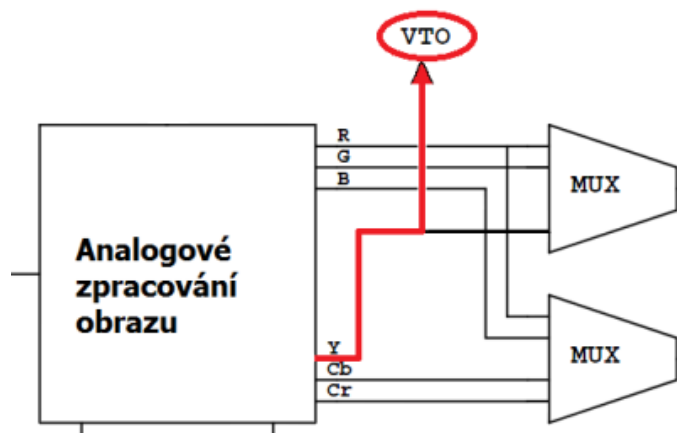
3.4 Zobrazení obrazu

Tato podkapitola se zabývá, jakými způsoby lze získaná obrazová data reprezentovat a posílat na další zpracování z kamerového modulu C3088.

3.4.1 Analogové rozhraní

Kamerový modul C3088 má implementován i analogový výstup kompozitního videosignálu. Přes toho rozhraní lze kameru používat nejjednodušším způsobem. Při spojení tohoto výstupu s video vstupem (např. chinch konektor) na televizoru či videorekordéru dostaneme na obrazovce přímo snímaný obraz. Tento obraz je v analogovém televizním standardu PAL (Phase Alternating Line) na frekvenci 50 Hz. Video signál je přímo odebírán z kanálu Y z analogového procesoru, který zpracovává obraz. Kanál Y nese pouze jasovou složku. Z toho vyplývá, že obraz je monochromatický (černobílý). Analogový výstup je dostupný z vyvedeného pinu VTO. [21]

Na propojení kamery je potřeba koaxiální kabel o charakteristické impedanci 75 Ohm.



Obr. 21 – Schematický obrázek s výraznějším obrazovým kanálem Y. [25]

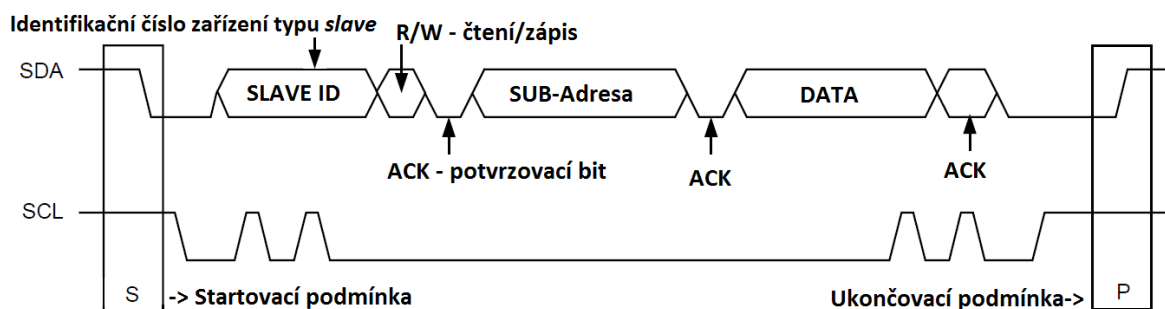
3.4.1 Digitální rozhraní

Fotocitlivý senzor má zajistit zachycení obrazu a převedení do číslicových informací. Prioritní rozhraní pro přenos těchto získaných obrazových informací nám slouží digitální video porty. Tyto data je možno řídit (programovat) přes I²C sběrnici, kterou modul disponuje. [25]

I²C [29] je synchronní, obousměrná halfduplex sběrnice vyvinutá firmou Philips Semiconductor. Používá se ke komunikaci mezi nejrůznějšími nízko-rychlostními elektronickými zařízeními. Příkladem může být třeba spojení mezi mikrokontrolérem a digitálně analogový převodníkem (D/A). Sběrnice používá pouze dva vodiče, z nichž jeden se jmenuje SDA (Synchronous Data), kde se přenáší data, a druhý se nazývá SCL (Synchronous Clock), který vede synchronizační hodinový signál. V režimu I²C sběrnice jsou připojená zařízení tzv. typu *Master-Slave*. Řídící (master) zařízení zahajuje, ukončuje komunikaci a generuje hodinový signál (SCL). Řízené (slave) periferní zařízení je adresováno masterem. Tato sběrnice umožňuje připojit najednou až 128 zařízení. I²C sběrnici lze připojit například k mikrokontroléru (MCU).

V kamerovém modulu je implementovaná I²C sběrnice typu *fast* s maximální komunikační rychlostí 400 kbit/s. Skrze ni lze konfigurovat např. zesílení, dobu expozice, jas, kontrast, gamma korekci, vyvážení bílé barvy atd. Na modulu je dostupná přes pin SCL a SDA.

Video porty jsou reprezentovány jako dvě datové osmibitové paralelní sběrnice. První nese označení Y a druhá UV. Se standardním krystalem (17,73 MHz) je výchozí frekvence přenosu dat 8,86 MHz. Pro tyto sběrnice je na kameře k dispozici osm pinů Y (Y0-Y7) a osm pinů UV (UV0-UV7). [25]



Obr. 22 – Model přenosu dat po I²C sběrnici. [25]

3.4.2 Barevné modely - reprezentace obrazu

Na výstupu čipu OV6620 jsou k dispozici obrazové signály odpovídající standardům ITU-R BT.601 (International Telecommunication Union – Radiocommunication Broadcasting Television) a ITU-R BT.656. ITU [30] je mezinárodní telekomunikační unie, kde specifikace R znamená radiokomunikační sektor a BT znamená, že jde o oblast televizního vysílání. Dříve se tyto standardy označovaly jako CCIR-601 a CCIR-656.

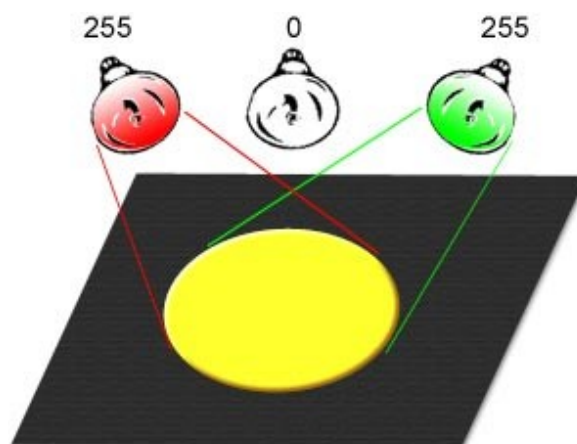
Výstupní obrazová data lze interpretovat ve dvou různých barevných modelech. První z nich je model RGB a druhý YCrCb. [25]

3.4.2.1 RGB barevný prostor

RGB model [31] je kombinace tří barevných složek (R-červená, G-zelená, B-modrá), který se používá v drtivé většině případů, kde se zobrazuje obraz. Jde vlastně o způsob reprezentace barev, který se jako televizní standard objevil již v roce 1953.

Barvené schéma je tzv. *aditivní* (přidávací). Vychází se z faktu, že např. zhasnutý monitor je naprosto černý. A tak následným rozsvěcováním (přidáváním) světla se mohou vytvářet všechny barvy. Dále je možno využít toho, že součtem všech tří barev dostáváme dohromady bílou. Tohoto pravidla můžeme např. využít v komprimaci, kde ze dvou dostupných barevných hodnot (např. z červené a modré) dopočítáme snadno třetí hodnotu barvy (tzn. zelenou).

K absolutnímu popisu barvy jednoho pixelu (bodu) se používá soubor tří čísel. Každé číslo odpovídá jednomu bajtu a určuje intenzitu jednotlivé barevné složky v nabývajících hodnotách 0 až 255. Popis černé barvy odpovídá $R=0, G=0, B=0$, popis zelené $R=0, G=255, B=0$, popis šedé $R=127, G=127, B=127$ a nebo popis bílé $R=255, G=255, B=255$. Výsledný obraz je tedy bajtová sada trojic.



Obr. 23 – Příklad vytvoření žluté barvy v RGB modelu. [31]

Digitální kamera s čipem OV6620 zobrazuje obraz v neplnohodnotném RGB modelu. Využívá se konvencí úprav a dorovnávání tak, že černá barva odpovídá hodnotám $R=16, G=16, B=16$ a bílá $R=240, G=240, B=240$. Tyto změny podléhají definici digitálního

RGB modelu dle normy ITU-R BT.601. Krajní hodnoty 0 a 255 jsou vyhrazeny pro synchronizaci. [25]

3.4.2.2 YCrCb 4:2:2

YCbCr [32] je barevný prostor, který spadá do normy ITU-R BT.601, a kde nejsou zahrnuty všechny barvy jako u RGB modelu. Kanál Y je složkou jasu (luminance, světelnosti) a Cb a Cr jsou chrominanční komponenty, kde Cb (component blue) odpovídá modré a Cr (component red) odpovídá červené barvě.

U YCrCb modelu se využívá toho, že je složen z tzv. *rozdílové informace* (RGB model má úplnou informaci o barvách). Celkově má tedy YCrCb méně informací (spotřebuje méně prostoru) než RGB a tím má lepší komprimační poměr a i v dalších komprimačních pochodech se s ním lépe pracuje.

Údaj 4:2:2 [33] charakterizuje vždy poměr mezi počtem barevné složky vůči jasové, ale někdy i počet bytů na tzv. *makropixel* (shluk několika pixelů). V našem případě (4:2:2) barevná složka obsahuje polovinu bodů vůči jasové, kde dvěma jasovým bodům odpovídá pouze jeden barevný.

YCbCr 4:2:2 model, který je schopen kamerový modul zobrazit, má tedy ztrátovou informaci v barevných složkách. Tato ztráta ovšem má malé následky, jelikož lidské oko dokáže velice dobře rozlišit změnu v jasů, ale již nedokáže rozlišit malé změny v barevných kanálech. Je uváděno, že při 50% ztrátě informací v chrominančních složkách je změna v celém obrazu nepozorovatelná.



Obr. 24 – Ukázka barevného prostoru YCrCb. [32]

Modely RGB a YCrCb 4:2:2 u kamery C3088 lze mezi sebou vzájemně převést, kde obecně platí více přepočítávacích vzorců. Dle katalogového listu kamera používá tohoto vzorce (viz obr. 25) na přepočet do YCrCb.

$$\begin{aligned} Y &= 0.59G + 0.31R + 0.11B \\ Cr &= 0.713 \times (R - Y) \\ Cb &= 0.564 \times (B - Y) \end{aligned}$$

Obr. 25 – Přepočítávací formule z RGB barevné modelu na YCrCb model. [25]

3.4.2.3 Barevná hloubka

S barevnými modely je spojován pojem barevná hloubka [35]. S tímto termínem se udává bitová hodnota, která slouží k popisu určité barvy nebo pixelu na obrázku či u videa. Čím větší barevná hloubka (bitová hodnota), tím se zvyšuje škála různých barev, kde výsledný obraz je věrohodnější, kvalitnější, lépe vypadá. Pro výpočet počtu barev z bitové hodnoty je jednoduchý vzorec 2^n = počet barev, kde n bitová hodnota. Používání barevné hloubky mají hodnoty od 1 bitu ($2^1 = 2$ barvy, označováno jako Mono Color) až po 48 bitů $2^{48} = 281\,474\,976\,710\,656 = 281,5$ biliónů barev, označováno jako Deep Color). Lidské oko není schopno rozeznat miliardy barev, ale čím více je obraz kvalitnější, tím lépe se s ním v dalších úpravách pracuje.

Kamera je schopna vytvářet obraz v barevné hloubce 8 bitů pro každou barvu (červená – modrá - zelená). Výsledný obraz má tedy 24bitové barvy. [25]

3.5 Registry

Prvním úkolem snímacího čipu je zachytit snímanou scénu. Kamerový modul má možnost tuto snímanou scénu upravit, nakonfigurovat. Vlastní konfigurace probíhá ve vnitřní paměti kamery (senzoru) v tzv. *registrech* [25], kde jsou uložena základní nastavení. Do těchto registrů se lze připojit prostřednictvím I²C sběrnice po níž se posílají konfigurační příkazy. Každý jednotlivý registr je charakteristický svojí *sub-adresou*, která je v hexadecimální číselné soustavě, zkráceným názvem a výchozí hodnotou, která je také v šestnáctkové číselné soustavě.

Každý registr je opatřen informací o možnosti zápisu a čtení jeho hodnoty. Dle technické dokumentace má kamera 66 registrů, z čehož je 52 použitelných. To znamená, že je lze konfigurovat nebo alespoň z nich číst jejich hodnoty. Hodnoty z hlediska velikosti datové informace jsou rovny jednomu bajtu (bajtu). Každý jednotlivý bit z nastavovacího bajtu představuje možnost aktivaci nějaké funkce v kamery. Takových to funkcí je k dispozici téměř 160.

Skrze zmiňované registry můžeme nastavit nebo aktivovat mnoho funkcí kamery a ovládat tím celý kamerový modul. Výčetem lze uvést základní korekce snímaného obrazu. Možno je ovládat např.: expozici, sytost barev, jas, kontrast, vyvážení bílé barvy, regulace zesílení (zvláště modrý a červený kanál), barevný model, rozlišení, černobílý mód a mnoho dalších specifických možností, které jsou uvedeny v katalogovém listu kamery.

Dále je zde funkce tzv. *windowing*, která dovoluje libovolný výřez obrazu (v pixelech) od 2x2 do 356x292 a to v libovolné pozici uvnitř snímacího pole senzoru.

Další možností je aktivace nebo deaktivace funkcí automatické vyvážení bílé barvy AWB (automatic white control) anebo automatická regulace zesílení AGC (automatic gain balance).

Konkrétním příkladem zajímavého nastavení může být registr COMH (viz tab. 2) se sub-adresou 0x28, který má sedm funkčních konfiguračních bitů. V pořadí sedmí bit (COMH[6]) má funkci aktivace černobílého zobrazovacího módu, který může být provozován pouze v případě, kdy registry COMB[4] a COMB[5] jsou nastaveny do nulové bitové hodnoty.

Tab. 2 – Příklady tří různých registrů. [25]

Sub-adresa (hex)	Název registru	Výchozí hodnota (hex)	Čtení/zápis	Popis funkce
1C	MIDH	7F	R	Manufacture ID Byte: High MIDH[7:0] - read only, always returns "7F" as manufacturer's ID no.
06	BrT	80	RW	Brightness Control BRT[7:0] – brightness adjustment. "FFh"-highest,"00h"-lowest
12	COMH	24	RW	Common Control H COMH[7]: - "1" selects One-Line RGB raw data output format, "0" selects normal two-line RGB raw data output, effective only in Progressive Scan mode. COMH[6]: - "1" enable Black/White mode. When OV6620 working as BW camera, its vertical resolution will be higher than color mode. At this mode, can't set OV6620 working at 8 bit output mode. OV6620 output data YUV/RGB from Y port. UV port will be tri-state. COMB[5] and COMB[4] will be set to "0". "0" normal color mode. COMH[5]: - reserved. COMH[4]: - Freeze AEC/AGC value, effective only when COMB0=1. "1" - register [00] and [10] will not be updated and hold latest value. "0" - AEC/AGC normal working status. COMH[3]: - AGC disable. 1 - when COMB[0]=1 and COMA[5]=1, internal circuit will not update register [00], register [00] will kept latest updated value before COMH[3]=1. 0 - when COMB0=1 and COMA[5]=1, register [00] will be updated by internal algorithm. COMH[2]: - RGB raw data output YG format: 1 - Y channel G, UV channel B R; 0 - Y channel: G R G R..., UV channel B G B G.... COMH[1]: - Gain control bit. "1" Double PreAmp gain to 12dB. "0" PreAmp gain is 6dB. COMH[0]: - High gain mode. "1" - AGC maximum gain is 24dB. AGC step is 1/8. "0" AGE maximum gain is 18dB, AGC step is 1/16. Only effective when COMB[0]=1, COMA[5]=1 and COMH[3]=0.

3.6 Specifické vlastnosti

V technické dokumentaci kamery C3088 (snímače) je uváděno mnoho různých vlastností, které ovlivňují vytvářený obraz. Níže jsou popsány ty nejvíce zajímavé.

Široký dynamický rozsah [35] o velikosti 72 dB. Tato hodnota označuje poměr mezi nejvyšší a nejnižší zaznamenanou intenzitou světla, které dopadá na snímač.

„*Anti blooming*“ [36] vlastnost nám zajišťuje, aby nedocházelo k přexponování jednotlivých buněk obrazového snímače.

„*Zero smearing*“ je vlastnost, kde přímý význam nebyl nalezen. Avšak z anglického překladu lze odvodit, že se jedná o nulové rozmazání obrazu.

3.7 Piny

Na integrované desce kamerového modulu je vyvedeno 32 konektorových kolíků (pinů). Nabývají funkce různých vstupů, výstupů, pomocí nichž lze s kamerou komunikovat, nastavovat a napájet ji. V níže uvedené tabulce je popsána funkce všech jednotlivých pinů.

ČÍSLO PINU	OZNAČENÍ	POPIS FUNKCE
1 až 8	Y0 až Y7	Digitální výstupy datové sběrnice Y
9	PWDN	Hardwarové vypnutí (pohotovostní režim)
10	RST	Reset (stav registrů - výchozí hodnoty)
11	SDA	I ² C sběrnice - data
12	FODD	Synchronizace - sudý lichý snímek
13	SCL	I ² C sběrnice - hodinový signál
14	HREH	Horizontální (řádková) synchronizace
15	AGND	Analogové uzemnění
16	VSYN	Snímková synchronizace
17	AGND	Analogové uzemnění
18	PCLK	Hodinový signál
19	EXCLK	Externí vstup hodinového signálu
20	VCC	Napěťový potenciál 5V DC
21	AGND	Analogové uzemnění
22	VCC	Napěťový potenciál 5V DC
22 až 30	UV0-UV7	Digitální výstupy datové sběrnice UV
31	GND	Obecné uzemnění
32	VTO	Analogový výstup kompozitního videosignálu 50Hz (75 Ohm), monochromatický

Tab. 3 – Popis funkcí všech vyvedených konektorových kolíků. [21]

3.8 Příklady projektů s kamerou C3088

Následující podkapitola zkoumá nezajímavější projekty spojené s kamerovým modulem, kterým se tato bakalářská práce zabývá, a zároveň jsou zde ukázány možné typy řešení.

3.8.1 AVRCam

AVRCam [37] je nízko-nákladový projekt věnovaný zpracování obrazu. Kamerový systém je plně programovatelný. Disponuje malými rozměry a nízkými energetickými nároky. Celková spotřeba je 300 mW. Používají se zde dvojice mikrokontrolérů AVR

ATmega8 a AVR ATtiny12 od firmy Atmel s kamerovým modulem C3088. Hlavní mikrokontrolér AVR ATmega8 je přetaktovaný na 17,7 MHz z původních 16 MHz. Tento hardware je schopen zpracovávat obraz o rozlišení 88x144 a o barevné hloubce 4 bitů při barevném modelu RGB. Barevná hloubka 4 bity je však pro každou barevnou složku, a tak výsledný obraz je tedy 12bitový. Komunikace s PC je realizována pomocí sériové sběrnice EIA/TIA-232 (RS 232).

Software, který je dispozici, má název AVRcamVIEW, který slouží k rychlému a snadnému otestování na osobním počítači. Součástí je programátor s kompilátorem jazyka C a zkušební sledovací aplikace, která je schopna najít v obraze až 8 objektů stejné barvy s rychlostí 30 snímků za sekundu. Lze provozovat na operačních systémech Windows a Linux.

Princip činnosti zpracování obrazu je velice primitivní. Jednočipový mikropočítač ATmega8 zachytí celkem 77 snímků, přičemž z 1. snímku odchází pouze 1. a 2. řádek (zbytek není dál zpracováván), z 2. snímku odchází 3. a 4. řádek atd. Řádky, které přijímá počítač, patří každý k jinému snímku. Z čehož vyplývá, že pokud by se snímá pohybuující objekt, tak v počítači vznikne nesmyslný snímek. Pokud se nějaký malý objekt bude pohybovat v zorném poli kamery odshora dolů, tak se může natáhnout přes celou obrazovku, pokud se bude jen nepatrně pohybovat v opačném směru, tak tento objekt kamera vůbec nezaznamená. Závěrem lze tedy říct, že toto řešení lze spolehlivě použít jako fotoaparát pro statické scény, než videokameru se snímáním v reálném času.



Obr. 26 – Přední strana modulu AVRcam (vlevo) a jeho zadní strana (vpravo). [37]

Více informací k tomuto projektu je k nalezení zde [37]. Modul se softwarem lze zakoupit zhruba za \$100.

3.8.2 BlazingCore

Dalším zajímavým projektem zpracovávající obraz je BlazingCore (BC) [38], který je optimalizován pro připojení kamery C3038. C3038 je téměř identický kamerový modul jako C3088, který je založen na obrazovém senzoru OmniVison 6630. BlazingCore je postaven na 32bitové hardwarové a softwarové architektuře. Hlavní čip je

mikrokontrolér PIC32MX od firmy Microchip. Pro využití možností hardwaru byl vyvinut operační systém Bcore, který je postaven na jazycích Visual Basic a C# na platformě .NET Framework. Modul podporuje většinu standardních komunikačních protokolů, jako je například UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), SPI (Serial Peripheral Interface) atd. Výhodná možnost spočívá v tom, že lze připojit dotykovým OLED displej o úhlopříčce 2,83 palce.



Obr. 27 – Foto základní desky modulu BlazingCore. [38]

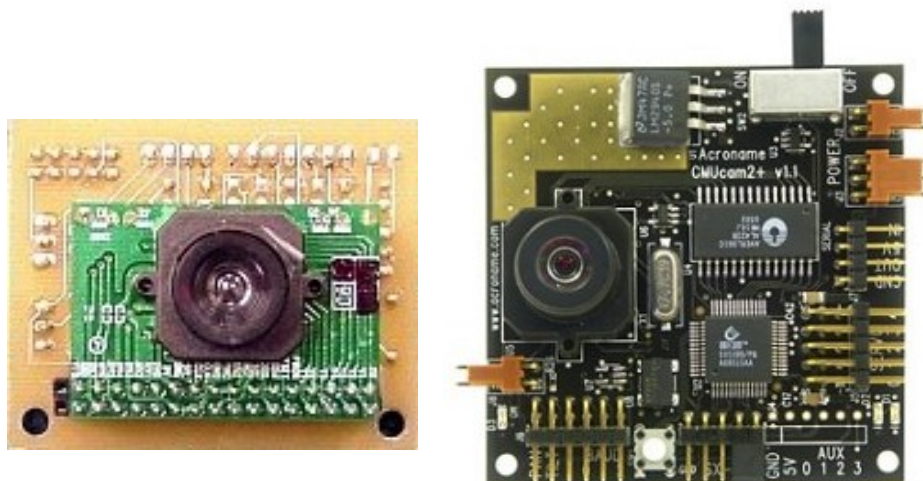
Výzkum a vývoj provádí tým AIS Cube ze Singapuru, který se specializuje na vestavěné systémy umělé inteligence. Více informací k tomuto projektu a veškerá dokumentace je k nalezení zde [38].

3.8.3 CMUcam

Nejpropracovanější a nezajímavějším kamerovým systémem je projekt CMUcam. Tento modul byl vyvíjen v robotickém institutu Carnegie Mellon University v USA [39], kde celá řada CMUcam je založena na kameře C3088. Cílem bylo vyvinout modul zpracovávající obraz v reálném čase, který by byl cenově dostupný a zároveň dostatečně výkonný na vyhledávání či sledování objektů v obraze. Byly vytvořeny tři postupně zdokonalující se kamerové moduly CMUcam1, CMUcam2 a nejnovější CMUcam3. Moduly disponují mikrokontroléry, porty pro připojení servomotorů, I2C sběrnici, sériovými sběrnici na komunikaci atd. Koncepce všech modelů míří k využití na řízení robotických systémů.

Modul CMUcam1 [8] byl vyroben již v roce 2002 a byl postaven na procesoru Ubicom SX28 o taktovací kmitočtu 50 MHz. Rychlost zpracování se však pohybovala kolem 17 snímků za sekundu.

Druhý model CMUcam2 [8] byl vydán v roce 2003. Disponoval řídicím procesorem Ubicom SX52, který pracoval na frekvenci 75 MHz. Novinkou bylo přidání rychlé paměti na uchovávání obrazových dat. Zvýšení nastalo i ve snímkové frekvenci, která dosahovala až 50 snímků za sekundu při rozlišení 88x144 pixelů.



Obr. 28 – Přední strany modulů CMUcam1 (vlevo) a CMUcam2 (vpravo) s kamerou C3088. [8]

Nejnovější modul je CMUcam3 [8], který byl představen v roce 2007. Srdcem modulu je mikrokontrolér Philips LPC2106 s ARM (Advanced RISC Machine) architekturou (takt 60 MHz). Nově zde přibyl např. řadič pro MMC (Multi Media Card) či SD (Secure Digital) paměťovou kartu. Pořizovací cena se pohybuje kolem 5000 Kč. Tímto modulem se bude práce více zabývat v kapitole 4.1.1 CMUcam3.

Více informací k projektu je zde [40].

3.8.3.1 CMUcam aplikace

CMUcam moduly se staly oblíbenými a byly použity v mnoha robotických aplikacích [40]. Příkladem může být například komerční projekt RobuDOG [8], který je produktem společnosti Robosoft.



Obr. 29 – Fotografie robotického psa RobuDOG se kamerovým modulem CMUcam3. [8]

Robotický pes má 17 nezávislých kloubů, díky nimž se může různě pochybovat. Tento robot spolu s dalšími lze například použít v robotickém fotbale, jelikož přední nohou lze kopat do míče. Modul CMUcam3 je umístěn v hlavě psa, který je nastaven pro hledání míče v prostoru a pro určování směru pohybu. RobuDOG je mimo jiné vybaven infra-senzory, 2D akcelerometrem a rozhraními jako je bezdrátový modul, ethernet, USB).

Druhým příkladem je robot Hardcore III [8], který byl vyvinut pro soutěž IGVC (Intelligent Ground Vehicle Competition), kde soutěží autonomní roboti, kteří mají za úkol projet určenou trasu v co nejkratším čase. Trasa závodu byla vyznačena bílými pruhy a překážky měly jasnou oranžovou barvu, kde bylo snadné získat trajektorii z obrazu. CMUcam2 vybral z obrazu pouze to, co bylo potřebné, data tedy měli maximální možnou informativitu. A tak řídicí procesor v robotovi přijímal pouze statistické údaje o poloze objektu, nemusel tedy obraz dále upravovat, což mu značně šetřilo výpočetní čas.



Obr. 30 – Fotografie robota Hardcore III s kamerovým modulem CMUcam2. [8]

4. PRAKTICKÁ REALIZACE

Čtvrtá kapitola je praktickou částí celé bakalářské práce. Nejprve se zabývá návrhem a implementací potřebného hardwaru a softwaru. Posléze je výsledné řešení realizováno a patřičně otestováno.

4.1 Implementace hardwaru

Základem implementace hardwaru je návrh vhodné elektroniky, která bude plnit funkci řízení a zpracování obrazových dat z kamerového modulu C3088. Aby byla zachována použitelnost pro mobilní robotiku, je vhodná elektronika na bázi mikrořadičů, kde je možnost využití jednočipový mikropočítačů.

V návrhu hardwaru se tedy zaměřujeme na výběr mikrokontroléru, který musí dostatečně rychle zpracovávat obraz v plném rozlišení (352x288px) a to na frekvenci 8,86 MHz, která je daná kamerou. Hlavní důraz je tedy kladen na jednočipový mikropočítač, který musí obsahovat dostatečně výkonný tzv. *digitální signálový procesor* (DSP) [41]. Digitální signálové procesory se aplikují tam, kde je zapotřebí, zpracovávat velké množství dat. Dále musí být mikrokontrolér schopen obstarat kamerové video porty, disponovat I²C komunikační sběrnici na řízení kamery a být vybaven takovou sběrnici, která by umožnila obrazová data odesílat do osobního počítače.

Prvním návrhem byl jednočipový mikropočítač Atmel AVR ATmega128, který dosahuje taktovací frekvence 16 MHz. Nejdříve se zdál jako vhodný kandidát, ale po analýze a nastudování projektu AVRCam (viz kapitola 3.8.1) se stal mikrokontrolér téměř nepoužitelný pro plnohodnotné zpracování obrazu. Od tohoto návrhu se tedy záhy ustoupilo.

Po následném zkoumání byl pro digitální kameru C3088 vybrán dostatečně výkonný modul CMUcam3, který splňuje i výše uvedené požadavky. Zvolení tohoto modulu proběhlo na základě kapitol 2.2 a 3.8. Modul je vhodný nejen pro toto kamerové zařízení, ale i pro jiné podobné kamery s čipem OmniVision.

CMUcam3 je vybaven sériovou externí sběrnici RS-232 (Recommended Standard), která umožňuje přenos obrazových dat do PC. Pro osobní počítače, které nejsou osazeny linkou RS-232, je možné použít redukci RS-232 na USB, které je standardní výbavou každého PC.

Sběrnice RS-232 byla tedy použita ve výsledném hardwarovém zapojení.

4.1.1 CMUcam3

Modul CMUcam3 [40] je plně programovatelný modul, jehož jádrem je mikrokontrolér od firmy Philips LPC2106 s 32bitovým procesorem ARM 7-TDMI, který má tyto parametry:

- taktovací frekvence 60 MHz,
- RAM (Random Access Memory) paměť 64 kB,
- ROM (Read Only Memory) paměť 128 kB.

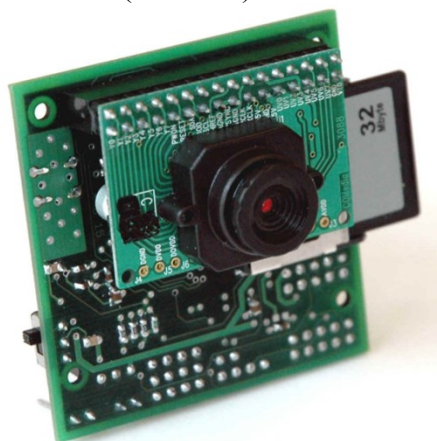
Dalším hlavním členem je vyrovnávací paměť (buffer) FIFO (First In First Out) od firmy Averlogic, která disponuje kapacitou 1 MB. Dále je modul vybaven řadičem pro MMC či SD paměťovou kartu se systémem souborů FAT 16 (File Allocation Table).

K modulu je možnost přes tzv. *servo porty* připojit až čtyři modelářské servomotory. Další možnost je připojení bezdrátové rozhraní dle standardu IEEE 802.15.4 (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Pro spojení s okolím je u modulu k dispozici sériová linka RS 232, SPI, I²C a GPIO (General Purpose Input Output) komunikační rozhraní.

Napájení integrované desky prochází přes 5-ti voltový regulátor. Ideální stejnosměrné napájecí hodnoty jsou 6 až 15 V a minimálně 150 mA. Při využití možnosti připojení servomotorů lze tyto zařízení napájet externě nebo interně z modulu.

CMUcam3 je osazen dvouřadou patiček, která umožňuje snadné připojení kamerového modulu C3088 či obdobných kamer s čipem OmniVision např. C3038 (OV6630) nebo C3188A (OV7620).

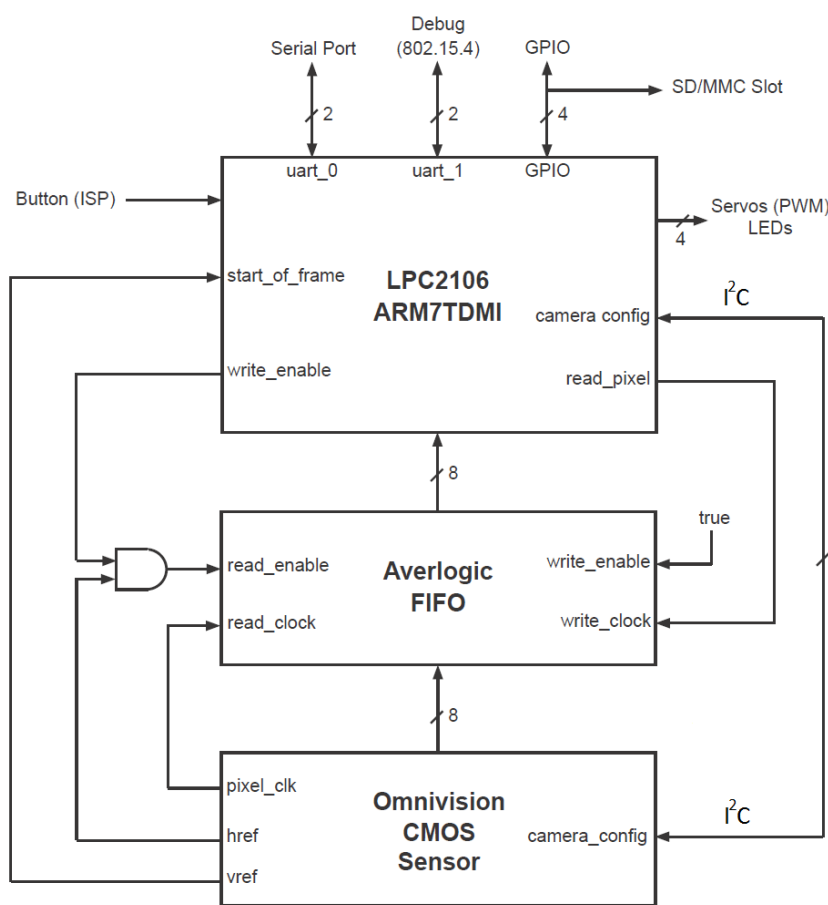


Obr. 31 – Přední strana modulu CMUcam3 s kamerou C3088 a paměťovou kartou. [40]

CMUcam3 spolu s kamerou C3088 vytváří inteligentní kamerový systém, který dovoluje jednoduché zpracování obrazu v reálném čase. Modul bývá používán v mobilních robotech jako podpora pro segmentaci nebo i pro klasifikaci obrazu [8]. Využívá se toho, že mezi modulem a řídicí jednotkou robota mají obrazová data malý objem při zachování maximální informační hodnoty. Procesor v řídicí jednotce může ušetřený výkon spotřebovat na jiné činnosti. Díky vyvinutému programovacímu rozhraní lze modul snadno naprogramovat pro určitou aplikaci (viz kapitola 4.2 Implementace softwaru).

4.1.1.1 Zjednodušený princip činnosti

V prvním kroku optický senzor (Omnivision) zachytí obrazová data. Následně se data předají do vyrovnávací paměti (FIFO). Po naplnění dvou bloků paměti (128 bytů) začíná 8-bitový asynchronní přenos dat [40] do mikrokontroléru (LPC2106), kde se pomocí komprese vytvoří finální snímek. Díky FIFO paměti je proces zpracovávání obrazu efektivnější, jelikož procesor nemusí čekat, až bude obraz sejmut.



Obr. 33 – Blokové schéma komunikace hlavních součástí modulu CMUcam3 s OV čipem. [40]

4.1.2 Testovací sestava hardwaru

Testovací sestava obsahovala regulovatelný napájecí adaptér (max. 12 V), modul CMUcam3, kameru C3088, kabel EIA/TIA-232 a redukci USB2Dynamixel RS-232/USB.



Obr. 34 – Sada testovacího hardwaru.

4.2 Implementace softwaru

Tato nejproblematictější podkapitola spočívá v návrhu a v následné implementaci softwaru na řízení a zpracování dat ve výše zmíněném modulu CMUcam3. Jednalo se o vytvoření tzv. *firmwaru*, který se nahraje do paměti procesoru. Dalším úkolem bylo naprogramování aplikace, která bude interfejsem mezi modulem CMUcam3 a osobním počítačem, kde se zobrazí výsledky snímaného obrazu.

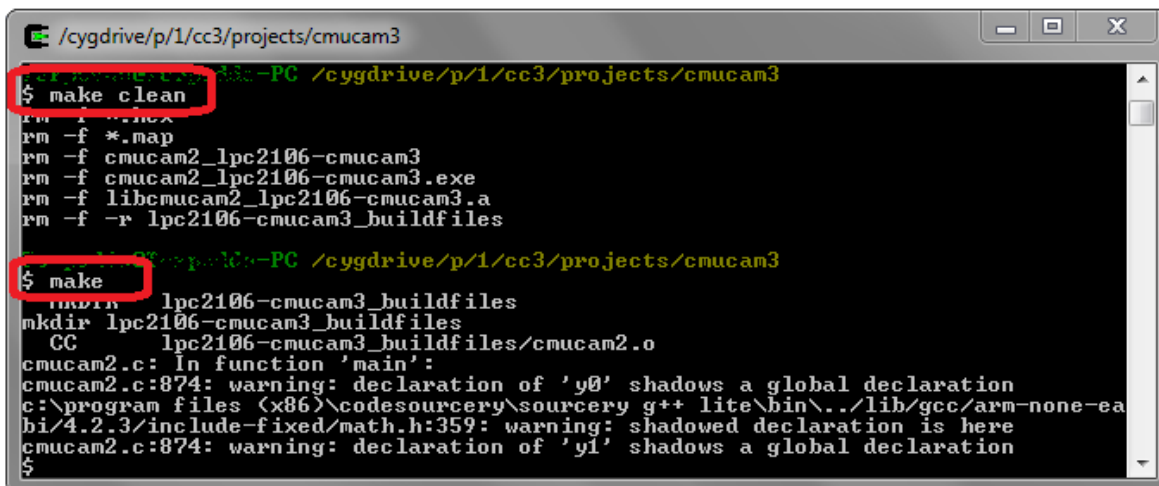
Na vývoj softwaru bylo využito *CC3 API* (Application Programming Interface) programovacího rozhraní, které již bylo vyvíjeno pro modul CMUcam3 či CMUcam2. V další části vývoje softwaru byla vytvořena aplikace na reprezentaci video snímků, která byla naprogramována ve vývojovém prostředí *Microsoft Visual Studio C#*.

4.2.1 Firmware

Na vývoj firmwaru bylo použito programovací rozhraní, které nese název CC3 a které je jako *open source* volně dostupné na webových stránkách projektu CMUcam [40]. CC3 obsahuje sadu knihoven a funkcí, které umožňují obsluhovat modul CMUcam3 a slouží také pro vývoj nejrůznějších vlastních aplikací. Dále je v programovacím rozhraní implementováno JPEG kompresní kódování, v kterém jsou vytvářeny jednotlivé video snímky. Mimo jiné CC3 obsahuje vytvořené ukázkové projekty, které lze samozřejmě editovat a pro své potřeby vylepšit. CC3 využívá programovacího jazyka C99.

Vyvíjení firmwaru lze uskutečnit v operačních systémech (OS) Microsoft Windows (dále jen Windows) či Linux. V našem případě byl software vytvářen v OS Windows.

Pro vznik firmwaru je k dispozici prostředí Cygwin, které je emulátorem unixových systémů spustitelných ve Windows. Cygwin je konzolová aplikace, která slouží k vytvoření souboru s příponou *hex*, který je posléze nahráván do procesoru modulu jako firmware. Soubor s příponou *hex* vzniká zkompilem souboru v jazyce C (z API CC3 - přípona *c*), které se provede příkazem *make* v prostředí Cygwin.



```

/cygdrive/p/1/cc3/projects/cmucam3
$ make clean
rm -f *.map
rm -f cmucam2_lpc2106-cmucam3
rm -f cmucam2_lpc2106-cmucam3.exe
rm -f libcmucam2_lpc2106-cmucam3.a
rm -f -r lpc2106-cmucam3_buildfiles

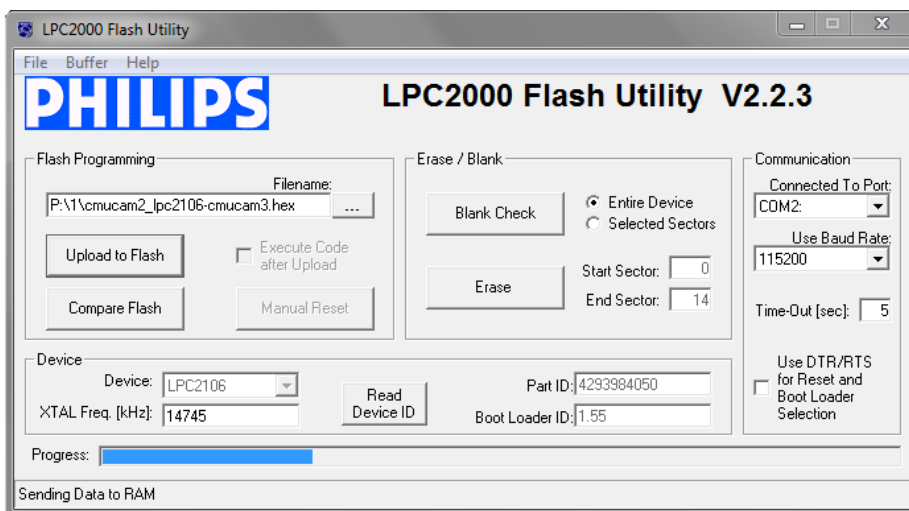
/cygdrive/p/1/cc3/projects/cmucam3
$ make
mkdir lpc2106-cmucam3_buildfiles
mkdir lpc2106-cmucam3_buildfiles
CC lpc2106-cmucam3_buildfiles/cmucam2.o
cmucam2.c: In function 'main':
cmucam2.c:874: warning: declaration of 'y0' shadows a global declaration
c:\program files (x86)\codesourcery\sourcery g++ lite\bin\..\lib/gcc/arm-none-eabi/4.2.3/include-fixed/math.h:359: warning: shadowed declaration is here
cmucam2.c:874: warning: declaration of 'y1' shadows a global declaration
$

```

Obr. 35 – Prostředí Cygwin pro kompilaci firmwaru.

Kompilace (překlad kódu) do strojového kódu procesoru se provádí za pomoci kompilátoru GCC (GNU Compiler Collection), který k rozpoznání procesoru (ARM 7-TDMI) potřebuje vývojové nástroje Soucery G++ ARM.

K nahrávání firmwaru do modulu je nezbytný program Philips LPC210x FLASH Utility, který zajistí přesunutí souboru s příponou *hex* do procesoru.



Obr. 36 – Aplikace pro nahrávání firmwaru do procesoru.

Webová podpora projektu CMUcam [40] poskytuje v sekci *Documentation* manuály pro vznik prostředí na vytváření firmwaru.

4.2.1.1 *cmucam2.c*

Pro testování a ověřování možností kamery C3088 byl použit základní firmware vytvořený pro modul CMUcam2 (*cmucam2.c*), který již má implementovány i nové funkce vycházející z modulu CMUcam3. Firmware *cmucam2.c* poskytuje řadu funkcí využívající vlastnosti a možnosti kamery. Součástí souboru *cmucam2.c* je hlavičkový soubor *cc3.h*, kde jsou definovány funkce nastavující registry senzoru kamery.

V následujícím odstavci jsou popsány některé funkce z použitého firmwaru.

Nastavení sériového portu, kde v druhém parametru lze nastavit přenosovou rychlost tzv. *baudrate*, viz obr. 37.

```
cc3_uart_init (0, 115200, CC3_UART_MODE_8N1, CC3_UART_BINMODE_BINARY);
```

Obr. 37 – Funkce nastavující parametry sériové linky.

Úprava rozlišení (viz obr. 38), kde druhý a třetí parametr nastavuje změnu rozlišení ve vertikální a v horizontální ose. Hodnoty jsou celá čísla, kde čím větší číslo, tím se vynechá na senzoru více řádků či sloupů, což má za následek snížení rozlišení (nelineární závislost).

```
cc3_pixbuf_frame_set_subsample (CC3_SUBSAMPLE_NEAREST, 2, 2);
```

Obr. 38 – Funkce nastavující parametry rozlišení.

Nastavení černobílého a barevného modelu RGB a YCrCb, viz obr. 39.

```
cc3_camera_set_colorspace (CC3_COLORSPACE_MONOCHROME);  
cc3_camera_set_colorspace (CC3_COLORSPACE_RGB);  
cc3_camera_set_colorspace (CC3_COLORSPACE_YCRCB);
```

Obr. 39 – Funkce nastavující barevné a černobílý model.

Změna rozlišení (viz obr. 40) na hodnotu 352x288px (HIGH) a 176x144px (LOW).

```
cc3_camera_set_resolution (CC3_CAMERA_RESOLUTION_HIGH);  
cc3_camera_set_resolution (CC3_CAMERA_RESOLUTION_LOW);
```

Obr. 40 – Funkce nastavující barevné a černobílý model.

Aktivace automatického vyvážení bílé barvy a automatické expozice, viz obr. 41.

```
cc3_camera_set_auto_white_balance (true);  
cc3_camera_set_auto_exposure (true);
```

Obr. 41 – Funkce nastavující AWB a auto expozici.

Aktivace libovolných kanálů z barevných modelů, viz tab. 4.

Parametry funkce cc3_pixbuf_frame_set_coi();	Aktivace kanálu
CC3_CHANNEL_RED	červený z modelu RGB
CC3_CHANNEL_GREEN	zelený z modelu RGB
CC3_CHANNEL_BLUE	modrý z modelu RGB
CC3_CHANNEL_Y	jasový z modelu YCrCb
CC3_CHANNEL_CR	červený z modelu YCrCb
CC3_CHANNEL_CB	modrý z modelu YCrCb
CC3_CHANNEL_ALL	všechny
CC3_CHANNEL_SINGLE	černobílý (Monochrome)

Tab. 4 – Funkce pro aktivaci kanálů barevných modelů.

Pro některé uvedené funkce (viz výše) vznikly totožné funkce, které mají své tzv. *aliasy* pomocí nichž se mohou volat z vnější komunikace po sériové lince. Tyto funkce vychází ze základního firmwaru, uvedeny jsou v následující tabulce 5.

Název funkce	Alias	Hodnoty	Popis funkce
[HI_RES]	HR	0	Nastavení rozlišení 176x144
		1	Nastavení rozlišení 352x288
[CAMERE_REG]	CR	sub-adresa a bytová hodnota	Přímý zápis do registrů kamery
[CAMERA_POWER]	CP	0	Vypnutí snímání
		1	Zapnutí snímání
[DOWN_SAMPLE]	DS	1 - ~20	Snížení hodnoty rozlišení libovolně v ose X a Y
[VIRTUAL_WINDOW]	VW	0-352 (X), 0-288 (Y)	Výřezy snímků - zadávání čtyř souřadnic v pořadí (X0, Y0, X1, Y1)
[GET_WINDOW]	GW	-	Získání souřadnic snímaného snímku
[RESET]	RS	-	Reset snímání
[SEND_JPEG]	SJ	-	požadavek na snímek
[GET_VERSION]	GV	-	Získání verze CMUcam
[CONT]	CT	0-255	Změna jasu
[BRIG]	BR	0-255	Změna kontrastu

Tab. 5 – Základní funkce, které lze volat z firmwaru po sériové lince.

Pro pochopení funkčního principu firmwaru byla doprogramována položka *BRIG* alias *BR* a *CONT* alias *CT*, které umožňují nastavení jasu (brightness) a kontrastu (contrast) po sériové lince, viz obr. 42.


```

switch (command) {
case BRIG:
if (n != 1)
{
error = true;
break;
}
print_ACK ();
cc3_camera_set_raw_register (0x06,arg_list[0] & 0xFF);
break;
case CONT:
if (n != 1)
{
error = true;
break;
}
print_ACK ();
cc3_camera_set_raw_register (0x05,arg_list[0] & 0xFF);
break; }

```

Obr. 42 – Kódy funkcí BRIG a CONT.

4.2.2 Windows aplikace

Ve vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio C# vznikala Windows aplikace, která byla vytvořena v programovacím jazyce C#. Tato aplikace sloužila k interpretaci obrazu a k otestování základních funkcí kamerového modulu C3088 skrze modul CMUcam3. V následující části práce je popsán a vysvětlen postup programování.

Nejprve proběhlo nastavení sériové linky (viz tab. 6), aby přenos obrazových dat do počítače byl konzistentní. Hodnota BaudRate byla podrobně vysvětlena v kapitole 4.3.2 Digitální výstupy.

Název položky	Hodnota
PortName	COM2
BaudRate	430000
Parity	None
DataBits	8
StopBits	One
Encoding	Default

Tab. 6 – Nastavení sériového portu (COM).

Důležitým příkazem bylo nastavení kodování dat na seriovém portu do 8 bitového (max. 255 hodnot) kódování ANSI (American National Standards Institute), viz obr. 43.

```
serialPort1.Encoding = Encoding.Default;
```

Obr. 43 – Příkaz nastavení správného kódování na sériové lince.

Při nepoužití ANSI kódování bylo standardně nastaveno vývojovým prostředím ASCII (American Standard Code for Information Interchange) kódování, které je 7 bitové (max. 128 hodnot). Docházelo tedy ke ztrátě důležitých bitů na vytvoření kompletního snímku.

Watch			Watch		
Name	Value	Type	Name	Value	Type
dta	{byte[15564]}	byte[]	dta	{byte[15389]}	byte[]
[0]	255	byte	[0]	63	byte
[1]	216	byte	[1]	63	byte
[2]	255	byte	[2]	63	byte
[3]	224	byte	[3]	63	byte
[4]	0	byte	[4]	0	byte
[5]	16	byte	[5]	16	byte
[6]	74	byte	[6]	74	byte
[7]	70	byte	[7]	70	byte
[8]	73	byte	[8]	73	byte
[9]	70	byte	[9]	70	byte
[10]	0	byte	[10]	0	byte
[11]	1	byte	[11]	1	byte
[12]	1	byte	[12]	1	byte
[13]	0	byte	[13]	0	byte
[14]	0	byte	[14]	0	byte
[15]	1	byte	[15]	1	byte
[16]	0	byte	[16]	0	byte
[17]	1	byte	[17]	1	byte
[18]	0	byte	[18]	0	byte
[19]	0	byte	[19]	0	byte
[20]	255	byte	[20]	63	byte

Obr. 44 – Analýza kódování obrazových dat po sériovém portu – ANSI (vlevo), ASCII (vpravo).

Aby bylo možné připojit se k sériovému portu, musela proběhnout detekce dostupných seriových portů (PortNames) v PC. Tyto aliasy lze například umístit do tzv. *comboboxu*, viz obr. 45.

```
comboBoxCOM.Items.AddRange(System.IO.Ports.SerialPort.GetPortNames());
```

Obr. 45 – Příkaz pro načtení dostupných sériových portů.

Následuje sada příkazů, která sloužila ke komunikaci se sériovou linkou (viz tab. 7).

Specifikace příkazů serialPort	Popis
.PortName	jméno portu
.Open()	otevření portu
.Write()	zápis na port
.Close()	zavření portu
.DiscardInBuffer()	vymazání vyrovnávací paměti
.ReadExisting()	čtení z portu
.ReadTo()	čtení požadované hodnoty

Tab. 7 – Příkazy pro komunikaci se sériovým portem.

Otevřením sériového portu s následným vymazáním vyrovnávací paměti bylo vše připraveno k odeslání požadavku (příkaz viz obr. 46) do modulu CMUcam3 na obrazový snímek. *SJ* je alias funkce *SEND_JPEG* z firmwaru.

```
serialPort1.Write("SJ\r");
```

Obr. 46 – Příkaz na zavolání snímku.

Metoda uvedená níže na obr. 47 sloužila k detekci příchozích dat po sériové lince. V této metodě se používaly příkazy na čtení ze sériového portu.

```
serialPort1_DataReceived(object sender,  
System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs e)
```

Obr. 47 – Metoda sloužící k detekci příchozích dat.

Z příkazů, které vidíme níže na obr. 48, byl první příkaz potřebný k přečtení potvrzení (ACK - acknowledge) požadavku na snímek. Po obdržení ACK byla vyslána všechna data JPEG snímku. Po obdržení JPG_END byla veškerá data snímku uložena v řetězci „s“, ze kterého je následně vytvořen objekt bytového pole (dta) s potřebným kódováním ASNI.

```
serialPort1.ReadTo("ACK\r");  
String s = serialPort1.ReadTo("JPG_END\r:");  
byte[] dta = new byte[s.Length];  
dta = Encoding.Default.GetBytes(s);
```

Obr. 48 – Sada příkazů pro správné načtení obrazových dat.

Následující příkazy prováděly uložení obrazu do souboru a zobrazení obrazu ve Windows aplikaci, viz obr. 49.

```
i++;  
string j= Convert.ToString(i);  
File.WriteAllBytes("image" + j + ".jpg", dta);  
MemoryStream ms = new MemoryStream(dta);  
pictureBox1.Image = Image.FromStream(ms);
```

Obr. 49 – Sada příkazů pro uložení a zobrazení snímku.

Pro vizuální zobrazení např. ACK ve Windows aplikaci musela být použita metoda *Invoke*, která zajišťovala synchronizaci vláken sériového portu a samotné aplikace, viz obr. 50.

```
string s = serialPort1.ReadExisting();  
richTextBox1.Invoke(new EventHandler(delegate { richTextBox1.AppendText(s); }));
```

*Obr. 50 – Metoda *Invoke* pro synchronizaci vláken.*

K zajištění toku snímků (stream) byl požadavek na další snímek odeslán vždy hned po vytvoření datového pole (dta) předchozího snímku.

Po vytvoření funkční komunikace přenosu obrazu nastalo samotné ověřování možností kamerového modulu. Byly na výběr dvě možnosti ověřování.

První možnost byla využít funkce přímého zápisu do registrů kamery, viz obr. 51.

```
serialPort1.Write("CR x1 x2\r");
```

Obr. 51 – Příkaz pro přímý zápis do registrů kamerového modulu.

Kde „x1“ je hodnotou sub-adresy registru a „x2“ je hodnotou nastavovacího bytu (viz kapitola 3.5 Registry). Hodnoty x1 a x2 se zadávají v dekadické soustavě. Příklad, který je uveden níže na obr. 52., nastavuje barevný model RGB (registr 0x12).

```
serialPort1.Write("CR 18 44\r");
```

Obr. 52 – Příkaz pro nastavení barevného modelu RGB.

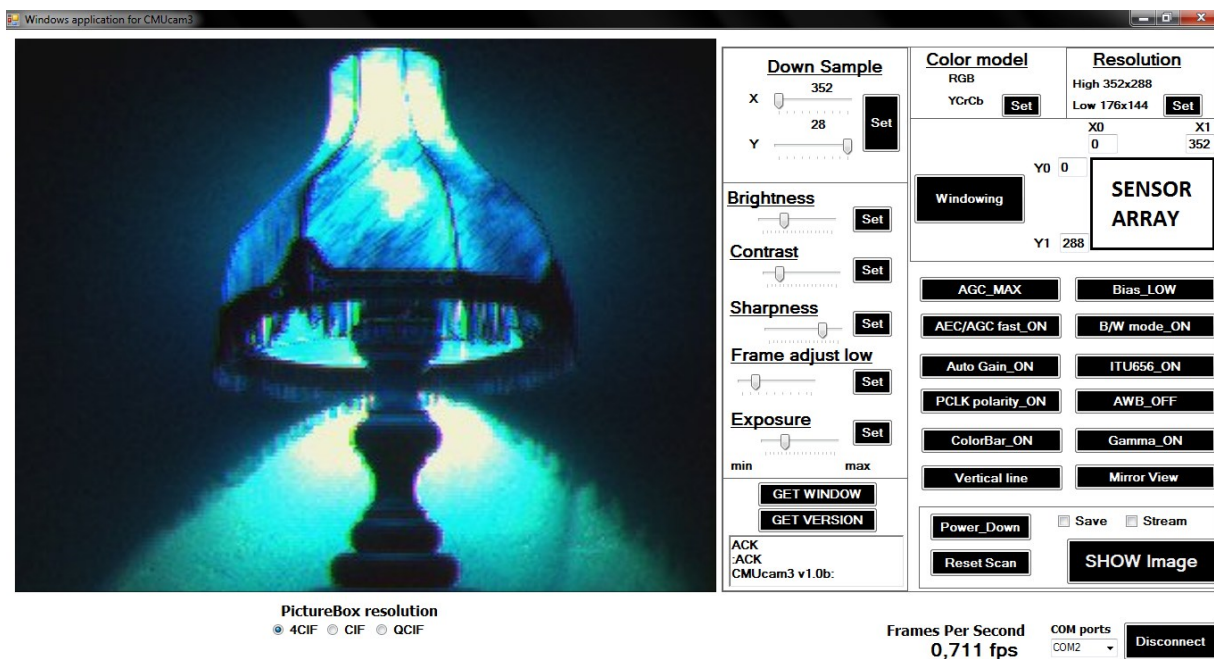
Druhá možnost byla využít zavolání přednastavených funkcí z firmwaru (viz tab. 5 kap. 4.2.1 Firmware). Příkladem může být funkce *DOWN_SAMPLE* alias *DS*, viz obr. 53.

```
serialPort1.Write("DS " + x + " " + y + "\r");
```

Obr. 53 – Příkaz pro použití funkce *DOWN_SAMPLE*.

Tato funkce je ekvivalentní funkci *CC3_SUBSAMPLE_NEAREST*, která byla vysvětlena v kapitole 4.2.1 Firmware. Testování této funkce proběhlo v kapitole 4.3.2 Digitální výstupy.

Vyvinutá Windows aplikace (viz obr. 54) použila několik základních funkcí na otestování možností obrazového čipu OmniVision. Aplikace dovoluje nastavení např. rozlišení (Resolution, Down Sample), výřezů (Windowing), barevných modelů (Color model), dobu expozice (Exposure), černobílé zobrazení (B/W mode), gamma korekci (Gamma) či jas (Brighness). Na obrázku 54 lze vidět aplikaci speciální funkce *PCLK polarity*, která invertuje barevné spektrum. Snímané žluté světlo vyzařované z lampičky se tedy mění na modré. Popis všech ovládacích prvků aplikace lze nalézt v příloze A. V kapitole 4.3.2 Digitální výstupy jsou zobrazeny další snímky z testovaných funkcí.



Obr. 54 – Testovací Windows aplikace, která ověřuje možnosti konfigurace obrazového senzoru.

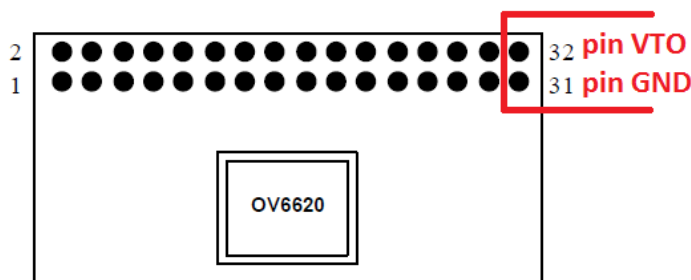
4.3 Testování

Kapitola testování vytváří popis praktického otestování analogového výstupu a digitálních výstupů.

4.3.1 Analogový výstup

První praktickým otestováním kamery bylo použití analogového výstupu, který je zdrojem kompozitního videosignálu. Použití je snadné a rychlé. Funkčního stavu bylo dosaženo správným připojením napájecího stejnosměrného napětí 5 V na pin VCC a uzemnění na pin GND či na jeden z trojce AGND. Dále bylo potřeba připojit vlastní analogový výstup. Připojení se provádělo k televizoru, který disponoval potřebným video vstupem. Na koaxiální kabel o požadované impedanci 75 Ohm byl připojen pin VTO a dále stínění kabelu muselo být uzemněno pinem GND. Po propojení kabelu s televizorem byla snímaná scéna zobrazena. Výsledný obraz byl podle očekávání monochromatický, avšak čistý a plynulý. Po dalším zkoumání bylo zřejmé, že snímací senzor měl aktivovanou funkci automatického vyvážení bílé barvy, která se projevovala při světelných změnách v okolí. Za snížených světelných podmínek byl obraz velmi tmavý. Koaxiální kabel měl konektor tzv. *chinch*. Další konfigurování se provádět nemuselo.

Použití analogového výstupu bylo prováděno za účelem ověření funkčnosti obrazového snímače.



Obr. 55 – Vyznačení potřebných pinů k používání analogového výstupu.



Obr. 56 – Fotografie z testování analogové videosekvence. (Kamera byla připojena do modulu CMUcam3 z důvodů zajištění stabilního napájení 5V.)

4.3.2 Digitální výstupy

Digitální výstupy (video porty) byly k modulu CMUcam3 připojeny pouze sběrnici Y (Y0-Y7), jelikož modul druhou sběrnici UV (UV0-UV7) z důvodu absence digitálních vstupů nemohl obsloužit. Avšak na otestování a ověření možností kamerového modulu byla sběrnice Y dostačující.

První testování kamerového modulu proběhlo po nastudování CC3 API, kde bylo využito jednoduchého testovacího firmwaru (benchmark) jen na úrovni CMUcam3. Testovalo se při různém rozlišení, barevných modelech a při různém počtu kanálů.

Barevný model	Rozlišení	Kanál	Down_Sample X, Y (**)	FPS*	Čas čtení [ms]
RGB	HIGH	ALL	-, (352x288)	6	152
YCRCB	HIGH	ALL	-, (352x288)	6	152
MONOCHROME	HIGH	SINGLE	-, (352x288)	8	110
YCRCB	HIGH	Y	-, (352x288)	8	109
RGB	LOW	ALL	-, (176x144)	24	38
MONOCHROME	LOW	SINGLE	-, (176x144)	25	27
RGB	HIGH	ALL	1,2 (352x144)	8	103
RGB	HIGH	ALL	2,1 (176x288)	8	98
RGB	LOW	ALL	2,1 (88x144)	25	25
RGB	LOW	ALL	1,2 (176x71)	25	25
RGB	LOW	ALL	2,2 (88x71)	25	19
MONOCHROME	LOW	SINGLE	2,2 (88x71)	50	17

*FPS (Frames Per Second) snímková frekvence = rychlost zpracování

** Výsledné rozlišení

Tab. 8 – Testování rychlosti zpracování snímků (firmware bench.c).

Testování (viz tab. 8) se provádělo za účelem ověření rychlosti zpracování snímků (FPS \geq 25 odpovídá plynulé video sekvenci) mikrokontrolérem. Dále byla zaznamenána doba čtení jednoho snímku. Výsledkem je, že mikrokontrolér dokáže zpracovávat obrazová data nejlépe při rozlišení QCIF (176x144) a to při plnohodnotných barvách v modelu RGB.

Následující testy probíhaly pomocí vyvinuté Windows aplikace při statické scéně. Na základě ověření činnosti funkce `DOWN_SAMPLE` proběhl test, kde se mimo jiné zaznamenávala snímková frekvence. Volba hodnot „x“ a „y“ byla libovolná. Například nastavením $x = 2$ a $y = 8$ (při výchozím rozlišení HIGH) dostaneme obraz o rozlišení 176x35px.

Výchozí rozlišení HIGH	Hodnota x i y	Velikost obrázku [kByte]*	FPS**
352x288	1	17,8	0,8
176x144	2	4,9	2,6
88x95	3	2,3	5
88x71	4	2	5,5
58x57	5	1,5	7
58x47	6	1,3	7,2
44x41	7	1,2	8
44x35	8	1,1	8,2
35x31	9	1	8,4
35x28	10	0,9	8,5

* Hodnota velikosti byla závislá na kvalitě JPEG komprese

**FPS snímková frekvence = rychlost přenosu obrazu po sériové lince

Tab. 9 – Testování funkce *DOWN_SAMPLE* (výchozí rozlišení HIGH, RGB model).

Výchozí rozlišení LOW	Hodnota x i y	Velikost obrázku [kByte]	FPS
176x144	1	4,7	2,7
88x71	2	2	6,9
44x47	3	1,1	10,1
44x35	4	1	12,3
29x28	5	0,9	12,9

Tab. 10 – Testování funkce *DOWN_SAMPLE* (výchozí rozlišení LOW, RGB model).

Z tabulek 9 a 10 vyplývá, že se snižujícím se rozlišení klesá velikost obrázku a naopak roste snímková frekvence. Hodnoty FPS při daném rozlišení jsou uspokojivé.

Při přenosu videosekvence za statické scény byla vzrůstající snímková frekvence postupně kolísavá až 1-2 FPS, což nasvědčuje různé kvalitě komprese obrazu v daném okamžiku.

Během vyvíjení Windows aplikace nastal problém s přenosovou rychlostí (baudrate), která měla výchozí hodnotu 115 200 bit/s (bd). Tato rychlost byla nedostačující, jelikož snímková frekvence byla zhruba 1 až 2 snímky za sekundu i při sníženém rozlišení snímaného obrazu. Při testování došlo tedy k navýšení přenosové rychlosti až na maximální hodnotu 430 000 bit/s (53 750 Byte/s). Při větších rychlostech byla data nekonzistentní, obraz se nezobrazil.

Se vzrůstající přenosovou rychlostí využitelnost sériové linky pro obrazový přenos klesala. Při rychlosti 115 200 bd bylo využito cca 50% (7 200 Byte/s) a při rychlosti 430 000 bd bylo využito cca 25% (13 400 Byte/s) z přenosové rychlosti pro přenos obrazu. Vysvětlení je takové, že využitelnost sériové linky ovlivňuje mnoho faktorů jako je např. doba expozice, synchronizace, zpracování (komprese) snímků či omezení ze strany hodinového krystalu.

Během ověřování funkce nastavené expozice (registry 0x25 a 0x26) docházelo pravidelně při videosekvenci k náhlé nečinnosti aplikace s následným nutným resetem. Při nastavování expozice se musí provádět zápis do obou registrů ihned po sobě. Po vložení příkazu (viz obr. 57) na pozastavení systémového vlákna aplikace proběhlo vše v pořádku. Vysvětlení je takové, že příkaz *write* nedokázal sériový port, tak rychle obsloužit.

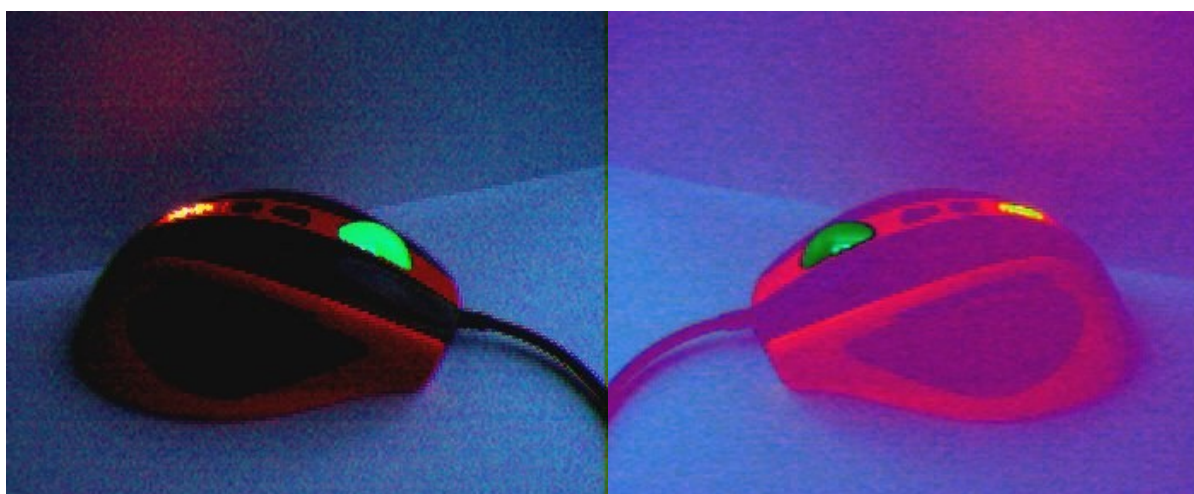
```
serialPort1.Write("CR 36 1\r");  
System.Threading.Thread.Sleep(500);  
serialPort1.Write("CR 37 1\r");
```

Obr. 57 – Vyřešení časté zaneprázdněnosti aplikace.

V následující stránce (stránkách) jsou názorně ukázány výsledné možnosti kamerového modulu C3088, kde se obraz upravoval přímo u obrazového snímače.



Obr. 58 – Snímky při (snížených světelných podmínkách) max. rozlišení 352x288px (RGB model), max. expozice (vlevo) a min expozice (vpravo).



Obr. 59 – Snímky při max. rozlišení 352x288px, RGB modelu, funkci Mirror view (vlevo) a YCrCb barevném modelu (vpravo).



Obr. 60 – Snímky při rozlišení 58x47px (vlevo) a 180x140px, funkci Windowing (vpravo).



Obr. 61 – Snímky při (lepších světelných podmínkách) rozlišení 176x144 (vlevo) a 352x288px s aplikací funkci PCLK polarity (vpravo).



Obr. 62 – Snímky při aplikaci funkcí Vertical line a Gamma (vlevo) a výchozí nastavení barevné spektra při rozlišení 352x35px (vpravo).

5. ZÁVĚR

Mobilní robotika jako velice perspektivní obor má nejvýznačnější základ v robotických soutěžích, které tento obor velice rozšiřují a určují směr vývoje. V těchto turnajích roboti získávají pomocí nejrůznějších senzorů informace, které potřebují ke splnění zadaných úkolů.

Z provedené analýzy vyplývá, že v mobilní robotice jsou digitální kamery stále více používány jako hlavní senzor, tedy zdroj informací pro roboty, které jim slouží k orientaci v prostředí nebo k rozeznávání různých překážek. Na zpracování dat z kamer je potřeba výkonných řídicích jednotek respektive procesorů, které vykonávají tzv. segmentaci a klasifikaci obrazových dat. Řídicí jednotky jsou na bázi jednočipových mikropočítačů nebo výkonných počítačů většinou notebooků. Digitální kamery jsou často využívány proto, jelikož v dnešní době cena kamerových systémů klesá a výkon procesorů neustále roste.

Všechny používané kamerové systémy mají základ buď na snímací technologii CMOS, nebo CCD. Nejpoužívanější kamery lze rozdělit na několik druhů: dle snímacích čipů, objektivů nebo dle sběrnic. Kamery mají i různé rozměry, hmotnosti nebo nároky na zdroj energie.

Zkoumaná digitální kamera C3088 byla dle první kapitoly práce zařazena do skupiny speciálních kamerových modulů. Z výsledků analýzy vyplývá, že tento kamerový modul vyniká svými malými rozměry, nízkou spotřebou energie (80 mW) a disponuje barevným CMOS obrazovým čipem. Největší výhodou čipu se skrývá v paměťových registrech, které nabízejí více než 150 funkcí, které dovolují podrobně konfigurovat obrazový snímač a tím i snímanou scénu.

Mimo jiné optický snímač nabízí např. CIF rozlišení, až 60 FPS nebo výsledný obraz v 24-bitové barevné hloubce. Kamera má k dispozici I²C sběrnici, se kterou se lze připojit k mnohým řídicím jednotkám, které jsou na bázi mikrořadičů.

Následné výzkumné činnosti spočívaly ve vytvoření testovacího řešení, kterým byly ověřeny mnohé možnosti kamerového modulu. Pro kamerový modul byl navrhnout dostatečně výkonný hardware, který byl snadno implementovatelný, konkrétně modul CMUcam3. Dále byl implementován řídicí software (firmware), kde bylo využito volně dostupného CC3 API.

Modul CMUcam3 spolu s kamerou lze provozovat v robotovi jako plnohodnotnou řídicí jednotku nebo jako jen ústřední kamerový systém, což můžeme považovat za výhodu.

Pomocí testovacího firmwaru byl proveden test rychlosti zpracování obrazu na úrovni CMUcam3, kde výsledkem bylo 24 FPS při QCIF rozlišení a při modelu RGB. Tento dobrý výsledek napovídá plynulému zpracování obrazu. Další test proběhl při plném rozlišení CIF, kde bylo dosaženo 6 FPS. V případě použití modulu jako řídicí jednotky lze i tento výsledek ohodnotit jako kladný, jelikož je možné modul doporučit všem nerychle se pohybujícím robotům.

Dále byla vyvinuta Windows aplikace a v kapitole 4.2.2 je popsána její základní struktura. Tato aplikace skrze sběrnici RS-232 a modul CMUcam3 reprezentuje možnosti nastavení snímaného obrazu kamery C3088. Umožňuje nastavit např. rozlišení, barevné modely, AWB, jas, kontrast, gamma (viz kapitola 4.2.2). Při vývoji aplikace bylo dosaženo maximální přenosové rychlosti 430 000 kbit/s na sériové lince, kde využitelnost pro

obrazový přenos byla cca 25%. Důsledek je vysvětlen tím, že při této rychlosti nastaly problémy s kmitočtovým krystalem, dobou expozice, synchronizací či s kompresí obrazu. Při otestování v RGB modelu za plného rozlišení bylo naměřeno 1 FPS a při QCIF 3 FPS. Při použití výsledného řešení jako ústředního členu, který by přeposílal data na další zpracování, lze označit RS-232 za spíše nedostačující, ale jen v případech, kde by bylo QCIF rozlišení nezbytně nutné, jelikož v mnohých aplikacích postačí i menší rozlišení. Tímto je vytvořená odpověď na možnou otázku, jestli je rozlišení kamery vůbec dostatečné. Odpověď je, že rozlišení není hlavní potřebná vlastnost kamery pro mobilní robotiku.

Výhodou výsledného řešení např. oproti běžným webovým systémům je, že vytváří díky API inteligentní kamerový systém s možností připojení servomotorů nebo jiných podobných kamerových modulů. Další výhodou je sériové rozhraní s TTL logikou, které umožňuje připojení k běžným mikrořadičům. Nevýhodou tohoto řešení je neschopnost modulu připojit druhou digitální sběrnici kamery, čímž nelze využít všechny funkce obrazového čipu. V určitých případech lze tedy za nevýhodu označit i sběrnici RS-232.

Hodnocení samotného kamerového modulu je takové, že kombinací CMOS technologie a jednoduchého digitálního rozhraní je C3088 nízkoenergeticky náročný kamerový modul, který je snadno dostupným a levným řešením pro vytváření hodnotných video snímků. Tyto snímky lze díky obrazovému čipu snadno konfigurovat (podpora pro segmentaci obrazu), čímž je kamerový modul vhodný k použití v mobilní robotice a lze ho doporučit mobilním robotům např. autonomním, kteří disponují malými rozměry a nízkými energetickými kapacitami. Nevýhodou tohoto modulu je viditelný šum v obrazu.

Bakalářská práce vytváří podklad pro použití kamerového modulu v nejrůznějších aplikacích a poskytuje novým uživatelům (i začátečníkům s elektronikou) potřebné informace k rychlému a k efektivnímu používání této či obdobné kamery, jelikož jsou k dostání další moduly s čipy OmniVision, které pracují na stejných principech.

Navrhovaný postup do budoucna je aplikace na mobilního robota s aplikováním algoritmů počítačového vidění a implementace rychlejší sběrnice pro přenos dat.

Seznam použité literatury

- [1] OmniVision Technologies. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 9.1.2007, last modified on 24.9. 2010 [cit. 2011-03-16]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/OmniVision_Technologies>.
- [2] *Blog.pepej.com* [online]. 2008 [cit. 2011-04-09]. CCD vs CMOS - srovnání technologií. Dostupné z WWW: <<http://blog.pepej.com/articles.php?action=show&showarticle=6>>.
- [3] CMOS. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 24. 5. 2007, last modified on 3. 11. 2010 [cit. 2011-04-09]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/CMOS>>.
- [4] ŠURKALA, Milan. *DIGIMANIE* [online]. 5.10.2009 [cit. 2011-04-09]. Fotomobily: snímací čipy CMOS vs. CCD. Dostupné z WWW: <http://www.digimanie.cz/art_doc-67BCCD2DF7A9F53EC125763F0044663D.html>.
- [5] CCD. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 13. 4. 2006, last modified on 6. 5. 2011 [cit. 2011-04-09]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/CCD>>.
- [6] *Strojové vidění* [online]. 2008 [cit. 2011-04-12]. Kamera pro systém strojového vidění. Dostupné z WWW: <http://www.strojovevideni.cz/default.asp?inc=inc/tp_kamera.htm&id=21>.
- [7] DLOUHÝ , Martin ; WINKLER, Zbyněk . *Robotika.cz* [online]. 2007, 2011-01-25 [cit. 2011-04-01]. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/competitions/cs>>.
- [8] JANOUC, Michal . *Zpracování obrazu jednočipovým mikroprocesorem* [online]. Praha: ČVUT, 2008. 86 s. Diplomová práce. ČVUT, FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ. Dostupné z WWW: <http://imr.felk.cvut.cz/robotour/files/dp_michal_janouch/DP-Michal_Janouch.pdf>.
- [9] HRABEC, Jakub . *RoBohemia* [online]. 2001, 2.8. 2007 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.robohemia.cz/>>.
- [10] ZAJÍC, J. Návrh humanoidního robota pro soutěž Robocup. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Stanislav Věchet, Ph.D..
- [11] DLOUHÝ, Martin; WINKLER, Zbyněk . *Robotika.cz* [online]. 6.8.2006 [cit. 2011-05-01]. RoboTour. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/competitions/robotour/cs>>.
- [12] KRAJNÍK, Tomáš . *Robotika.cz* [online]. 30.1.2008 [cit. 2011-05-02]. RoboTour 2007. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/competitions/robotour/2007/proceedings/fog-b/cs>>.
- [13] FAIGL, Jan . *Robotika.cz* [online]. 27.1.2008 [cit. 2011-05-02]. RoboTour 2007. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/competitions/robotour/2007/proceedings/fog-a/cs>>.
- [14] DLOUHÝ, Martin; WINKLER, Zbyněk . *Robotika.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-05-03]. Fieldrobot. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/competitions/fieldrobot/cs>>.

- [15] DLOUHÝ, Martin. *Robotika.cz* [online]. 15.6.2010 [cit. 2011-05-03]. Field Robot 2010. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/competitions/fieldrobot/2010/cs>>.
- [16] DLOUHÝ, Martin. *Robotika.cz* [online]. 2.20.2004 [cit. 2011-05-16]. Grand Challenge. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/competitions/grandchallenge/cs>>.
- [17] Stanley (vehicle). In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 8.10.2005, last modified on 9.4.2011 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Stanley_%28vehicle%29>.
- [18] DLOUHÝ, Martin. *Robotika.cz* [online]. 26.5.2010 [cit. 2011-05-22]. Robotem rovně 2010. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/competitions/robotem-rovne/2010/cs>>.
- [19] ŽALUD, Luděk. *Robotika.cz* [online]. 10.5.2003 [cit. 2011-05-17]. Robocup 2003 - Rescue. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/competitions/rescue/2003/cs>>.
- [20] ŠOLC, František, et al. *ORPHEUS* [online]. 2003 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.uamt.feec.vutbr.cz/robotics/orpheus/index.html.cz>>.
- [21] COMedia Ltd.. *Color Camera Module C3088* [online]. [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.electronics123.net/amazon/datasheet/c3088.pdf>>.
- [22] Objektiv. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2.7. 2009, last modified on 17.2. 2011 [cit. 2011-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Objektiv>>.
- [23] ELECTRONICS123.COM [online]. [cit. 2011-04-06]. Kits and Modules . Dostupné z WWW: <<http://www.electronics123.com/s.nl/it.A/id.2712/.f>>.
- [24] FABIÁN, Petr. *Digitální fotografie* [online]. [cit. 2011-04-06]. IR-cut filtr. Dostupné z WWW: <<http://www.pefab.eu/cs/IR-cut-filtr>>.
- [25] OMNIVISION. *Datasheet OmniVision 6620* [online]. 1999, [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://shop.snainstruments.com/docs/ov6620.pdf>>.
- [26] ROMAN, Pihan. *Fotografování.cz* [online]. 29.06.2006 [cit. 2011-05-09]. Barva a vyvážení bílé. Dostupné z WWW: <http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_color1.html>.
- [27] KLOPFENSTEIN , Richard. *EHow* [online]. 2010, 15.11. 2010 [cit. 2011-04-20]. Rolling Shutter Vs. Global Shutter. Dostupné z WWW: <http://www.ehow.com/facts_7347087_rolling-shutter-vs_-global-shutter.html>.
- [28] Rolling shutter. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 23.6.2008, last modified on 20.3.2011 [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_shutter>.
- [29] I²C. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 16. 6. 2007, last modified on 23. 1. 2011 [cit. 2011-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>>.

- [30] ITU-R. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 31.10. 2001 , last modified on 12.4.2011 [cit. 2011-05-09]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/ITU-R>>.
- [31] PIHAN, Roman . *DIGIMANIE* [online]. 15.9.2006 [cit. 2011-05-09]. Reprezentace barev v PC, RGB a barevný prostor. Dostupné z WWW: <http://www.digimanie.cz/art_doc-C40D4D3BDB59097EC12571E900639E80.html>.
- [32] *Digitální TV* [online]. 2010 [cit. 2011-05-09]. Přepočít barev z RGB do YUV, YCbCr, YPbPr. Dostupné z WWW: <http://www.2160p.cz/yuv-ybcr-ybpr/newsbcm_346317/15/>.
- [33] JAHODA, R. *TV Freak* [online]. 3.10.2001 [cit. 2011-05-09]. Formáty obrazu videa. Dostupné z WWW: <http://www.tvfreak.cz/art_doc-AF3799F3A349EE89C125727C0059F8E5.html>.
- [34] BŘEZINA, Jan. *GRAFIKA ON-LINE* [online]. 10.05.2000 [cit. 2011-05-09]. Barevná hloubka lidsky a jasně . Dostupné z WWW: <<http://www.grafika.cz/art/skenery/clanek1579790006.html>>.
- [35] FUČÍK, Karel . *KAFR.CZ* [online]. 29. 5. 2008 [cit. 2011-05-02]. Dynamický rozsah digitálních fotoaparátů. Dostupné z WWW: <<http://www.karf.cz/dynamicky-rozsah-digitalnich-fotoaparatu/>>.
- [36] BŘEZINA, Jan. *GRAFIKA ON-LINE* [online]. 14.01.2000 [cit. 2011-05-02]. Anti-blooming. Dostupné z WWW: <<http://www.grafika.cz/art/df/clanek435732218.html>>.
- [37] ORLANDO, John Royce. *JROBOT* [online]. 2004, 04.16.2011 [cit. 2011-05-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.jrobot.net/>>.
- [38] *AIS CUBE* [online]. 2007 [cit. 2011-05-08]. Downloads: BlazingCore Documentation. Dostupné z WWW: <<http://www.aiscube.com/main/downloads.html>>.
- [39] *The Robotics Institute - Carnegie Mellon University* [online]. [cit. 2011-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.ri.cmu.edu/>>.
- [40] ROWE, Anthony, et al. *CMUcam3: Open Source Programmable Embedded Color Vision Platform* [online]. 2007 [cit. 2011-04-28]. CMUcam. Dostupné z WWW: <<http://www.cmucam.org/>>.
- [41] Digitální signálový procesor. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 17.4.2006, last modified on 24.12.2010 [cit. 2011-05-20]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Digit%C3%A1ln%C3%AD_sign%C3%A1lov%C3%BD_procesor>.

Seznam obrázků

Obr. 1 – Logo firmy OmniVision Technologies Inc.. [1]	13
Obr. 2 – CCD čip o velikosti 1/3 palce (vlevo), CMOS čip o velikosti 1/4 palce (vpravo). [5]	15
Obr. 3 – Schéma uspořádání pro soutěž Mirosoft. [9].....	18
Obr. 4 – Webová kamera Microsoft LifeCam HD-5000 s CMOS čipem. [10]	18
Obr. 5 – Všesměrová kamera VS-C14U-80-ST s CCD čipem a ukázka obrazu. [10].....	19
Obr. 6 – Průmyslová kamera Fire-i 400 se Sony CCD čipem. [12].....	20
Obr. 7 – Robot Body s webovou kamerou s OmniVision CMOS čipem. [13]	20
Obr. 8 – Inteligentní kamerový modul CMUcam2 s CMOS OmniVision čipem. [13]	21
Obr. 9 – Autonomní robot Eduro Maxi HD s IP kamerou. [15]	22
Obr. 10 – Reálný pohled z kamery (vlevo), barevná segmentace snímku (vpravo). [15].....	22
Obr. 11 – Autonomní vozidlo Stanley používající stereo kameru. [17].....	23
Obr. 12 – Pohled z „oka“ robota týmu ARbot. [18].....	24
Obr. 13 – Záchranářských robot Orpheus (vybaven třemi kamerami). [20]	24
Obr. 14 – Kamerový modul 3088 s čipem OmniVision 6620.....	25
Obr. 15 – Objektiv kamerového modulu C3088. [23].....	26
Obr. 16 – Čip OmniVision 6620.....	27
Obr. 17 – Blokové schéma senzoru OV6620. [25]	28
Obr. 18 – Spektrální citlivost lidského oka na barvy. [26].....	28
Obr. 19 – Spektrální charakteristika senzoru OV6620. [25].....	29
Obr. 20 – Příklady možného defektu fotografie při použití rolling shutter snímače. [28]	30
Obr. 21 – Schematický obrázek s výrazněným obrazovým kanálem Y. [25]	31
Obr. 22 – Model přenosu dat po I ² C sběrnici. [25]	31
Obr. 23 – Příklad vytvoření žluté barvy v RGB modelu. [31]	32
Obr. 24 – Ukázka barevného prostoru YCrCb. [32]	33
Obr. 25 – Přepočítávací formule z RGB barevné modelu na YCrCb model. [25].....	34
Obr. 26 – Přední strana modulu AVRcam (vlevo) a jeho zadní strana (vpravo). [37]	37
Obr. 27 – Foto základní desky modulu BlazingCore. [38].....	38
Obr. 28 – Přední strany modulů CMUcam1 (vlevo) a CMUcam2 (vpravo) s kamerou C3088. [8].....	39
Obr. 29 – Fotografie robotického psa RobuDOG se kamerovým modulem CMUcam3. [8].....	39
Obr. 30 – Fotografie robota Hardcore III s kamerovým modulem CMUcam2. [8].....	40
Obr. 31 – Přední strana modulu CMUcam3 s kamerou C3088 a paměťovou kartou. [40].....	42
Obr. 32 – Zadní strana modulu CMUcam3 s popisem. [40]	43

Obr. 33 – Blokové schéma komunikace hlavních součástí modulu CMUcam3 s OV čipem. [40]	44
Obr. 34 – Sada testovacího hardwaru.	45
Obr. 35 – Prostředí Cygwin pro kompilaci firmwaru.	46
Obr. 36 – Aplikace pro nahrávání firmwaru do procesoru.	46
Obr. 37 – Funkce nastavující parametry sériové linky.	47
Obr. 38 – Funkce nastavující parametry rozlišení.	47
Obr. 39 – Funkce nastavující barevné a černobílý model.	47
Obr. 40 – Funkce nastavující barevné a černobílý model.	47
Obr. 41 – Funkce nastavující AWB a auto expozici.	47
Obr. 42 – Kódy funkcí BRIG a CONT.	49
Obr. 44 – Analýza kódování obrazových dat po sériovém portu – ANSI (vlevo), ASCII (vpravo).	50
Obr. 45 – Příkaz pro načtení dostupných sériových portů.	50
Obr. 46 – Příkaz na zavolání snímku.	51
Obr. 47 – Metoda sloužící k detekci příchozích dat.	51
Obr. 48 – Sada příkazů pro správné načtení obrazových dat.	51
Obr. 49 – Sada příkazů pro uložení a zobrazení snímku.	51
Obr. 50 – Metoda Invoke pro synchronizaci vláken.	51
Obr. 51 – Příkaz pro přímý zápis do registrů kamerového modulu.	51
Obr. 52 – Příkaz pro nastavení barevného modelu RGB.	52
Obr. 53 – Příkaz pro použití funkce DOWN_SAMPLE.	52
Obr. 54 – Testovací Windows aplikace, která ověřuje možnosti konfigurace obrazového senzoru.	52
Obr. 55 – Vyznačení potřebných pinů k používání analogového výstupu.	53
Obr. 56 – Fotografie z testování analogové videosekvence. (Kamera byla připojena do modulu CMUcam3 z důvodů zajištění stabilního napájení 5V.)	53
Obr. 57 – Vyřešení časté zaneprázdněnosti aplikace.	56
Obr. 58 – Snímky při max. rozlišení 352x288px (RGB model), max. expozice (vlevo) a min expozice (vpravo).	56
Obr. 59 – Snímky při max. rozlišení 352x288px, RGB modelu, funkci Mirror view (vlevo) a YCrCb barevném modelu (vpravo).	56
Obr. 60 – Snímky při rozlišení 58x47px (vlevo) a 180x140px, funkci Windowing (vpravo).	57
Obr. 61 – Snímky při rozlišení 176x144 (vlevo) a 352x288px s aplikací funkcí PCLK polarity (vpravo).	57
Obr. 62 – Snímky při aplikaci funkcí Vertical line a Gamma (vlevo) a výchozí nastavení barevné spektra při rozlišení 352x35px (vpravo).	57

Seznam tabulek

Tab. 1 – Rozdíly mezi CCD a CMOS technologiemi. [4].....	16
Tab. 2 – Příklady tří různých registrů. [25]	35
Tab. 3 – Popis funkcí všech vyvedených konektorových kolíků. [21].....	36
Tab. 4 – Funkce pro aktivaci kanálů barevných modelů.	48
Tab. 5 – Základní funkce, které lze volat z firmwaru po sériové lince.	48
Tab. 6 – Nastavení sériového portu (COM).	49
Tab. 7 – Příkazy pro komunikaci se sériovým portem.	50
Tab. 8 – Testování rychlosti zpracování snímků (firmware bench.c).	54
Tab. 9 – Testování funkce DOWN_SAMPLE (výchozí rozlišení HIGH, RGB model).	55
Tab. 10 – Testování funkce DOWN_SAMPLE (výchozí rozlišení LOW, RGB model).	55

Přílohy

A – Tabulka s popisem funkcí použitých ve Windows aplikaci.

NÁZEV FUNKCE	STRUČNÝ POPIS FUNKCE
Down sample	Pokročilé nastavení rozlišení
Color model	Nastavení barevného modelu
Resolution	Nastavení rozlišení
Brightness	Nastavení jasu
Contrast	Nastavení kontrastu
Sharpness	Nastavení ostrosti
Frame adjust low	Přizpůsobení jasu
Exposure	Nastavení doby expozice
Get window	Získání rozměru snímku
Get version	Získání verze modulu
Windowing	Aplikace výřezů
PictureBox resolution	Nastavení rozměru okna
AGC_MAX	Nastavení maximálního zesílení
AEC/AGC fast_ON	Mód rychlé expozice a zesílení
Auto Gain_ON	Nastavení automatického zesílení
PCLK polarity_ON	Inverzní záznam barev
ColorBar_ON	Zobrazení barevné palety
Vertical line	Vertikální rozdělní obrazu
Bias_LOW	Nastavení zkreslení
B/W mode_ON	Nastavení černobílého obrazu
ITU656_ON	Nastavení obrazu dle ITU-656
AWB_OFF	Nastavení automatického vyvážení bílé barvy
Gamma_ON	Nastavení gamma korekce
Mirror View	Zrcadlový obraz
Power_Down	Vypnutí snímání
Reset Scan	Reset snímání
COM ports	Výběr COM portu
Frame per second	Snímková frekvence
Save	Uložení snímku
Stream	Zapnutí videosekvence
Show Image	Zobrazení snímku
Connect/Disconnect	Připojení či odpojení sériové linky

B - Optický disk CD-ROM

Obsah:

- ✓ Elektronická forma bakalářské práce