



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
katedra radioelektroniky**

Snímání a zpracování videa s vysokým dynamickým rozsahem

High dynamic range video acquisition and processing

Bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Studijní obor: Multimediální technika

Vedoucí práce: Ing. Karel Fliegel, Ph.D.

Michal Bolek

Praha 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra radioelektroniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Michal Bolek**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Multimediální technika

Název tématu: **Snímání a zpracování videa s vysokým dynamickým rozsahem**

Pokyny pro vypracování:

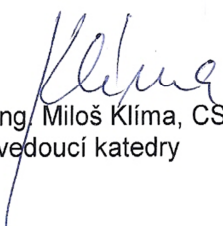
Podějte přehled metod pro snímání a zpracování videa s vysokým dynamickým rozsahem HDR (High Dynamic Range). Seznamte se s dvoučipovou barevnou kamerou pro snímání HDR videa a změřte její základní zobrazovací charakteristiky. S využitím vhodného programového vybavení realizujte systém pro snímání a zpracování videa z této kamery. Tento systém by měl umožňovat srovnání různých přístupů k tvorbě HDR videa a aplikaci operátorů mapování tónů TMO (Tone Mapping Operator).

Seznam odborné literatury:

- [1] Gonzalez, R. C., Woods, R. E.: Digital image processing, Prentice-Hall, 2007.
- [2] Reinhard, E. et al.: High dynamic range imaging: acquisition, display, and image-based lighting, Elsevier, 2010.

Vedoucí: Ing. Karel Fliegel, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015


Prof. Ing. Miloš Klíma, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 10. 2. 2014

Abstrakt

Práce se zabývá možnostmi snímání videa s vysokým dynamickým rozsahem a technikami mapování tonality pro převod videa s vysokým dynamickým rozsahem do výstupního formátu s nízkým dynamickým rozsahem. Práce dále seznamuje s dvoučipovou barevnou kamerou JAI AD-132GE a popisuje způsoby snímání HDR videa pomocí výrobcem dodávaného softwaru. Práce dále popisuje metodu měření optoelektronické převodní charakteristiky, podle které je provedeno měření pro oba snímací senzory kamery. Součástí práce je vytvořená aplikace v programovém prostředí LabVIEW umožňující snímání videa s kamery a následné vytvoření videa s vysokým dynamickým rozsahem a aplikaci mapování tonality.

Klíčová slova

vysoký dynamický rozsah, mapování tonality, optoelektronická převodní charakteristika

Abstract

The thesis is concerned with high dynamic range video imaging possibilities and tone mapping techniques for high dynamic range to low dynamic range video conversion. The thesis also introduces the 2-CCD color camera JAI AD-132GE and describes ways how image high dynamic range video with a distributed software. The thesis also describes an optoelectronic conversion function measurement and this function is measured for both camera's sensors. A component part of the thesis is an application developed in LabVIEW, which is able to acquire video from camera and then create high dynamic range video and use tone mapping techniques.

Keywords

high dynamic range, tone mapping, opto-electronic conversion function

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

.....

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Inq. Karlu Fliegelovi, Ph.D., za cenné připomínky a rady při tvorbě této práce.

Obsah

| | |
|--|----|
| 1 Úvod..... | 7 |
| 2 Vysoký dynamický rozsah..... | 8 |
| 2.1 Dynamický rozsah | 8 |
| 2.2 Typické scény s vysokým dynamickým rozsahem..... | 8 |
| 3 Snímání obrazu s vysokým dynamickým rozsahem..... | 11 |
| 3.1 Vícenásobná expozice | 11 |
| 3.2 Snímání pomocí více senzorů | 12 |
| 3.3 Skládání obrazu..... | 13 |
| 3.4 Senzory pro snímání HDR obrazu | 16 |
| 4 Mapování tonality..... | 18 |
| 4.1 Globální operátory | 19 |
| 4.2 Lokální operátory | 24 |
| 5 Kamera JAI AD-132GE..... | 26 |
| 5.1 Přehled..... | 26 |
| 5.2 Ovládací software kamer JAI | 27 |
| 5.2.1 JAI Control tool | 27 |
| 5.2.2 Další možnosti | 30 |
| 5.3 Měření optoelektronické převodní charakteristiky | 30 |
| 5.3.1 Optoelektronická převodní charakteristika | 30 |
| 5.3.2 Naměřené hodnoty a výsledky | 32 |
| 6 Systém pro zpracování videa z kamery JAI AD-132GE..... | 37 |
| 6.1 Návrh programu..... | 37 |
| 6.2 Programovací prostředí LabVIEW..... | 37 |
| 6.3 Nastavení kamery a snímání obrazu..... | 38 |
| 6.4 Složení HDR obrazu..... | 39 |
| 6.5 Operátory mapování tonality..... | 41 |
| 6.6 Ukládání videa | 42 |
| 6.7 Režim off-line | 43 |
| 6.8 Čelní panel | 43 |
| 6.9 Testování systému | 45 |
| 6.10 Zjednodušená verze systému..... | 47 |
| 7 Závěr | 52 |
| Literatura | 53 |
| Seznam použitých zkratk..... | 56 |
| Příloha A – Obsah DVD | 57 |

1 Úvod

Cílem práce je seznámení se s problematikou snímání videa s vysokým dynamickým rozsahem a následného zpracování, zejména aplikací mapování tonality. V první části se práce zaměřuje na hlavní metody snímání obrazu s vysokým dynamickým rozsahem, zejména pak na metody, kde se využívá více snímků s různými expozicemi. Další část práce popisuje metody mapování tonality se zaměřením na globální techniky. Práce má dále za cíl seznámit s kamerou JAI AD-132GE se dvěma obrazovými snímači a jejími možnostmi snímání videa s vysokým dynamickým rozsahem. Dalším cílem práce pak je změřit optoelektronickou převodní charakteristiku obrazových čipů kamery a pomocí programovacího prostředí LabVIEW vytvořit program pro snímání obrazu z této kamery, který bude umožňovat vytvořit video s vysokým dynamickým rozsahem a pomocí aplikace mapování tonality ho zpět převést na výstup s nízkým dynamickým rozsahem.

2 Vysoký dynamický rozsah

2.1 Dynamický rozsah

Pod pojmem dynamický rozsah rozumíme poměru mezi nejjasnějším a nejtmašším místem na snímané scéně. Dynamický rozsah můžeme jednoduše vyjádřit jako kontrastní poměr. Poměr 1:100 např. znamená, že nejvyšší hodnota jasu je oproti nejnižší hodnotě 100 krát větší. Dále můžeme dynamický rozsah vyjádřit počtem řádů kontrastního poměru, v našem příkladu by to znamenalo, že rozsah je 2 řády. Počet řádů také můžeme vyjádřit pomocí decibelů, kde dvěma řádům odpovídá 40 decibelů [1].

Lidské oko je schopno vnímat dynamický rozsah až 10 řádu při adaptaci oka na okolní podmínky a v případě normálních podmínek kolem 5 řádů. Sluncem osvětlená scéna pak může mít 5-7 řádů. Oproti tomu klasické snímače CCD nebo CMOS jsou schopny zaznamenat dynamický rozsah 3 řádů, podobně je tomu u filmových negativů [1].

Klasickými postupy a snímači jsme schopni zachytit jen omezený dynamický rozsah scény, který neodpovídá reálné situaci, výsledkem jsou snímky s nízkým dynamickým rozsahem (LDR, Low dynamic range). Snímky s vysokým dynamickým rozsahem (HDR, High dynamic range), které zachycují reálný rozsah jasů scény, se pořizují jinými metodami [2].

Dalším problémem pak je zobrazení takového HDR obrazu. Dynamický rozsah displejů je také omezený a u běžných modelů se pohybuje kolem 3 řádů, u speciálních a pak kolem 5 řádů. Pokud chceme zobrazit nasnímaný HDR obraz, musíme tedy nejdříve provést odpovídající kompresi zpět na LDR obraz [1].

2.2 Typické scény s vysokým dynamickým rozsahem

Typickými scénami s vysokým dynamickým rozsahem, jsou takové, kde je výrazný zdroj světla, který scénu osvětluje, a pak zejména kompozice, kde snímáme protisvětlo. V prvním případě díky silnému osvětlení vzniká velký kontrast a v nejsvětlejších místech kvůli přeexpozici obrazu ztrácíme informace a taktéž je ztrácíme i o nejtmašších místech díky podexpo-

zici. Takováto situace nastává obvykle při snímání ve venkovním prostředí, když chceme snímat scénu, která obsahuje i jasnou oblohu. Ta bude v případě běžného snímání přexponovaná a bez detailů a zároveň budou bez detailů i stíny. V případě snímání metodami HDR lze získat detaily i v těchto problematických místech. Situaci ilustruje obr. 2.2. V druhém případě nastává problém, pokud chceme mít dobře exponovanou většinu obrázku. V této situaci budeme mít totiž silně přexponovanou část, která zachycuje silné světlo, a naopak pokud dobře exponujeme oblast světla, tak bude velmi podexponovaný zbytek obrázku. Příkladem takové scény je potměnlý interiér, kde jsou otevřené dveře, z kterých svítí dovnitř ostré sluneční světlo, které snímáme přímo proti objektivu kamery, na obr. 2.1. Obdobným příkladem je i snímání proti oknu na obr. 2.3. V obou případech lze pomocí snímání HDR metodami dosáhnout skutečného zobrazení [1, 3].



Obr. 2.1: Scéna s dveřmi pořizena klasickou (vlevo) a HDR (vpravo) metodou. Převzato z [1]

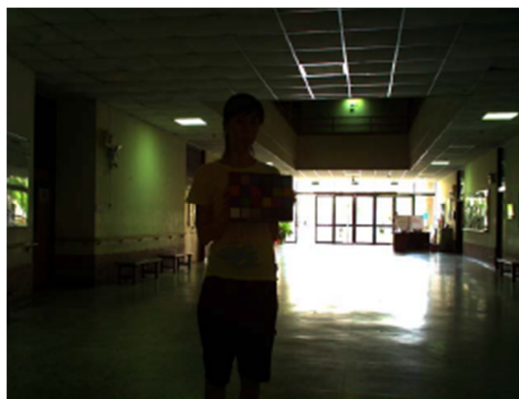


Obr. 2.2: Scéna s oblohou pořizena klasickou (vlevo) a HDR (vpravo) metodou. Převzato z [1]



Obr. 2.3: Scéna s oknem pořizena klasickou (vlevo) a HDR (vpravo) metodou. Převzato z [3]

Jedno z míst kde se uplatňuje HDR, je rozpoznávání obličejů v místech, kde je obraz s obličejem snímán při velkém dynamickém rozsahu. V těchto případech dochází k obtížím v rozeznávání, protože obličej je buď málo, nebo hodně exponovaný, a je třeba různými způsoby obraz přizpůsobovat, aby systém správně fungoval [4]. Jedním z možných řešení je snímat scénu HDR metodami, abychom pokryli celý rozsah scény a obličej byl správně exponovaný. Na obr. 2.4 je vidět scéna, kde je z důvodu silného světla v pozadí podexponovaný obličej a je tedy špatně rozpoznatelný. V případě snímání HDR metodu získáme obrázek, kde bude obličej dobře exponovaný a získáme jeho detaily, které potřebuje rozpoznávací systém.



Obr. 2.4: Scéna se špatně rozpoznatelným obličejem. Převzato z [4]

3 Snímání obrazu s vysokým dynamickým rozsahem

Možností jak zachytit celý dynamický rozsah snímané scény existuje vícero. V této kapitole budou popsány tři základní metody snímání HDR obrazu.

3.1 Vícenásobná expozice

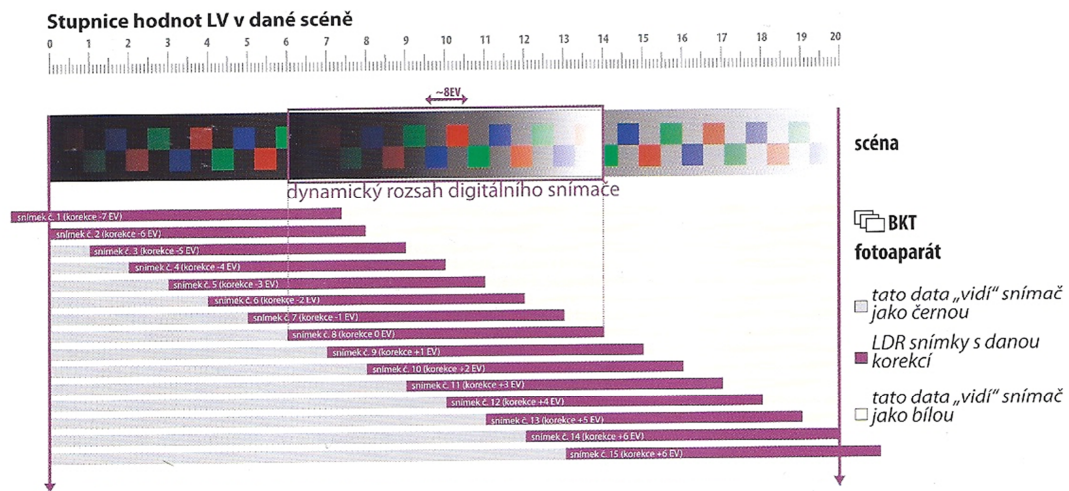
Základní a rozšířenou technikou pořizování obrazu s vysokým dynamickým rozsahem je využití vícenásobné expozice snímané scény pomocí klasického snímače s omezeným dynamickým rozsahem. Postupným snímáním scény s různou hodnotou expozice docílíme toho, že jednotlivé obrázky v sekvenci snímků budou mít některé části podexponované nebo přexponované, ale na jednom nebo více obrázků bude většina pixelů správně exponována a budeme mít informaci o celém rozsahu jasů scény. Složením 2 a více takto pořizovaných obrázků do jednoho získáme obrázek s rozšířeným dynamickým rozsahem [5]. Na obr. 3.1 je uveden příklad takového skládání.



Obr. 3.1: Vlevo podexponovaný obrázek, uprostřed přexponovaný obrázek a vpravo složený obrázek. Převzato z [2]

Změna hodnoty expozice se obvykle provádí po jednom kroku, což odpovídá polovičnímu nebo naopak dvojnásobnému propuštění světla. Hodnota expozice závisí na třech parametrech, které můžeme měnit. První možností je změna citlivosti ISO. Při změně citlivosti se nemění množství světla dopadající na snímací senzor, ale pouze se zesiluje výstupní signál a společně s ním i šum. Změna expozice tímto parametrem je tedy nevhodná, protože dochází k různým šumovým poměrům. Další možnost, změna clony, je také nevhodná, protože je zároveň se změnou ovlivněna hloubka ostrosti snímku. Změnu expozice lze tedy provádět

jen posledním z parametrů a to úpravou času závěrky. Případnou další možností je použití neutrálních šedých filtrů [1]. Postup takového snímání ilustruje obr. 3.2.



Obr. 3.2: Postupné snímání se změnami expozice. Převzato z [1]

Metoda má zásadní nevýhodu, pokud nesnímáme statickou scénu, protože při pohybu budou od sebe snímky nepatrně odlišné a výsledný snímek bude rozmazaný. V případě dynamické scény je proto potřeba navíc před skládáním obrazu provést pomocí některého algoritmu zarovnání snímků [6]. Dalším omezením je také použitelný rozsah expozičních časů, protože pro plynulou videosekvenci musíme nasnímat dostatečný počet snímků za vteřinu.

3.2 Snímání pomocí více senzorů

Další metodou pořizování HDR videa, která také využívá sloučení více obrázků s různou expoziční hodnotou, je snímání s více senzory. Tato metoda je založena na rozdělení přicházejícího svazku světla na více částí pomocí optické soustavy. Jednotlivé svazky jsou poté přivedeny na jednotlivé obrazové senzory a snímány současně. Odlišné expozice poté můžeme dosáhnout různou dobou expozičních časů senzorů, různou propustností optické dělicí soustavy nebo případně neutrálními filtry s různou propustností světla. Tato metoda umožňuje snímat oproti předchozí metodě lépe dynamické sekvence, protože snímáme současně snímky s různou expoziční dobou a nedochází tedy k rozmazání při pohybu na scéně [7].

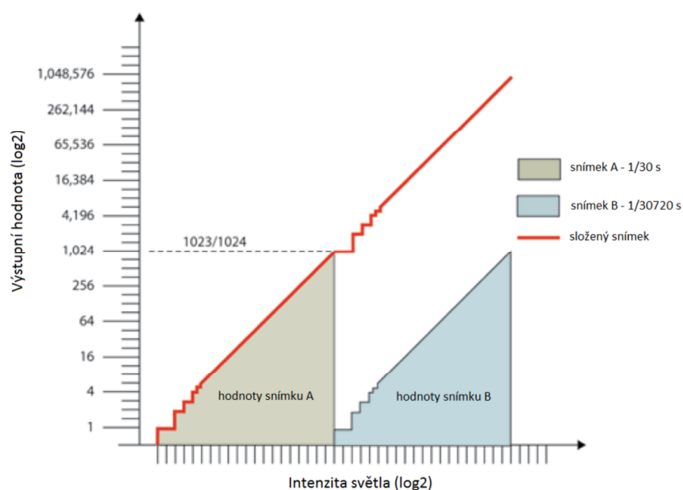
3.3 Skládání obrazu

V případě užití metod, při kterých se snímá stejná scéna vícekrát s různou expoziční hodnotou, je dále třeba složit z těchto pořízených snímků výsledný HDR snímek. Pokud máme několik snímků pořízených po kroku 1 EV, tak lze využít algoritmů založených na váhové funkci a charakteristické křivce. Charakteristická křivka charakterizuje převod dopadajícího světla na výstupní signál, který obvykle není úplně lineární, a potřebujeme jí k získání hodnot ozáření jednotlivých pixelů. Pomocí váhové funkce a váženého aritmetického průměru se poté vypočte z hodnot ozáření jednotlivých snímků a pixelů, které mají různou váhu, hodnota ozáření pixelů výsledného snímku dle rovnice

$$E_p = \frac{\sum_{i=0}^{N_i} w(Z_{ip}) f^{-1}(Z_{ip}) / t_i}{\sum_{i=0}^{N_i} w(Z_{ip})}, \quad (3.1)$$

kde E_p je hodnota pixelu p HDR obrazu, Z_{ip} je hodnota pixelu p v obrázku i , N_i je počet vstupních snímků, t_i je expoziční doba snímku i , w je váhová funkce a f^{-1} je inverzní funkce ke známé charakteristické křivce. Různé algoritmy se odlišují způsobem řešení váhové funkce [8, 9].

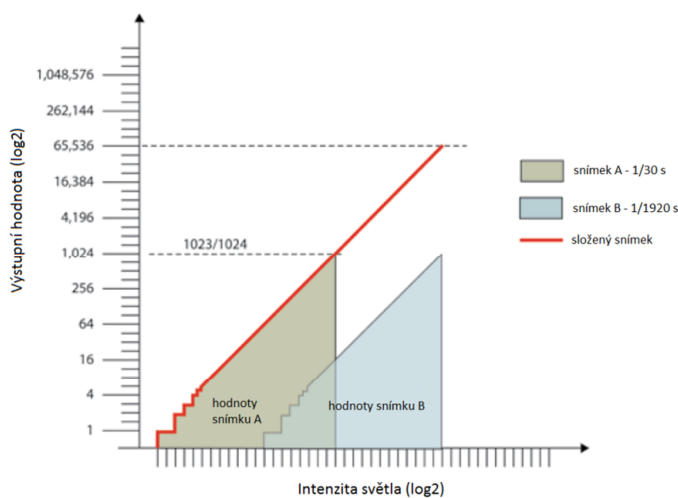
Jiným přístupem při skládání je metoda založena na snímání párů obrázků s určitým poměrem expozic. Pokud máme například 10-bitový výstupní obrázek, tak obrázek s 20-bitovým rozsahem lze vytvořit nastavením expozice u druhého obrázku o 2^{10} větší než u prvního obrázku. Složený HDR obrázek je pak vytvořen výstupem z prvního obrázku v případě, že není saturovaný, a z druhé obrázku v případě, že je první saturovaný. Postup ukazuje obr. 3.3. V případě, že výstupní obraz je 8-bitový, je poměr expozic 2^8 a složený obraz má 16-bitový rozsah.



Obr. 3.3: Postup složení HDR obrazu. Převzato z [10]

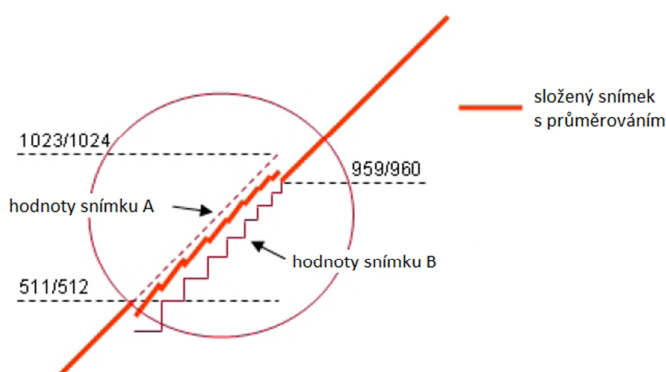
Tento postup poskytuje maximální rozšíření dynamického rozsahu, ale v oblasti přechodu mezi obrázky mohou vzniknout problémy. V případě, že výstupní hodnota druhého obrázku bude 1, ve složeném se bude rovnat 1024, pokud bude 2, tak už bude výstup 2048. To je relativně malá přesnost a šum senzoru může způsobit, že některé pixely, na které dopadá podobná intenzita světla, budou mít velmi odlišnou výstupní hodnotu.

Lepší přístup je nastavit poměr expozičních způsobem, aby se obrázky překrývali o 2 až 4 bity. Dynamický rozsah se sice sníží, ale docílíme lepšího přechodu mezi obrázky. V případě 10-bitového výstupu a překryvu o 4 bity to znamená nastavení expozice druhého obrázku o 2^6 větší než u prvního. Výsledný obrázek pak bude mít 16-bitový rozsah. Postup ukazuje obr. 3.4.



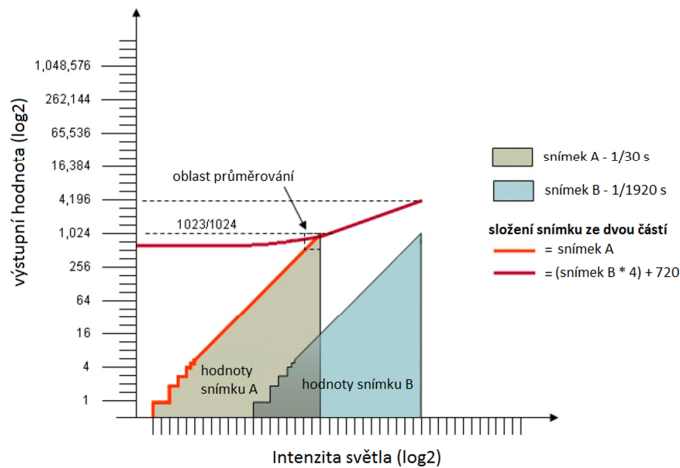
Obr. 3.4: Postup složení HDR obrazu s překryvem. Převzato z [10]

Pro plynulý přechod mezi obrázky je potřeba nastavit velmi přesně poměr expozic, toho ale může být těžké dosáhnout. V tom případě pak dochází k ostré nesouvislosti v oblasti přechodu. Tento přechod můžeme vyhladit zprůměrováním hodnot z obou obrázků v této oblasti. Při použití stejného nastavení jako v minulém případě, pak v oblasti posledního bitu překryvu mezi obrázky použijeme průměrnou hodnotu z obou obrázků [10, 11]. Situaci ilustruje obr. 3.5.



Obr. 3.5: Průměrování v oblasti překryvu. Převzato z [10]

Posledním přístupem využívající kalibrační faktor v podobě poměru expozičních dob je složení výsledného obrazu z dvou lineárních částí o různém sklonu. V tomto případě se nastaví expoziční časy stejným způsobem jako v předešlé části, tak aby se oba obrázky překrývali. Při skládání obrazu je pak ale použit menší násobící parametr než v předchozích případech, ale zároveň je započítána určitá kompenzační hodnota. Když budeme uvažovat opět 10-bitový výstupní rozsah u obou obrázků a překryv o 4 bity, tak můžeme například nastavit násobící parametr na hodnotu 4 a kompenzační hodnotu na 720. Potom se oba výstupy budou protínat kolem hodnoty 768. Zároveň je aplikováno průměrování v oblasti posledního bitu překryvu mezi obrázky popsané v předchozí části [11]. Tento postup ilustruje obr. 3.6.



Obr. 3.6: Složení obrazu ze dvou částí s různým sklonem. Převzato z [11]

3.4 Senzory pro snímání HDR obrazu

Kromě metod využívajících klasické snímače, lze pro snímání HDR obrazu použít snímače, které jsou schopné zachytit větší dynamický rozsah než běžné. Rozšířit dynamický rozsah senzorů lze několika způsoby, které vycházejí ze vztahu 3.2 udávající dynamický rozsah senzorů

$$DR = 20 \log_{10} \frac{I_{max}}{I_{min}} \text{ [dB]}, \quad (3.2)$$

kde I_{max} a I_{min} jsou maximální a minimální proud fotočítlivého prvku. Pro zvýšení dynamického rozsahu je třeba dořídít zvýšení hodnot I_{max} nebo, případně zároveň, snížení I_{min} [12].

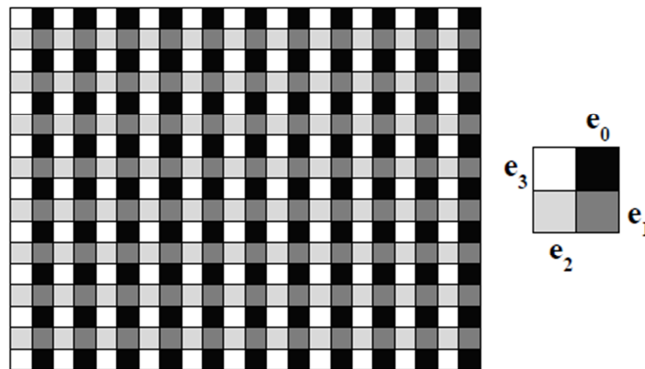
První možností je vícenásobné sejmутí obrazu v jedné periodě snímání s různou dobou kumulace a následné složení HDR obrazu. Delší doba je použita pro málo osvětlené části a několik kratších dob pro hodně osvětlené části. Při tomto postupu je třeba velmi rychlé čtení a také paměťová a logická jednotka potřebná k rekonstrukci obrazu. Tímto přístupem zvýšíme I_{max} [12,13,14].

Další možností je prostorově proměnná expoziční, kde se běžný sensor rozdělí na skupiny pixelů s různou citlivostí. Při jednom sejmутí tedy získáme různě exponované obrázky, které ale budou mít menší rozlišení dané počtem pixelů ve skupině. Příklad takového rozdělení pomocí masky s různě propustnými filtry ukazuje obr. 3.7. Rekonstruovaný obraz s původ-

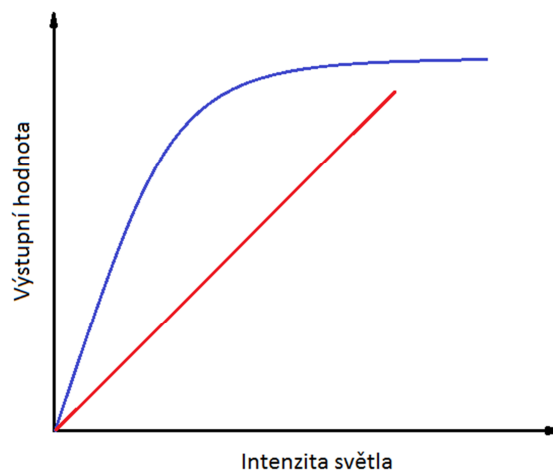
ním rozlišením poté získáme zpět pomocí agregace a interpolace. Při této metodě docílíme zvýšení I_{\max} [12,15].

Jiný přístup k zachycení HDR obrazu je měřit potřebný čas akumulace u každého pixelu, kdy je úplně saturován. Dynamický rozsah je zde daný u velkých intenzit rychlostí čtecích obvodů a u malých intenzit maximální dobou kumulace. Z naměřených času lze poté sestavit HDR obraz. Při této technice dojde ke zvýšení I_{\max} [12,16].

Dynamický rozsah senzoru lze dále rozšířit změnou odezvy senzoru z lineární na logaritmickou. Klasický sensor má lineární odezvu a v jistém okamžiku osvětlení dojde k saturaci a větší detaily již nelze zaznamenat, to omezuje zaznamenaný dynamický rozsah. Změnou na logaritmickou odezvu senzoru, která se provádí při převodu proudu na výstupní napětí pomocí tranzistorů MOSFET, lze poměrně výrazně rozšířit dynamický rozsah, který lze snímat. U tohoto přístupu opět docílíme zvýšení I_{\max} [12,17]. Situaci ilustruje obr. 3.8.



Obr. 3.7: Maska s různě propustnými filtry. Převzato z [14]



Obr. 3.8: Odezvy senzoru v závislosti na jasu scény (lineární červená, logaritmická modrá)

4 Mapování tonality

Mapování tonality je proces, který redukuje dynamický rozsah HDR obrazu zpět na LDR obraz takovým způsobem, aby byly zachovány informace o skutečné scéně. Tato operace je prováděna z důvodu malého dynamického rozsahu běžně používaných displejů. Mapování tonality je prováděno pomocí operátorů mapování tonality TMO (tone mapping operator). Ty se rozdělují do dvou kategorií dle toho, jestli jsou aplikovány na všechny pixely stejným způsobem nebo různé skupiny pixelů odlišně. V prvním případě se jedná o globální operátory, v druhém pak o lokální operátory.

Operátory se dále liší podle toho, jestli jsou aplikovány stejně na všechny barevné kanály nebo pracují jen s jasovou složkou. V případě barevného obrázku je pak v druhém případě nejdříve získána jasová složka každého pixelu dle rovnice

$$L = 0,2125 R + 0,7154 G + 0,0721 B, \quad (4.1)$$

následně je aplikován operátor mapování tónů a poté dojde k zpětnému převedení do barevných složek dle rovnice

$$\begin{bmatrix} R_d \\ G_d \\ B_d \end{bmatrix} = L_d \left(\frac{1}{L_w} \begin{bmatrix} R_w \\ G_w \\ B_w \end{bmatrix} \right)^s, \quad (4.2)$$

kde L_d je jasová složka po aplikaci TMO, L_w je původní jasová složka, $R_w G_w B_w$ jsou původní hodnoty barevných složek a s je parametr ovlivňující sytost, který má hodnotu mezi 0 a 1 [18].

Další problematikou je, jestli je operátor aplikován na jednotlivé snímky ve videosekvenci nezávisle na ostatních nebo je přihlíženo k okolním snímkům. V případě individuální aplikace na jednotlivé snímky v sekvenci může dojít k efektu blikání. Pokud se změní dynamický rozsah snímané scény vstupem nějakého jasného objektu do záběru kamery, tak se také změní rozsah prováděné komprese. To vede k tomu, že průměrná hodnota jasu v oblastech mimo tento objekt oproti předchozímu snímku, kde jasný objekt ještě nebyl přítomen, klesne a

přechod mezi těmito snímky bude doprovázen tímto efektem. U některých operátorů je proto snaha korigovat tyto náhlé změny [24].

4.1 Globální operátory

U globálních operátorů je stejný operátor aplikován na všechny pixely obrázku shodně s cílem zachovat globální kontrast. Výhodou těchto operátorů je malá výpočetní náročnost, nevýhodou pak je, že většinou nezachovávají lokální kontrast a detaily skutečné scény.

Nejjednodušší metodou je lineární mapování, kde je každý pixel vynásoben určitou konstantou, příkladem může být jednoduchá normalizace. Tato metoda ale vede k výraznému ztmavení celého obrázku.

Logaritmické a exponenciální mapování

Jinou možností je logaritmické mapování, kde je na hodnoty HDR obrázku aplikován logaritmus. Tím dosáhneme převodu světlých míst do malé oblasti kolem bílé a zbytek nám větší oblast pro zbytek snímku. Operátor je definován rovnicí

$$L_d(x, y) = \frac{\log_{10}(1 + L_w(x, y))}{\log_{10}(1 + L_{w, \max})}, \quad (4.3)$$

kde L_w je původní jasová složka, L_d je jasová složka po aplikaci TMO a $L_{w, \max}$ je hodnota maximální hodnoty jasu z L_w .

Podobným způsobem lze provést i exponenciální mapování, kde je na hodnoty aplikována exponenciální funkce. Operátor je definován rovnicí

$$L_d(x, y) = 1 - \exp\left(-\frac{L_w(x, y)}{L_{w, \text{avg}}}\right), \quad (4.4)$$

kde $L_{w, \text{avg}}$ je průměrná hodnota L_w . Poslední dva zmíněné operátory se hodí spíše pro menší dynamický rozsah, v případě velkého dynamického rozsahu způsobují nepřírozený vzhled obrazu [19].

Wardův operátor

Mezi pokročilejší operátory patří Wardův operátor definovaný rovnicí

$$L_d(x, y) = \frac{L_w(x, y)}{L_{d, max}} \left(\frac{1,219 + (L_{d, max}/2)^{0,4}}{1,219 + L_{w, avg}^{0,4}} \right)^{2,5}, \quad (4.5)$$

kde $L_{d, max}$ je maximální hodnota jasu displeje a $L_{w, avg}$ je průměrná logaritmická hodnota jasu, kterou lze spočítat dle vztahu

$$L_{w, avg} = \exp \left(\frac{1}{N} \sum_{x, y} \ln(\delta + L_w(x, y)) \right), \quad (4.6)$$

kde N je celkový počet pixelů a δ je malé číslo pro vyhnutí se singularitě [20].

Reinhardův globální operátor

Dalším operátorem je Reinhardův, který vychází z procesu zvětšování fotografií z negativního filmu. Zde se nejprve vypočte průměrná logaritmická hodnota jasu dle rovnice 4.6. V případě průměrně jasné scény chceme, aby tato hodnota ležela na 18 procentech výstupního rozsahu. Dále se proto provede přepočtení hodnot jasu dle vztahu

$$L(x, y) = \frac{a}{L_{w, avg}} L_w(x, y), \quad (4.7)$$

kde $a = 0,18$ nebo v případě světlejší či tmavší scény je parametr možno uživatelem změnit. Posledním krokem je potom komprese vyšších jasů dle vztahu

$$L_d(x, y) = \frac{L(x) \left(1 + \frac{L(x, y)}{L_{white}} \right)}{1 + L(x, y)}, \quad (4.8)$$

kde L_{white} je nejmenší hodnota jasu, která bude namapována na čistě bílou barvu [21].

Dragův operátor

Jiným operátorem, který vychází z logaritmického a zároveň se inspiruje lidským vizuálním systémem je Dragův operátor definovaný rovnicí

$$L_d(x, y) = \frac{L_{d,max} \cdot 0,01}{\log_{10}(L_{w,max} + 1)} \cdot \frac{\ln(L_w(x, y) + 1)}{\ln\left(2 + \left(\left(\frac{L_w(x, y)}{L_{w,max}}\right)^{\frac{\ln(b)}{\ln(0,5)}}\right) \cdot 8\right)}, \quad (4.9)$$

kde b je uživatelský parametr, která má hodnotu mezi 0 a 1. Ideální hodnota parametru podle subjektivních testů je $b = 0,85$ [22].

Uniformní kvantizace

Další metodou mapování je uniformní kvantizační technika, která cílí hlavně na rychlost a jednoduchost. Operátor je definovaný rovnicí

$$L_d(x, y) = \frac{pL_w(x, y)}{(p-1)L_w(x, y) + L_{w,max}}, \quad (4.10)$$

kde p je parametr, který udává kontrast a automaticky se počítá podle vztahu

$$p = \frac{L_0 L_{w,max}}{2^N L_{w,min}}, \quad (4.11)$$

kde N je počet bitů výstupního obrázku, $L_{w,min}$ je nejmenší nenulová hodnota jasu původního obrázku a L_0 je úroveň nejtmaší šedé barvy, která je zřetelně rozpoznatelná od černé na displeji uživatele [23].

Spojení gama křivek

Všechny zatím zmíněné operátory se aplikují individuálně na jednotlivé snímky videosekvence a nezaobírají se možným vznikem efektu blikání. Dále popsany operátor mapování tónů se snaží tento problém korigovat tím, že zohledňuje dynamický rozsah předchozího snímku. Operátor využívá ke kompresi dynamického rozsahu dvou typů korekcí gama křivky. V případě, že je exponent menší než jedna, tak se zachovávají detaily v méně jasných částech snímku, v opačném případě, kdy je exponent větší než jedna, se naopak zachovávají

details ve více jasných částech snímku. K zachování detailů v celém rozsahu jasů je využito spojení těchto dvou případů. Stejně jako ostatní operátory i tento pracuje pouze s jasovou složkou.

V prvním kroku je vytvořena mapa osvětlení aplikací dolní propusti na jasovou složku snímku. Dále je vypočten rozdíl mezi těmito hodnotami dle rovnice

$$R(x, y) = L_w(x, y) - Z(x, y), \quad (4.12)$$

kde Z je mapa osvětlení. Tento rozdíl je dále využit při úpravě kontrastu, který je proveden dle rovnice

$$L_c(x, y) = R(x, y) \cdot (\alpha_0 + W_l(x, y) + W_h(x, y) + W_m(x, y)) + Z(x, y), \quad (4.13)$$

kde α_0 je uživatelský parametr a W_l , W_m a W_h jsou váhové parametry definované rovnicemi

$$W_l(x, y) = \alpha_l \cdot (1 - Z_k(x, y)), \quad (4.14)$$

$$W_m(x, y) = \alpha_m \cdot \exp\left(-\frac{(Z_k(x, y) - Z_{avg}(x, y))^2}{0,04}\right), \quad (4.15)$$

$$W_h(x, y) = \alpha_h \cdot Z_k(x, y), \quad (4.16)$$

kde α_l , α_m a α_h jsou uživatelské parametry, Z_{avg} je průměrná hodnota Z a Z_k se vypočte dle rovnice

$$Z_k(x, y) = \frac{Z(x, y) - Z_{min}}{Z_{max} - Z_{min}}, \quad (4.17)$$

kde Z_{min} je minimální hodnota ze Z a Z_{max} je maximální hodnota ze Z . V další fázi je před úpravou gama křivky provedeno váhování hodnot L_c dle rovnice

$$L_{GC}(x, y) = \max\left(\min\left(\frac{\alpha_{GC}}{L_{GCavg}} L_c(x, y), 1\right), 0\right), \quad (4.18)$$

kde L_{GCavg} je průměrná logaritmičká hodnota z L_c vypočtená podle rovnice 4.6 a α_{GC} je parametr vypočtený dle rovnice

$$\alpha_{GC} = 1,03 - \frac{2}{2 + \log_{10}(L_{GCavg} + 1)}. \quad (4.19)$$

Na takto upravené hodnoty je následně aplikována gama křivka dle rovnice

$$L_{dGC}(x, y) = L_{GC}(x, y)^\gamma, \quad (4.20)$$

kde γ má hodnotu vypočtenou dle rovnice

$$\gamma = \left(1 + \frac{3}{1 + \exp(-30 \cdot ((Z_{max} - Z_{min}) - 0,6))} \right)^{-1}. \quad (4.21)$$

Tímto postupem je vytvořena první část výsledné křivky. Druhá část je tvořena inverzní křivkou, která se vypočte dle rovnice

$$L_{dIGC}(x, y) = 1 - (1 - L_{IGC}(x, y))^\gamma, \quad (4.22)$$

kde L_{IGC} je opět váhování hodnot L_c dle rovnice

$$L_{IGC}(x, y) = \max\left(\min\left(1 - \frac{\alpha_{IGC}}{L_{IGCavg}} (1 - L_c(x, y)), 1\right), 0\right), \quad (4.23)$$

kde α_{IGC} a L_{IGCavg} je vypočteno stejným způsobem jako v prvním případě, jen hodnoty L_c jsou nahrazeny výrazem $(1 - L_c)$. Obě křivky jsou poté spojeny a výsledný operátor je definovaný rovnicí

$$L_d(x, y) = (1 - Z(x, y)) \cdot L_{dGC}(x, y) + L_{dIGC}(x, y). \quad (4.24)$$

Korekce blikání zmíněná na začátku je prováděna sledováním hodnot Z_{\max} a Z_{\min} v rovnici 4.21 v aktuálně zpracovávaném a předešlém snímku. Pro posouzení rozdílu je použit parametr definovaný rovnicí

$$r_d = \frac{(|Z_{\max}^{(k)} - Z_{\max}^{(k-1)}| + |Z_{\min}^{(k)} - Z_{\min}^{(k-1)}|)}{Z_{\max}^{(k)}}. \quad (4.25)$$

V závislosti na tomto parametru jsou následně upraveny sledované parametry dle podmínek daných rovnicí

$$Z_{\{max,min\}}^{(k)} = (1 - \delta) Z_{\{max,min\}}^{(k-1)} + \delta Z_{\{max,min\}}^{(k-1)}, \quad (4.26)$$

kde $\delta = \max \{a - r_d^2, b\}$. Zde a a b jsou uživatelské parametry, které při zvyšující se jejich hodnotě více potlačují efekt blikání. Zároveň ale při moc velkých hodnotách dochází ke snížení možného dynamického rozsahu. Ideální hodnoty parametrů byly zjištěny pokusy a jejich hodnoty jsou $a = 0,9$ a $b = 0,7$ [24].

4.2 Lokální operátory

Lokální operátory na rozdíl od globálních pracují se skupinami pixelů a zohledňují hodnoty sousedních a okolních pixelů. Ve výsledném obrázku pak pixelu, který má stejnou vstupní hodnotu, může být přiřazena různá hodnota podle toho, jestli je sousedící pixel tmavší nebo světlejší. Tento přístup vede oproti globálním metodám k zachování lokálního kontrastu a realističtějším obrázkům. Nevýhodou těchto metod je zejména větší výpočetní náročnost a možný vznik artefaktů kolem ostrých přechodů jasu v obrázku.

Reinhardův globální operátor

Operátorem, kterým lze dosáhnout velmi dobrých a realistických výsledků je Reinhardův lokální operátor navazující na popsanou globální variantu. V lokální variantě se pokračuje v simulaci procesu zvětšování fotografie z negativu, v tomto případě jde o tzv. vykrývání a nadřžování. Jedná se o techniku, kdy některá místa záměrně zesvětlíme nebo naopak ztmavíme pomocí zvýšení respektive snížení expoziční doby. Nejprve je nalezeno maximální okolí

kolem každého pixelu, kde nedochází k ostrým přechodům jasu. Toto okolí je kruhové a jeho poloměr je variabilní, aby bylo dosaženo optimálních výsledků. V tomto okolí je dále vypočtena průměrná hodnota jasu, která modifikuje rovnici 4.8. Výsledný operátor je potom definován rovnicí

$$L_d(x, y) = \frac{L(x, y)}{1 + V(x, y)}, \quad (4.27)$$

kde $L(x)$ je vypočten dle rovnice 4.7 a $V(x)$ je průměrná hodnota jasu v okolí pixelu. V případě, že pixel bude ležet v tmavém okolí, dojde k nadřívání a v opačném případě, kdy bude pixel ležet ve světlém okolí, dojde k vykřívání. V obou případech dojde k zvýraznění lokálního kontrastu [21].

Frekvenční operátory

Ze skupiny lokálních operátorů můžeme dále zvlášť oddělit skupinu operátorů, které pracují ve frekvenční oblasti. V té nízké frekvence odpovídají kontrastu ve velkém měřítku a naopak. Poté lze aplikovat odlišné procesy na nízké frekvence, kde můžeme vyhladit velké rozdíly, a na vysoké frekvence, kde lze pracovat s detaily. Na tomto principu funguje např. metoda bilaterální filtrování [26].

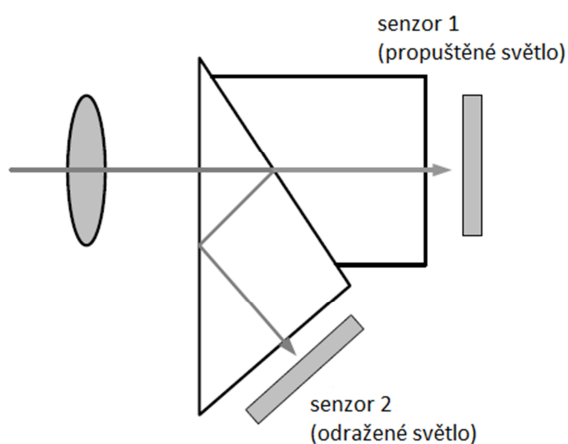
Gradientní operátory

Na podobném základu jako frekvenční pracují gradientní operátory, kde slouží k rozpoznání globálních a lokálních změn velikost gradientu. Velké změny v jasu se projeví větší velikostí gradientu, na druhou stranu detaily mají menší velikost. Ve výsledném obrázku je potom snaha zmírnit velké změny a zároveň zachovat detaily [27].

5 Kamera JAI AD-132GE

5.1 Přehled

Průmyslová kamera JAI AD-132GE je vybavena dvěma 1/3" CCD s Bayerovou maskou pro barevné snímání videa s vysokým dynamickým rozsahem. Světlo je děleno na dvě části pomocí hranolu, jak ukazuje obr. 5.1. V režimu snímání HDR je schopna zaznamenat obraz s rozlišením 1296 x 966 s rychlostí 31 snímků za sekundu. Kamera je vybavena programovatelným modulem obsahujícím všechny vstupy a výstupy, přes který se ovládá. Co se týče programovatelných expozičních časů, jsou nastavitelné v rozsahu 11,49 mikrosekundy až 31,761 milisekundy. Kamera se připojuje k počítači přes standardizované rozhraní GigE Vision, které používá gigabitový ethernet, a lze přes něj ovládat funkce kamery. Výstup má každý senzor zvlášť a po připojení jsou viditelné jako dvě kamery. Kamera nabízí několik možných typů výstupů. Výběr je mezi RAW daty s bitovou hloubkou 8, 10 nebo 12 bitů a dále pak výstup v barevných složkách s bitovou hloubkou 24 nebo 30 bitů. Barevné složky jsou interpolovány zabudovanou funkcí a je zde na výběr mezi třemi možnostmi vyvážení bílé. První možností je kontinuální automatické vyvážení, druhou je automatické vyvážení, které se provede jednou po přijetí pokynu, a poslední možností je manuální vyvážení, při kterém je možno upravovat zisk pro červený a modrý kanál. Pro výstup jsou použity standardní konektory RJ-45. Objektivy se ke kameře montují přes závit C-mount a je vhodné použít objektivy určené pro 1/3" 3 CCD kamery [28]. Výběr takových objektivů je uveden v tab. 5.1.



Obr. 5.1: Optická dělicí soustava kamery JAI AD-132GE. Převzato z [28]

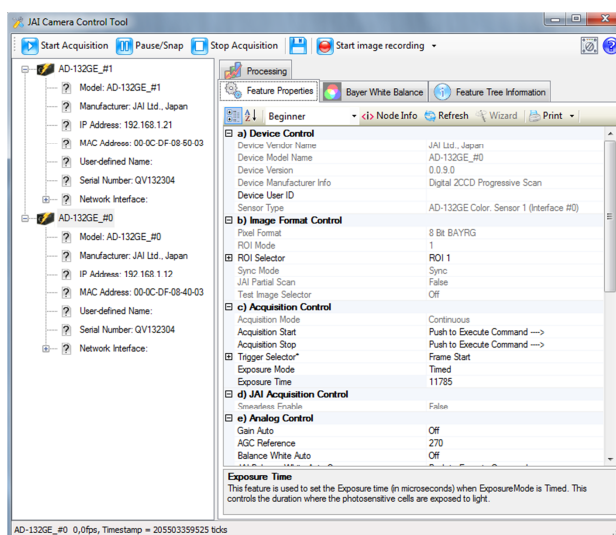
Tab. 5.1 Přehled objektivů ke kameře JAI AD-132GE

| výrobce | typ | Ohnisková vzdálenost |
|---------------------|-----------------|----------------------|
| Fujifilm | TF2.8DA-8 | 2,8 mm |
| Fujifilm | TF4DA-8 | 4 mm |
| Fujifilm | TF8DA-8B | 8 mm |
| Fujifilm | TF15DA-8 | 15 mm |
| Fujifilm | TF25DA-8B | 25 mm |
| Schneider Kreuznach | Cinegon 2.0/5.3 | 5,3 mm |
| Schneider Kreuznach | Cinegon 1.7/10 | 10 mm |
| Fujifilm | T16x5.5DA-M41 | 5,5-88mm |
| Fujifilm | T16x5.5DB-S41 | 5,5-88mm |

5.2 Ovládací software kamer JAI

5.2.1 JAI Control tool

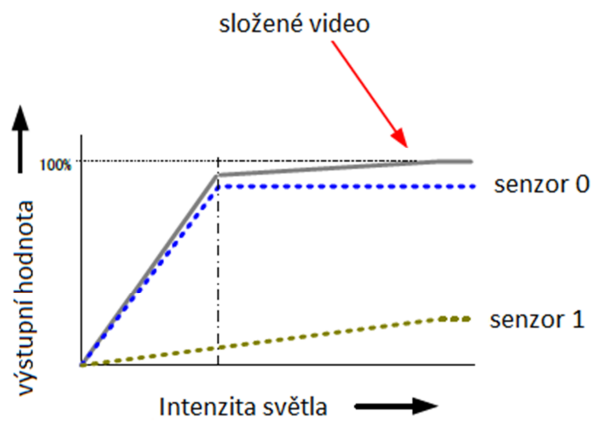
JAI control tool je aplikace volně stažitelná spolu s JAI SDK, která slouží k základním ovládní kameř a je určena zejména k pomoci při vývoji dalších aplikací, kdy je třeba otestovat některé funkce a nastavení kameř. Pomocí aplikace lze také jednoduše snímat videosekvence. Základní okno s nabídkou je vidět na obr. 5.2. Dále bude popsán postup jak pomocí této aplikace snímat a ukládat HDR video kameř JAI AD-132GE pomocí zabudovaných režimů.



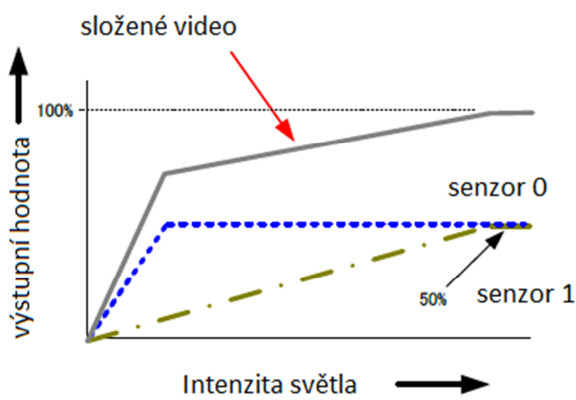
Obř. 5.2: Přobřtředí JAI Control tool

Kameřa se připořuje přes standařizované řozřhřanř GigE vision, kteřě vyřřřívá gigabitovř etheřnet dle specifikace 1000BASE-T, kde je přob přenos vyřřřřřita křob cenā dvojlinka minimāl-ně kategořie 5e. Přob připořenř lze pořřřřřit dva zpřosoby. Jednoř z mořřnostř je pořřřřřit sřřovoř

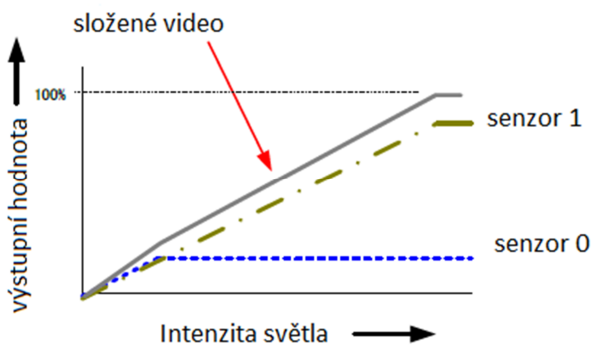
kartu s dvěma nebo více vstupy nebo dvě síťové karty. V případě použití jen jedné síťové karty s jedním vstupem lze využít druhé možnosti zapojení a použít rozbočovač. V případě druhé možnosti je nutno počítat s pauzou mezi koncem jednoho paketu a začátkem druhého, aby oba výstupy nepřenášely data ve stejný čas. Dalším požadavkem je, aby i síťová karta byla kompatibilní se specifikací 1000BASE-T a dále aby umožňovala přenos pomocí Jumbo paketů. Poslední věcí, kterou je nutné udělat, je přiřazení IP adres. Pro správnou funkčnost musí být síťová karta a kamera ve stejné podsíti. V případě správného nastavení se v nabídce ovládacího softwaru objeví 2 kamery, které odpovídají senzoru 0 a senzoru 1, a lze je nezávisle nastavovat. Abychom mohli snímat HDR sekvence je třeba nastavit několik parametrů stejně u obou kamer. U kamery JAI AD-132GE je možný výběr mezi třemi módy dynamického rozsahu, které se liší poměrem signálů z obou senzorů, jak jsou použity pro výsledný složený obraz. V případě volby 1 je podíl signálu ze senzoru 0 větší než ze senzoru 1, jak ukazuje obr. 5.3. Při volbě 2 je použito z obou senzorů 50 procent pro výsledný signál, jak ukazuje obr. 5.4. Při volbě 3 je pak podíl signálu ze senzoru 0 menší než ze senzoru 1, to ilustruje obr. 5.5. Výběr těchto módů je v nabídce Image Format Control (obr. 5.6) pod záložkou Sync Mode, v této nabídce se zároveň i volí výstupní formát obrázků v záložce Pixel format. Další potřebné nastavení je v nabídce Acquisition Control (obr. 5.6), kde se nastaví záložka Exposure Mode na Timed a Acquisition Mode na Continuous. Ve stejné nabídce se dále nastavuje poslední položka, kterou je doba expozice v záložce Exposure Time. Největšího dynamického rozsahu 120 dB dosáhneme při nastavení expozic u senzoru 0 1/31 sekundy a u senzoru 1 1/87000 sekundy. Ostatní nabídky i záložky zůstávají na původních hodnotách. Před snímáním je nakonec potřeba nastavit vyvážení bíle buď manuálně pomocí regulace složek RGB, nebo lze využít automatické nastavení. Pro zobrazení výstupního obrazu pak už jen stačí kliknout na Start Acquisition a objeví se okno s výstupem. Při nastavení tohoto módu snímání jsou stejná data na obou výstupech kamery. Pro uložení obrázků je nakonec třeba kliknout na ikonu pro uložení.



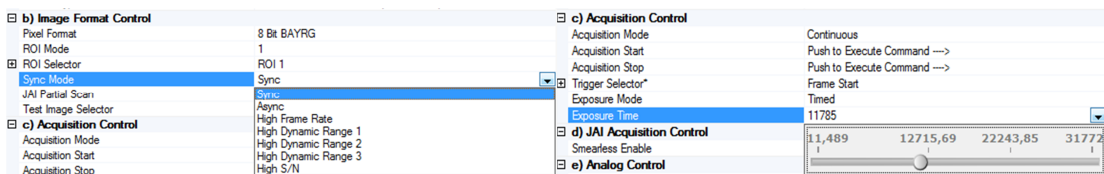
Obr. 5.3: Složení obrazu při módu High Dynamic Range 1. Převzato z [28]



Obr. 5.4: Složení obrazu při módu High Dynamic Range 2. Převzato z [28]



Obr. 5.5: Složení obrazu při módu High Dynamic Range 3. Převzato z [28]



Obr. 5.6: Nastavení kamery

5.2.2 Další možnosti

Další možností je vytvořit ovládací software ke kamerám pomocí JAI SDK volně stažitelného od výrobce. Vzhledem k tomu, že kamery JAI jsou připojeny přes standard GigE lze také využít knihovny a vývojová prostředí dalších výrobců a pomocí nich vytvořit software pro ovládání. Příkladem takových knihoven jsou Image Acquisition Toolbox pro Matlab nebo NI Vision pro LabVIEW.

5.3 Měření optoelektronické převodní charakteristiky

5.3.1 Optoelektronická převodní charakteristika

Optoelektronická převodní charakteristika OECF (Opto-electronic Conversion Function) je funkce, podle které obrazový snímač kamery převádí dopadající světlo na elektrický signál. Elektrickým signálem je v tomto měření myšlena úroveň jasu obrazového bodu ve výstupním datovém souboru.

Měření OECF popisuje standard ISO 14524 a uvádí metody pro měření OECF celé kamery včetně objektivu a OECF v rovině obrazového snímače. V tomto měření je použita metoda, která umožňuje přibližně určit OECF v rovině obrazového snímače za použití kamery i s objektivem. Při této metodě se používá testovací předloha, která obsahuje dvanáct neutrálně šedých odrazných štítků, jejichž vizuální optická hustota D_i je obvykle uvedena v příloženém kalibračním protokolu. Pokud známe osvětlení testovací předlohy E , můžeme jas jednotlivých štítků vypočítat podle vztahu

$$L_i = \frac{10^{-D_i} E}{\pi}, \quad (5.1)$$

kde D_i je vizuální optická hustota jednotlivých odrazných štítků a E osvětlení testovací předlohy [30].

Osvětlení obrazového snímáče E_i lze při použití neutrálně šedých odrazných štítků s přibližně kosinovou vyzařovací charakteristikou (tzv. Lambertovský zářič s konstantním jasem) spočítat dle vztahu

$$E_i = 0,65 \frac{L_i}{F_e^2}, \quad (5.2)$$

kde L_i je jas odrazného štítku a F_e je efektivní clonové číslo objektivu [30].

Efektivní clonové číslo objektivu F_e lze spočítat podle vztahu

$$F_e = \left(\frac{1}{M} + 1 \right) F, \quad (5.3)$$

kde F je clonové číslo objektivu a M je poměr mezi výškou testovací předlohy a výškou jejího obrazu v rovině obrazového snímáče (příčné zmenšení), který se vypočte dle vztahu

$$M = \frac{l+f}{f}, \quad (5.4)$$

kde f je ohnisková vzdálenost objektivu a l je vzdálenost mezi předlohou a objektivem [30].

Optoelektronická převodní charakteristika je většinou definována jako závislost mezi logaritmem expozice $\log_{10} H/H_0$ a výstupní úrovní uloženou v obrazovém souboru. Expozici H_i pro každý jednotlivý štítek testovací předlohy je možné určit z doby expozice t_{exp} a příslušné hodnoty osvětlení E_i obrazového snímáče od daného štítku. Expozice se spočítá podle vztahu

$$H_i = E_i \cdot t_{exp}. \quad (5.5)$$

Expozice se pak vynáší v logaritmických jednotkách jako $\log_{10} H/H_0$ podle vztahu

$$\log_{10} H_i/H_0 = \log_{10} \frac{H_i}{H_0}, \quad (5.6)$$

kde H_0 je vztažná hodnota expozice $H_0 = 1 \text{ lx}\cdot\text{s}$ [30].

V případě měření barevné kamery se vynáší tři převodní charakteristiky pro každý barevný kanál R, G, B jednotlivě. Z hodnot R, G, B pak lze spočítat logaritmickou hodnotu jasové složky $\log_2 L$ váhováním barevných složek podle rovnice 4.1 a následně výpočtem $\log_2 L$.

5.3.2 Naměřené hodnoty a výsledky

K měření je použita testovací předloha Daneš Picta DCG2 podle standardu ISO 14524 a její osvětlení E je změřeno luxmetrem. Parametry měření jsou uvedeny v tabulce 5.2, kde F je clonové číslo objektivu, které bylo nastaveno celou dobu stejné, a f je ohnisková vzdálenost použitého objektivu, kterým byl Kowa LM6NC3. Dalším parametrem je vzdálenost l , která je rovna délce mezi předlohou a objektivem kamery. Příčné zmenšení M bylo vypočteno dle rovnice 5.4 a efektivní clonové číslo F_e následně dle rovnice 5.3. V tabulce 5.3 jsou dále uvedeny parametry testovací předlohy, kde optické hustoty D_i jednotlivých štítků jsou uvedeny dle kalibračního protokolu a z nich jsou dále pomocí změřené hodnoty jejich osvětlení dle rovnice 5.1 vypočteny jasy štítků. Osvětlení snímačů je pak dále vypočteno dle rovnice 5.2.

Tab. 5.2 Parametry měřicí soustavy

| | |
|-----------|----------|
| F [-] | 1,8 |
| f [m] | 6,00E-03 |
| l [m] | 0,55 |
| M | 92,7 |
| F_e [-] | 1,8 |
| E [lx] | 1600 |

Tab. 5.3 Parametry testovací předlohy

| D_i [-] | L_i [cd/m^2] | E_i [lx] |
|-----------|----------------------------------|------------|
| 3,14 | 0,37 | 0,07 |
| 2,32 | 2,44 | 0,48 |
| 1,87 | 6,87 | 1,35 |
| 1,46 | 17,66 | 3,47 |
| 1,2 | 32,13 | 6,31 |
| 0,98 | 53,33 | 10,47 |
| 0,78 | 84,52 | 16,60 |
| 0,61 | 125,02 | 24,55 |
| 0,46 | 176,59 | 34,67 |
| 0,32 | 243,76 | 47,86 |
| 0,2 | 321,34 | 63,10 |
| 0,08 | 423,61 | 83,18 |

V dalším kroku měření byly pomocí JAI Control Tool nasnímány 4 snímky předlohy při různých expozičních dobách, aby byl pokryt co největší rozsah expozicí. Výstupní formát snímků byl nastaven na RAW data s 8 bitovou hloubkou. Barevné složky byly rekonstruovány stejným programem a bylo využito automatického vyvážení bílé barvy. Snímky byly uloženy ve formátu TIFF a pomocí vytvořeného skriptu v programu MATLAB byly pro každý barevný kanál nalezeny odpovídající výstupní hodnoty pro dané hodnoty expozice. Výstupní hodnota byla určena jako průměrná hodnota z hodnot v bloku 40x40, které odpovídali středu štítku. Nasnímané obrázky i skript jsou k dispozici na přiloženém nosiči.

Naměřené hodnoty jsou rozděleny do čtyř tabulek dle použitých expozičních časů. První sloupec obsahuje hodnotu expozice vypočtenou dle rovnice 5.5 a následně převedenou do logaritmických jednotek dle rovnice 5.6. Další sloupce potom obsahují výstupní hodnoty jednotlivých barevných kanálů a také jasové složky vypočtené dle rovnice 4.1. Hodnoty jsou v tabulkách 5.4, 5.5, 5.6 a 5.7, kde levá část obsahuje data pro senzor 0 a pravá část pro senzor 1.

Tab. 5.4 Měření s expozičním časem $t_{exp} = 1,15E-05$ s

| \log_{10} (H/H ₀) [-] | R [-] | G [-] | B [-] | \log_2 L[-] | R [-] | G [-] | B [-] | \log_2 L[-] |
|--|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|---------------|
| -6,08 | 11,0 | 7,9 | 16,1 | 3,2 | 8,9 | 8,0 | 16,1 | 3,1 |
| -5,26 | 11,0 | 8,0 | 16,1 | 3,2 | 9,0 | 8,0 | 16,1 | 3,1 |
| -4,81 | 10,9 | 7,9 | 16,0 | 3,2 | 8,9 | 7,9 | 16,1 | 3,1 |
| -4,40 | 11,0 | 8,0 | 16,1 | 3,2 | 9,0 | 8,0 | 16,1 | 3,1 |
| -4,14 | 11,0 | 8,0 | 16,0 | 3,2 | 9,0 | 8,0 | 16,1 | 3,1 |
| -3,92 | 11,0 | 8,0 | 16,2 | 3,2 | 9,0 | 8,1 | 16,2 | 3,1 |
| -3,72 | 11,1 | 8,1 | 16,2 | 3,2 | 9,1 | 8,1 | 16,2 | 3,2 |
| -3,55 | 11,3 | 8,3 | 16,5 | 3,3 | 9,2 | 8,3 | 16,3 | 3,2 |
| -3,40 | 11,3 | 8,4 | 16,7 | 3,3 | 9,4 | 8,4 | 16,5 | 3,2 |
| -3,26 | 11,6 | 8,8 | 16,8 | 3,3 | 9,7 | 8,8 | 16,7 | 3,3 |
| -3,14 | 11,9 | 9,1 | 17,1 | 3,4 | 10,0 | 9,0 | 17,1 | 3,3 |
| -3,02 | 12,3 | 9,4 | 17,5 | 3,4 | 10,2 | 9,3 | 17,5 | 3,3 |

Tab. 5.5 Měření s expozičním časem $t_{exp} = 3,99E-04$ s

| \log_{10} (H/H ₀) [-] | R [-] | G [-] | B [-] | \log_2 L [-] | R [-] | G [-] | B [-] | \log_2 L [-] |
|--|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|----------------|
| -4,54 | 11,0 | 8,1 | 16,1 | 3,2 | 9,0 | 8,1 | 16,2 | 3,1 |
| -3,72 | 11,2 | 8,3 | 16,5 | 3,2 | 9,3 | 8,3 | 16,5 | 3,2 |
| -3,27 | 11,9 | 9,1 | 17,2 | 3,4 | 9,9 | 9,0 | 17,2 | 3,3 |
| -2,86 | 13,2 | 10,8 | 18,5 | 3,6 | 11,1 | 10,5 | 18,5 | 3,5 |
| -2,60 | 15,7 | 13,0 | 20,7 | 3,8 | 13,4 | 12,7 | 20,5 | 3,7 |
| -2,38 | 18,7 | 16,4 | 24,4 | 4,1 | 16,5 | 15,8 | 23,4 | 4,0 |
| -2,18 | 23,3 | 21,0 | 28,5 | 4,5 | 20,4 | 20,0 | 27,8 | 4,4 |
| -2,01 | 29,7 | 27,4 | 35,0 | 4,8 | 26,4 | 26,2 | 32,5 | 4,7 |
| -1,86 | 36,0 | 34,3 | 40,7 | 5,1 | 32,5 | 32,9 | 38,2 | 5,1 |
| -1,72 | 46,2 | 44,9 | 51,4 | 5,5 | 42,0 | 42,4 | 47,6 | 5,4 |
| -1,60 | 56,1 | 55,2 | 60,9 | 5,8 | 51,3 | 52,3 | 55,8 | 5,7 |
| -1,48 | 71,4 | 71,1 | 76,1 | 6,2 | 65,2 | 67,0 | 69,8 | 6,1 |

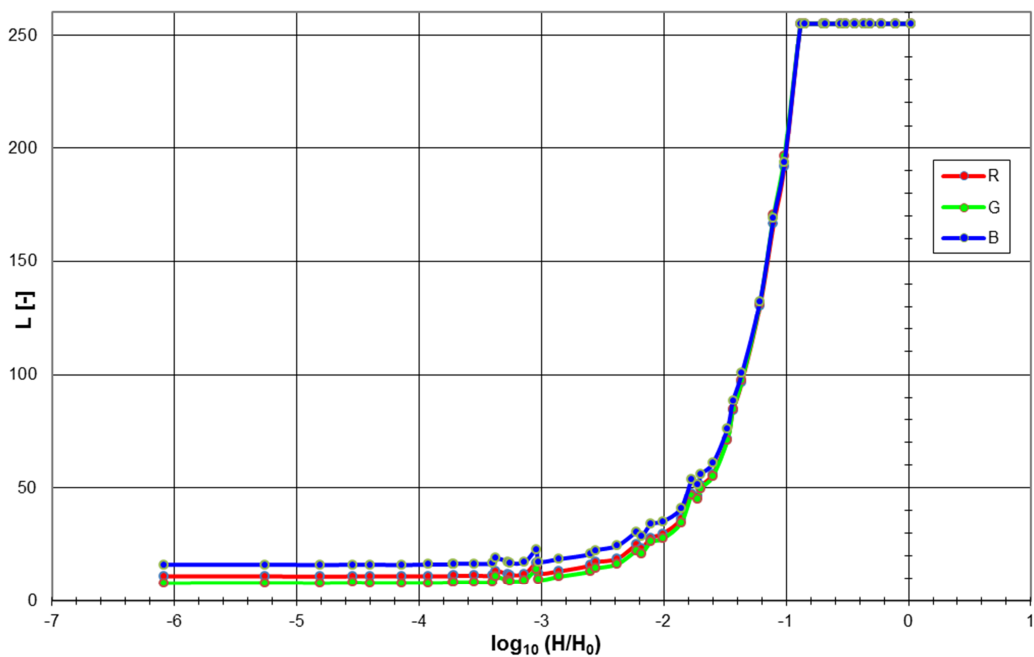
Tab. 5.6 Měření s expozičním časem $t_{exp} = 5,83E-03$ s

| \log_{10} (H/H ₀) [-] | R [-] | G [-] | B [-] | \log_2 L [-] | R [-] | G [-] | B [-] | \log_2 L [-] |
|--|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|----------------|
| -3,37 | 13,4 | 10,8 | 19,1 | 3,6 | 11,2 | 10,5 | 18,5 | 3,5 |
| -2,55 | 17,2 | 14,5 | 22,4 | 4,0 | 14,5 | 14,1 | 21,9 | 3,9 |
| -2,10 | 27,8 | 26,1 | 33,9 | 4,8 | 24,7 | 24,6 | 31,4 | 4,6 |
| -1,69 | 51,0 | 50,0 | 56,1 | 5,7 | 46,1 | 46,8 | 51,3 | 5,6 |
| -1,43 | 84,2 | 84,5 | 88,5 | 6,4 | 76,5 | 79,1 | 80,6 | 6,3 |
| -1,21 | 130,3 | 131,5 | 132,1 | 7,0 | 119,1 | 122,2 | 119,4 | 6,9 |
| -1,01 | 192,0 | 196,3 | 193,5 | 7,6 | 178,0 | 184,3 | 173,8 | 7,5 |
| -0,84 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 254,9 | 255,0 | 246,6 | 8,0 |
| -0,69 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 |
| -0,55 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 |
| -0,43 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 |
| -0,31 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 |

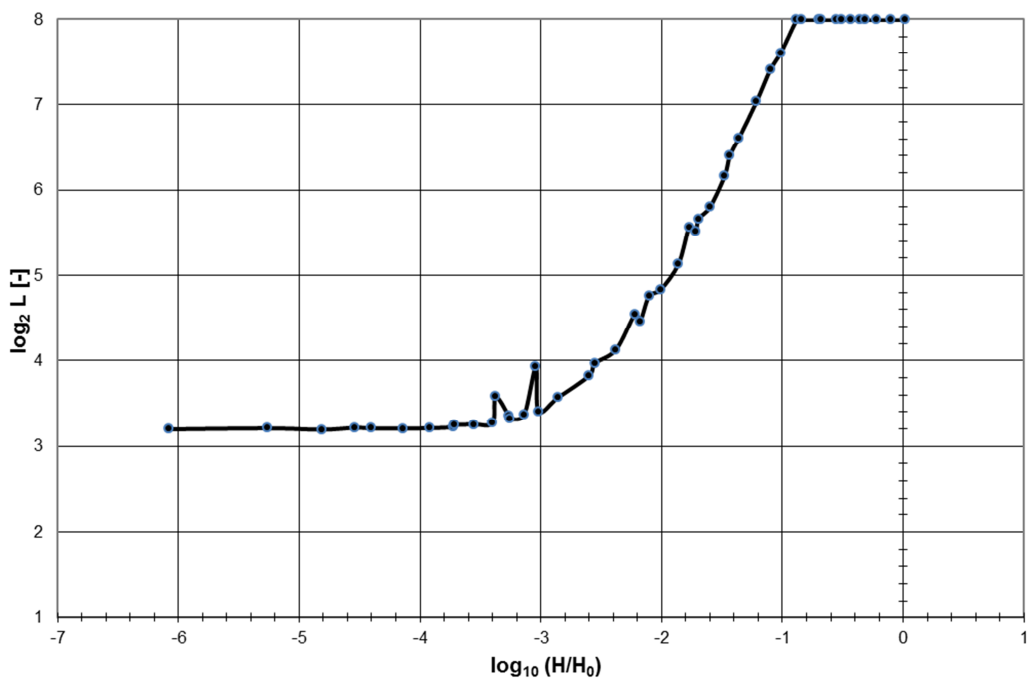
Tab. 5.7 Měření s expozičním časem $t_{exp} = 1,26E-02$ s

| \log_{10} (H/H ₀) [-] | R [-] | G [-] | B [-] | \log_2 L [-] | R [-] | G [-] | B [-] | \log_2 L [-] |
|--|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|----------------|
| -3,04 | 16,8 | 14,0 | 22,6 | 3,9 | 14,3 | 13,7 | 22,0 | 3,8 |
| -2,22 | 24,9 | 22,2 | 30,3 | 4,5 | 21,4 | 21,1 | 29,4 | 4,4 |
| -1,77 | 47,7 | 46,6 | 53,6 | 5,6 | 43,3 | 44,0 | 49,7 | 5,5 |
| -1,36 | 96,9 | 97,5 | 100,5 | 6,6 | 88,1 | 90,7 | 91,1 | 6,5 |
| -1,10 | 166,7 | 170,4 | 169,3 | 7,4 | 153,4 | 159,5 | 152,5 | 7,3 |
| -0,88 | 255,0 | 255,0 | 254,9 | 8,0 | 243,1 | 250,1 | 231,6 | 7,9 |
| -0,68 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 |
| -0,51 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 |
| -0,36 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 |
| -0,22 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 |
| -0,10 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 |
| 0,02 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 | 255,0 | 255,0 | 255,0 | 8,0 |

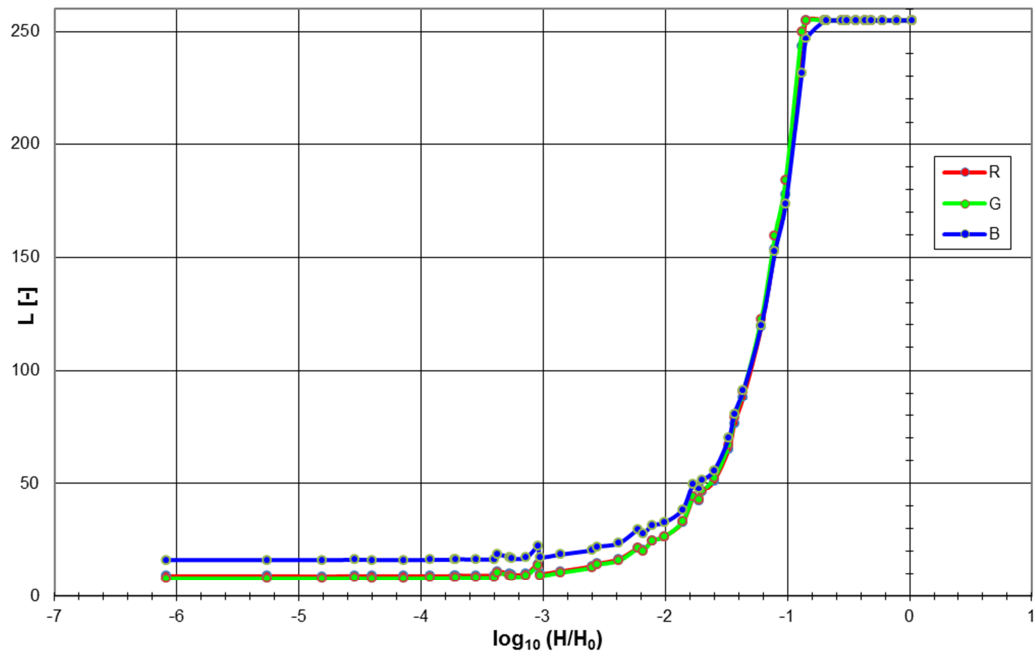
Výsledné převodní charakteristiky byly nakonec vyneseny do grafů a jsou zobrazeny na obrázcích 5.7, 5.8, 5.9 a 5.10. Na vynesení charakteristikách jsou patrné zuby, které by tam neměli být. Důvodem by mohla být kalibrace štitků, která neodpovídá skutečnosti. Hodnota osvětlení u některých štitků proto mohla mít větší hodnotu, než s jakou je počítáno.



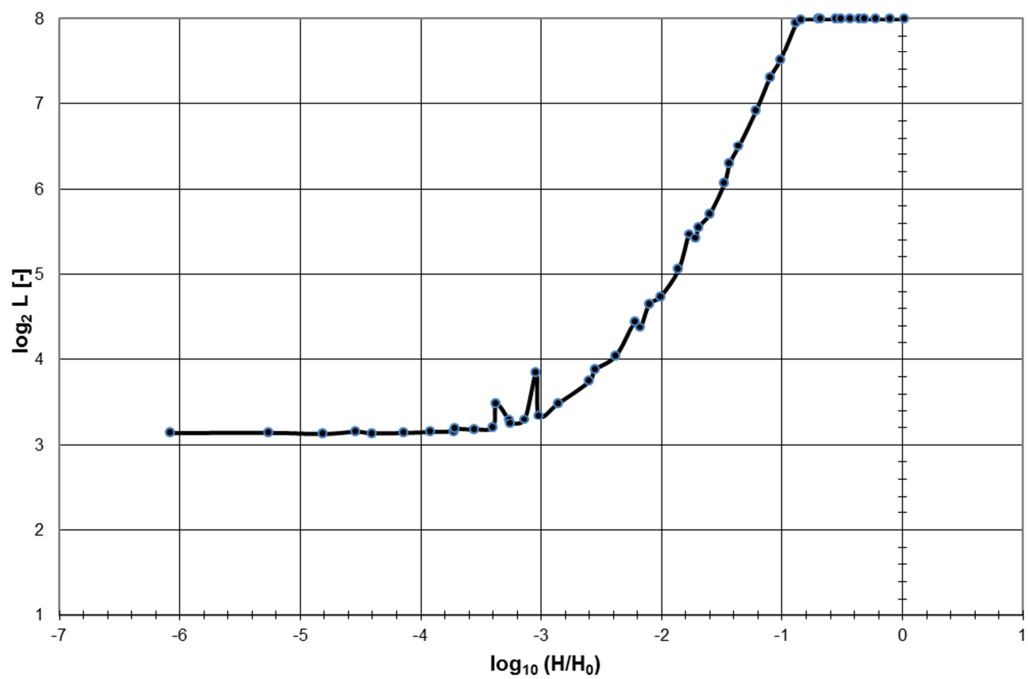
Obr. 5.7: Optoelektronická převodní charakteristika pro kanály R, G, B senzoru 0



Obr. 5.8: Optoelektronická převodní charakteristika pro jasovou složku senzoru 0



Obr. 5.9: Optoelektronická převodní charakteristika pro kanály R, G, B senzoru1



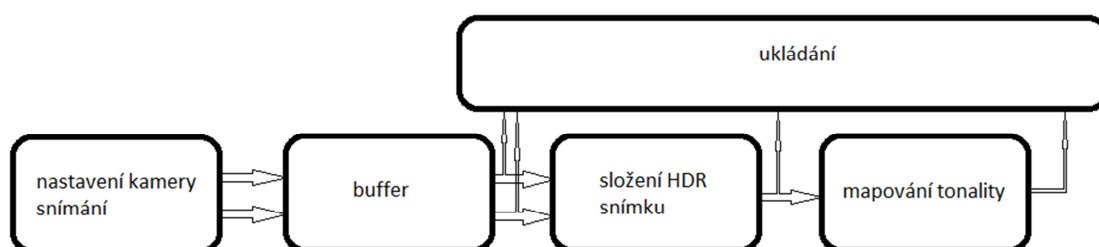
Obr. 5.10: Optoelektronická převodní charakteristika pro jasovou složku senzoru 1

6 Systém pro zpracování videa z kamery

JAI AD-132GE

6.1 Návrh programu

Program lze rozdělit do několika bloků, které zpracovávají daný proces. Blokové schéma programu ilustruje obr. 6.1. V první části je provedeno nastavení kamery a následně spuštěno snímání. V případě výstupního formátu v podobě RAW dat zde je také provedena rekonstrukce barevných složek. Získané snímky se dále přesouvají do bufferu. V dalším bloku se skládá HDR obraz z dvojce snímků, které se postupně přesouvají z bufferu. Na složený HDR obraz je nakonec v další části aplikováno mapování tonality pomocí vybraného operátoru. Zároveň lze po každé části zpracování provést uložení snímků dle zvoleného způsobu. Stejný postup je cyklicky opakován s každým snímkem videosekvence. Předpoklady pro správnou funkčnost programu jsou zapojení kamery pomocí síťové karty s více vstupy, správné přiřazení IP adres a aktuální verze nástrojů NI Vision. Název programu je systemHDR.



Obr. 6.1: Blokové schéma programu systemHDR

6.2 Programovací prostředí LabVIEW

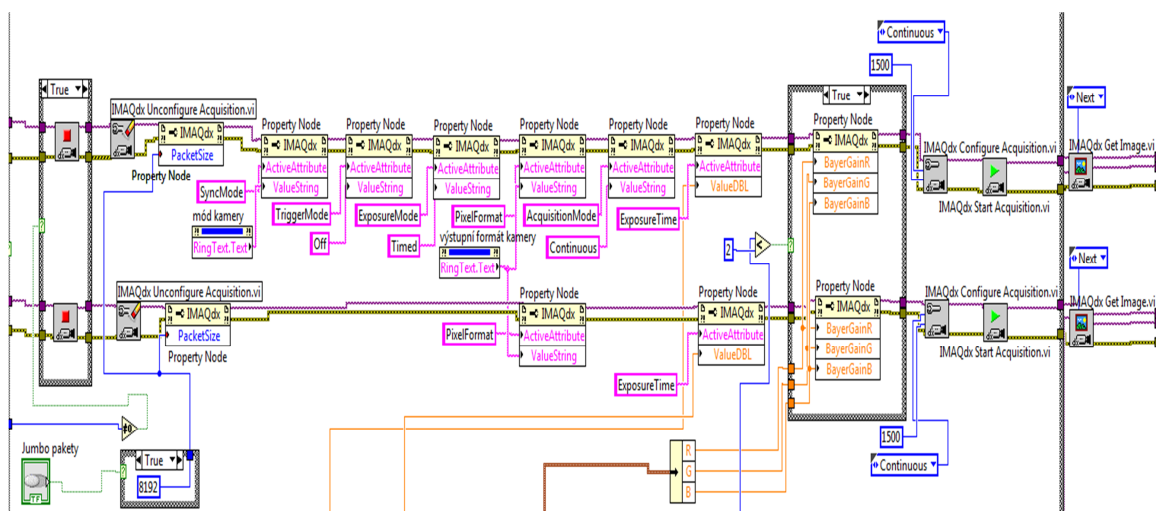
Pro vytvoření systému je využito vývojového prostředí LabVIEW firmy National Instruments, kde se místo klasického textového programování používá programování grafické, které je intuitivnější a díky tomu rychlejší. Programy vytvořené v Labview se nazývají virtuální přístroje a skládají se dvou částí. První je čelní panel, který obsahuje ovládací prvky programu, určuje její vzhled a přes jeho části se řídí běh aplikace. Druhou je blokový diagram, kde se tvoří algoritmus programu [29].

Pro práci s obrazem jsou k dispozici od stejné firmy softwarové a hardwarové nástroje NI Vision, které jsou kompatibilní s prostředním LabVIEW. Pro snímání videa z kamery je využito nástroje NI Vision Acquisition Software a pro další zpracování dále nástroje NI Vision Development Module [25].

6.3 Nastavení kamery a snímání obrazu

V první části systému je řešeno nastavení parametrů kamery potřebných ke snímání obrazu a dále pak samotné grabování videa z kamery. Jednotlivé snímací čipy kamery JAI jsou v prostředí LabVIEW jako samostatně figurující kamery a v programu je s nimi jednotlivě pracováno v paralelním procesu. Nejprve je použita funkce *IMAQdx Open Camera*, která načte konfigurační soubor kamery a vytvoří referenci na vybranou kameru. Dále jsou pomocí funkcí *Property Node* nastaveny potřebné atributy kamery uvedené v kapitole 3.1.1. Uživatel má možnost nastavit mód kamery a to buď na zabudované HDR módy, nebo na mód Sync, kdy je využito implementovaných postupů. Dalšími nastavitelnými parametry jsou doby expozičních časů a volba výstupního formátu kamery, kde lze vybrat mezi 8-bitovým nebo 10-bitovým výstupem, který je buď v surových datech, nebo už s rekonstruovanými barvami, kde se rekonstrukce provádí v kameře. Dále je nastavena velikost paketů, která je použita pro přenos dat mezi kamerou a počítačem. Velikost je nastavena buď na obvyklou hodnotu 1500 bytů, nebo v případě, že uživatel na čelním panelu zvolí použití Jumbo paketů, je velikost zvýšena na 8192 bytů. Ostatní atributy jsou pevně zvoleny. Nastavené parametry pak jsou pomocí funkce *IMAQdx Configure Acquisition* uloženy a pomocí stejné funkce je nastaveno kontinuální snímání a velikost bufferu, kam se budou snímky odkládat. Velikost je pro obě části nastavena na 1500 snímků. V dalším kroku této části je využita funkce *IMAQdx Start Acquisition*, která započne snímání dle nastavených parametrů a začne ukládat snímky do bufferu. Nakonec je pomocí funkce *IMAQdx Get Image* získán aktuální snímek s bufferu a převeden do obrázku, s kterým lze dále pracovat. Pro tento obrázek je nejprve nutné funkcí *IMAQ Create* alokovat potřebnou paměť. Získaný obrázek se poté uživateli zobrazí na obrazovce čelního panelu. V případě, že výstupními daty z kamery jsou surová data, je provedena automatická rekonstrukce barevných složek dle interních algoritmů knihovny NI Vision. Pro manuální vyvážení bílé barvy slouží ovládací prvky na čelním panelu,

kteří upravují zesílení složek RGB. Celý tento proces probíhá v cyklu *while*, který lze ukončit tlačítkem stop na čelním panelu. Zároveň jsou sledovány změny nastavení atributů kamery a v případě změny je provedeno přenastavení. Pro přenastavení je potřeba nejprve zastavit probíhající snímání pomocí funkce *IMAQdx Stop Acquisition*. Zastavení snímání zároveň způsobí vymazání snímků z bufferu, které ještě nejsou zpracovány, proto je třeba při práci s tímto počítat. Před uložením nově nastavených parametrů je nutné nejprve použít funkci *IMAQdx Unconfigure Acquisition*, která odstraní předešlé nastavení. Blokové schéma této části programu ilustruje obr. 6.2.

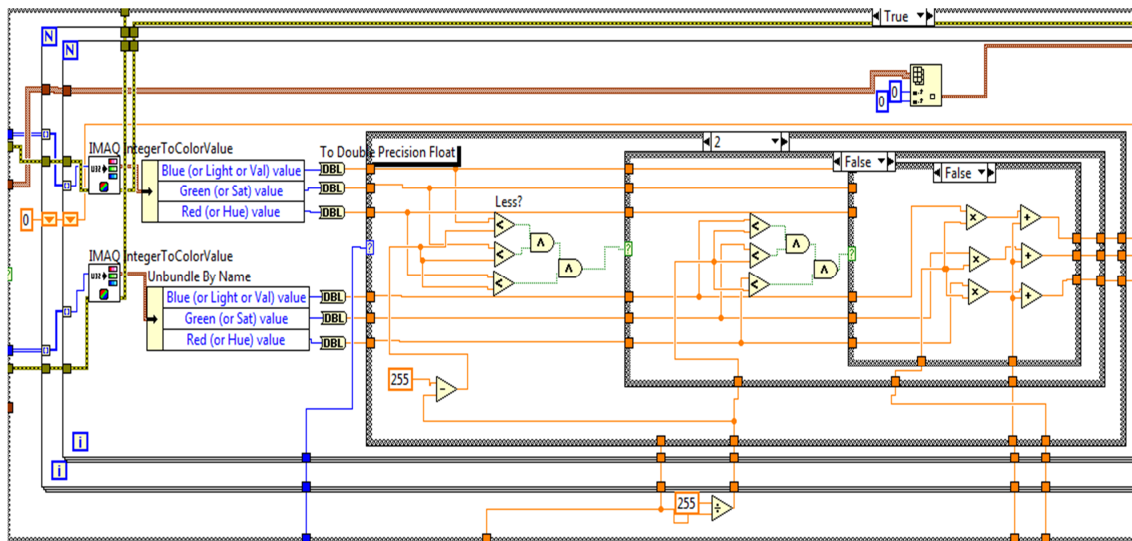


Obr. 6.2: Ukázka blokového schématu programu, které provádí nastavení kamery a snímání obrazu

6.4 Složení HDR obrazu

Pro složení obrazu jsou v systému implementovány metody dle kapitoly 3.3 založené na poměru expozičních dob, díky kterým lze docílit většího dynamického rozsahu než v případě složení pouze dvou obrazů s různou dobou expozice podle rovnice 3.1, jak by kamera o dvou snímacích senzorech nabízela. Expoziční doby musí být uživatelem nastaveny přesně, aby byl zachován lineární výstup. Nejprve jsou oba obrázky převedeny funkcí *IMAQ ColorImageToArray* na dvourozměrné pole, aby šlo pracovat na úrovni jednotlivých pixelů. V případě, že používáme obrázky s 10 bity na kanál, tak obdržíme z této funkce rovnou informaci o jednotlivých barevných složkách, při použití obrázku s 8 bity na kanál je třeba použít ještě další funkci *IMAQ IntegerToColorValue*. V další fázi jsou pomocí vnořených *for* cyklů procházeny jednotlivé pixely obrázků a podle podmínek použity. Zpracování je zde

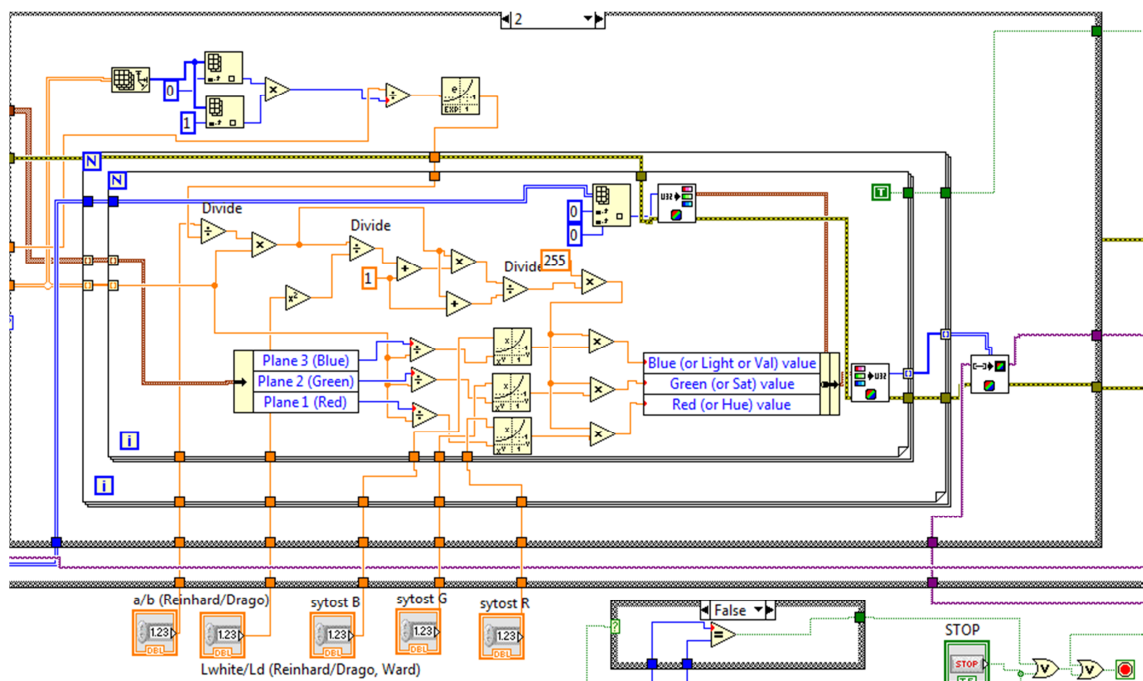
prováděno v číslech s desetinnou čárkou a podmínky musí splňovat všechny barevné kanály. Implementovány jsou všechny tři způsoby složení HDR obrazu využívající poměr expozičních časů. V případě základní metody jsou ve výsledném obrazu použity pixely ze senzoru A, který má větší expoziční dobu, v situaci, kdy nejsou satureovány, to odpovídá hodnotě menší než 255 pro 8-bitový rozsah na kanál, respektive 1024 pro 10-bitový rozsah. V opačném případě jsou použity pixely ze senzoru B a jsou násobeny poměr expozičních dob, který má hodnotu 2^N , kde N je počet bitů o který rozšiřujeme výstupní rozsah. Druhá metoda vylepšující přechod mezi oběma obrázky využívá průměrování v oblasti nejvýznamnějšího bitu obrázku A. Tomu odpovídají podmínky, kde z obrázku A jsou použity pixely, které mají úroveň menší než je velikost překryvu. V dalším kroku jsou pak vybrány pixely z obrázku B, které mají hodnotu menší, než odpovídá začátku přechodu mezi oběma obrázky. Tyto pixely jsou násobeny poměrem expozičních dob a následně dojde k zprůměrování těchto hodnot s odpovídajícími pixely z obrázku A. Ve výstupním obrázku jsou pak dále využity zbývající pixely z obrázku B, které jsou opět násobeny stejným parametrem. U poslední metody je postup stejný jako u předchozí. Jediný rozdíl je v násobícím parametru, který nastavuje uživatel společně s kompenzační hodnotou. Oba tyto parametry jsou umístěny na čelním panelu. Blokové schéma této části ilustruje obr. 6.3.



Obr. 6.3: Ukázka blokové schématu programu, která provádí složení HDR obrazu

6.5 Operátory mapování tonality

V systému jsou implementovány pouze jednoduché globální metody, které mají menší výpočetní náročnost. Ve výběru je logaritmické mapování, Reinhardův, Dragův a Wardův operátor a uniformní kvantizace. Všechny tyto operátory pracují pouze s jasovou složkou, v prvním kroku se tedy nejprve z barevných složek vypočte dle rovnice 4.1 tato složka. U Reinhardova a Wardova operátoru je zároveň počítána průměrná logaritmická hodnota jasu dle rovnice 4.6. Oba tyto procesy jsou prováděny uvnitř stejných cyklů jako složené HDR obrazu z důvodu ušetření počtu operací. Samotná aplikace operátorů je pak prováděna v dalších vnořených *for* cyklech, kde je každý pixel postupně upraven dle uvedených rovnic na výstupní hodnotu L_d . Hodnoty L_d jsou v rozsahu mezi 0 až 1 a na výstupní rozsah osmi bitů jsou převedeny vynásobením hodnotou 255. U operátorů, které mají uživatelské parametry je nastavení těchto parametrů možné ovládat z čelního panelu. Posledním krokem je převedení jasové složky zpět na jednotlivé barevné složky podle rovnic 4.2. Korekci saturace je možno opět ovládat z čelního panelu. Poté už jen dojde k převedení z pole zpět na obrázek funkcí *IMAQ ArrayToColorImage*. Výsledný obrázek se poté zobrazí na obrazovce čelního panelu. Blokové schéma této části ilustruje obr. 6.4.

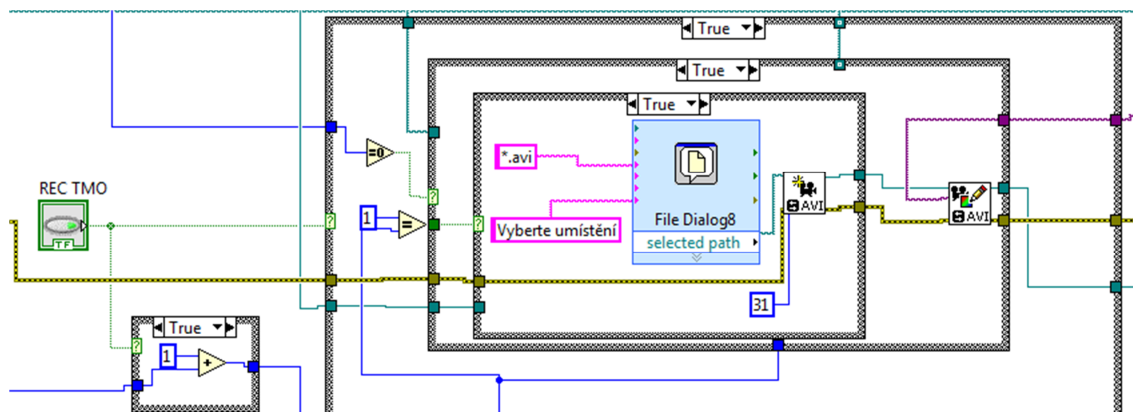


Obr. 6.4: Ukázka blokového schématu programu, které provádí mapování tonality

6.6 Ukládání videa

Další věcí co systém umožňuje je ukládání videa a to ve dvou formátech. Jednou možností je výstup ve formátu AVI, druhou pak ukládání po jednotlivých snímcích ve formátu TIFF. Uživatel má možnost ukládat nezávisle video z obou snímacích čipů, HDR obraz nebo výstup po aplikaci mapování tonality. Ukládání se spouští ovládacími tlačítky na čelním panelu, kde se také vybírá mezi způsobem uložení. V případě výběru formátu AVI se po zmáčknutí tlačítka objeví dialogové okno, kde uživatel vybere název a umístění souboru. Ukládání probíhá, dokud se stejným tlačítkem nevypne. Po výběru umístění je funkcí *IMAQ AVI2 Create* vytvořen soubor formátu AVI a dále pomocí funkce *IMAQ AVI2 Write Frame* je do tohoto souboru zapsán aktuální snímek. Video je kódováno kodekem z knihovny NI Vison. Po zapsání všech snímků je na konci soubor zavřen funkcí *IMAQ AVI2 Close*. Výstup ve formátu AVI je omezen 8-bitovou hloubkou na kanál. V případě většího rozsahu je použito pouze osm nejméně významných bitů snímku. Ukládání do tohoto formátu je proto určeno hlavně pro výsledný výstup, který byl komprimován na 8-bitový rozsah.

V případě výběru ukládání po jednotlivých snímcích se také objeví dialogové okno, kde uživatel vybere složku, kam se budou snímky ukládat. Dále je možno na čelním panelu zadat název, pod kterým se budou snímky ukládat. Za tento název se pak automaticky přidávají číslice začínající od jedničky, které odpovídají pořadí, jak se snímky postupně zapisují. Pro tuto operaci je využito funkce *IMAQ Write File 2*, kde je vybrán výstupní formát TIFF. Výstupní rozsah je v tomto případě omezen 16-bitovou hloubkou na kanál. Toto omezení je dáno prostředím LabVIEW, kde je pro barevný obrázek možno užít maximálně tento rozsah. Blokové schéma této části ilustruje obr. 6.5.



Obr. 6.5: Ukázka blokového schématu programu, které provádí ukládání videa

6.7 Režim off-line

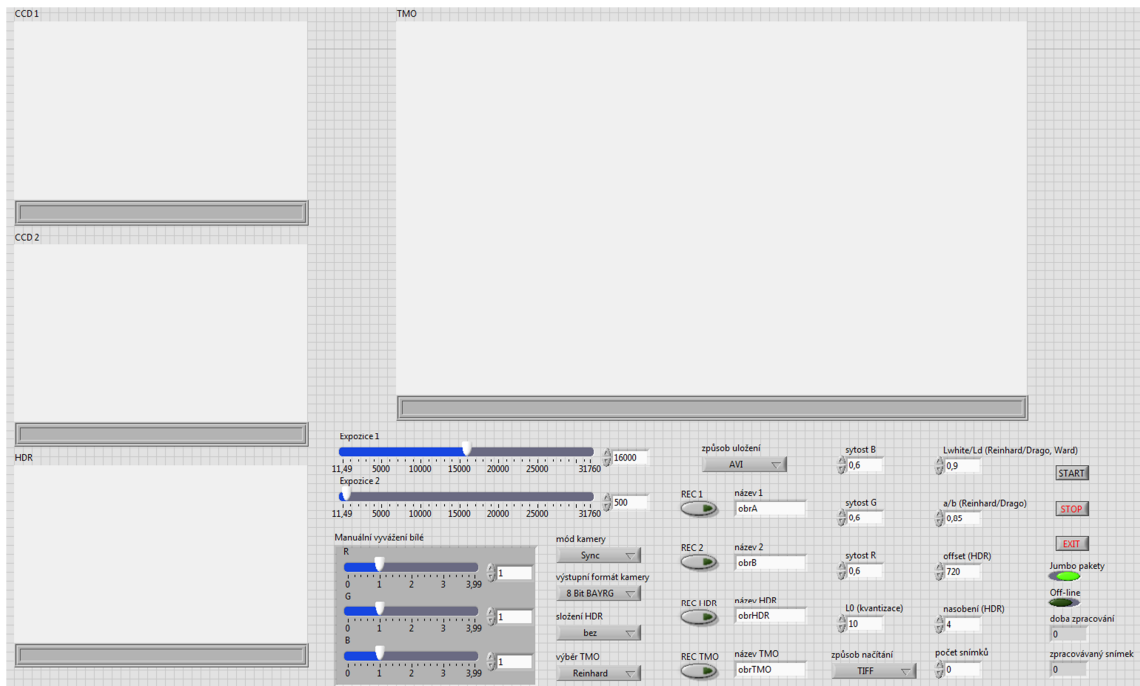
Kromě možnosti snímání videa z kamery a následné práce s ním, systém nabízí možnost pracovat s videem ve formátu AVI. Místo výstupu z kamery jsou v tom případě použity vybrané videosekvence. Při výběru tohoto režimu se na začátku po spuštění objeví dvě dialogová okna, kde uživatel vybere cestu k oběma souborům. Po výběru videí jsou funkce *IMAQ AVI2 Open* otevřeny a funkcí *IMAQ AVI2 Get Info* je zjištěn počet snímků ve videích. Dále pomocí funkce *IMAQ AVI2 Read frame* probíhá postupné načítání snímků v cyklu *while*, který se automaticky ukončí při konci videa. S aktuálním snímkem je následně pracováno stejným způsobem, jak je popsáno v předchozích kapitolách.

Druhou možností vstupu jsou jednotlivé snímky videosekvence uložené ve formátu TIFF. Zde se opět pomocí dialogových oken vybere cesta k prvním snímkům sekvence. Všechny snímky musí být umístěny ve stejné složce a zároveň na konci názvu musí mít číslo pořadí začínající od jedné. Dále musí být přes čelní panel zadán celkový počet snímků, který má být zpracován. Dále už je postupováno stejným způsobem, jako v předchozím případě. V cyklu *while* jsou pomocí funkce *IMAQ ReadFile* postupně načítány jednotlivé snímky. Cesta ke snímkům je generována nahrazením čísla jedna za odpovídající číslo. To je prováděno pomocí funkce *Search and Replace String*, která vyhledá řetězec *1.tif* a nahradí ho.

6.8 Čelní panel

Čelní panel programu obsahuje celkem čtyři obrazovky pro zobrazení jednotlivých výstupů při nastaveném módu Sync, při ostatních módech je na obrazovkách stejný obraz. Obrazovky označené jako CCD 1 a CCD 2 slouží pro zobrazení výstupu ze sensorů kamery. Na obrazovce HDR se zobrazuje složený snímek, který ovšem na běžných obrazovkách není plně zobrazitelný. Na poslední a největší obrazovce je zobrazen snímek po aplikaci zvoleného operátoru mapování tonality. Druhou částí panelu jsou prvky pro ovládání systému. Pro ovládání doby expozice slouží jezdce označené Expozice 1 a Expozice 2 odpovídající sensorům 1 a 2. Nastavitelný rozsah odpovídá programovatelné expozici kamery. Kromě jezdce lze využít manuální zadání nebo krokování pomocí posuvníku. Dalšími prvky jsou jezdce ovládající zesílení barevných složek pro manuální vyvážení bílé. Rozsah hodnot je 0 až 3,99. Kromě jezdce lze opět využít manuální zadání nebo krokování posuvníkem. Dalšími prvky jsou roze-

vírací menu, které slouží pro výběr metod, které budou použity. Prvním je výběr módu kamery. Možnosti výběru jsou tři HDR módy popsané v kapitole 5.2.1 a potom mód Sync, při kterém jsou k dispozici implementované metody. Dalším menu je výběr výstupního formátu kamery. Výběr je mezi 8-bitovým a 10-bitovým výstupem a to buď v podobě RAW dat, nebo v podobě barevného obrázku. Dalším výběrem je metoda složení HDR snímku. Základní metoda je zde pod názvem bez průměrování, dále je zde metoda s průměrováním a nakonec metoda s offsetem. Pro poslední metodu jsou na panelu dále prvky pro nastavení offsetu a násobící konstanty. Na výběr jsou dále operátory mapování tonality, v menu výběr TMO. Další menu se týká způsobu uložení, kde je na výběr mezi formátem AVI a TIFF. Poslední výběr je volba způsobu načítání, která přímo souvisí s přepínačem off-line režimu. Pokud je off-line režim aktivní, což je signalizováno rozsvícením přepínače, tak je dle volby formátu provedeno odpovídající načítání snímků. V případě volby formátu TIFF je zároveň nutné zadat počet snímků do určeného pole. Další části panelu jsou prvky pro ovládání ukládání. Pro spouštění a zároveň vypínání jsou určeny čtyři tlačítka REC, které korespondují se čtyřmi výstupy na obrazovkách. Aktivace je signalizována rozsvícením tlačítka. V případě volby ukládání do formátu TIFF jsou zde pole, do kterých je možné zadat názvy snímků. Součástí panelu jsou dále prvky pro ovládání parametrů operátorů mapování tonality. Společným parametrem pro všechny operáty je úprava sytosti jednotlivých barevných složek. U ostatních parametrů je upřesněno, pro které operátory jsou určeny. Hodnoty lze zadávat manuálně nebo lze krokovat pomocí posuvníků. Posledními ovládacími prvky jsou tlačítka pro ovládání samotného systému. Pro spuštění snímání slouží tlačítko START a pro zastavení pak tlačítko STOP. Program se ukončuje tlačítkem EXIT. V případě nějaké chyby v průběhu programu se snímání samo zastaví a po opravě lze opět spustit. Poslední části panelu jsou informace o době zpracování jednoho snímku a číslo aktuálně zpracovávaného snímku. Panel je zobrazen na obr. 6.7.



Obr. 6.7: Čelní panel programu systemHDR

6.9 Testování systému

Funkčnost programu byla testována na počítačové sestavě s procesorem Intel Core i7 a s operační pamětí 8 GB. Kamera byla připojena pomocí síťové karty s více vstupy.

Při testování systému bylo zjištěno, že způsob implementace metod pro skládání HDR snímků a mapování tonality je příliš pomalý pro práci v reálném čase z důvodu dlouhého zpracování jednotlivých snímků videa. Při zvoleném způsobu je prováděno příliš mnoho úkonů, které vyžadují početní operace. Mezi hlavní problémy pak patří skutečnost, že se mnoho výpočtů opakuje a jsou znovu počítány. Jisté zlepšení rychlosti by přineslo omezení těchto opakovaných operací. Dalším způsobem zvýšení rychlosti zpracování by mohlo být rozdělení snímků do několika bloků, které by byly následně zpracovány v paralelních procesech. Nejlepším způsobem pro zrychlení zpracování by pak bylo vytvoření odpovídajících lookup tabulek, které by úplně omezilo počet nutných matematických výpočtů. Nevýhodou tohoto způsobu by byla nutnost vytvoření značného počtu takových tabulek. Optimalizace programu pomocí zmíněných způsobů z nedostatku času provedena nebyla.

Pro ukázkou implementovaných metod byly vytvořeny ukázkové snímky po aplikaci operátorů mapování tonality. Nejdříve byly pořízeny dva snímky stejné scény o různé expozici. Expozice byla změněna dobou expozičních časů, jejichž poměr měl vzhledem k použití 8-bitového výstupního formátu kamery hodnotu 32. Přesah mezi oběma obrázky byl tedy 3 bity. Přesné doby expozic byly $t_1 = 25207 \mu\text{s}$ a $t_2 = 787,74 \mu\text{s}$. Snímky jsou na obr. 6.8. Z těchto dvou snímků byl vytvořen HDR snímek pomocí základní metody bez průměrování, ten měl vzhledem k nastavení 13-bitový výstupní rozsah. Na vytvořený snímek pak byly aplikovány jednotlivé operátory. Výsledný snímek po aplikaci logaritmického operátoru ukazuje obr. 6.9. Dále byla aplikována uniformní kvantizace, při které byl nastaven jediný parametr na hodnotu $L_0 = 12$, jejíž výsledek je na obr. 6.10. Dalším aplikovaným operátorem byl Reinhardův, kde byly nastaveny parametry na hodnoty $L_{\text{white}} = 1,3$ a $a = 0,35$. Výsledek zobrazuje obr. 6.11. Výsledek po aplikaci Dragova operátoru ukazuje obr. 6.12. Parametry zde byly nastaveny na hodnoty $L_d = 95$ a $b = 1,4$. U těchto čtyř operátorů byl nastaven společný parametr upravující sytost na hodnotu $s = 0,55$ pro všechny tři barevné složky. Posledním použitým operátorem byl Wardův, jehož výsledek ukazuje obr. 6.13. Parametry byly nastaveny na hodnoty $L_d = 1500$ a sytost $s = 0,65$ shodně pro všechny složky. Parametry byly nastaveny na takové hodnoty, aby bylo dosaženo co nejlepšího výsledku.



Obr. 6.8: Snímky pořízené s různou dobou expozice (vlevo delší doba a vpravo kratší doba)



Obr. 6.9: Snímek po aplikaci logaritmického operátoru



Obr. 6.10: Snímek po aplikaci uniformní kvantizace



Obr. 6.11: Snímek po aplikaci Reinhardova operátoru



Obr. 6.12: Snímek po aplikaci Dragova operátoru



Obr. 6.13: Snímek po aplikaci Wardova operátoru

6.10 Zjednodušená verze systému

Návrh programu

Vzhledem k nemožnosti práce v reálném čase v programu systemHDR byl vytvořen demonstrační systém, který využívá zabudované metody kamery a dále funkce na úpravu ob-

rázku, které nabízí knihovna NI Vision. Blokové schéma programu ilustruje obr. 6.14. V první části je opět provedeno nastavení kamery a spuštěno snímání. Na rozdíl od předchozího programu zde není použit buffer a načítá se aktuální snímek, který je k dispozici na výstupu kamery. Dále je vynechána část, která skládala HDR obraz, protože jsou použity módy kamery. V další části pak dochází k úpravě dynamického rozsahu snímků a v poslední části je provedeno uložení výstupního snímku. Nově je přidána část, která vytvoří histogramy. Předpoklady pro správnou funkčnost programu jsou zapojení kamery pomocí síťové karty s více vstupy, správné přiřazení IP adres a aktuální verze nástrojů NI Vision. Název programu je HDRcam.

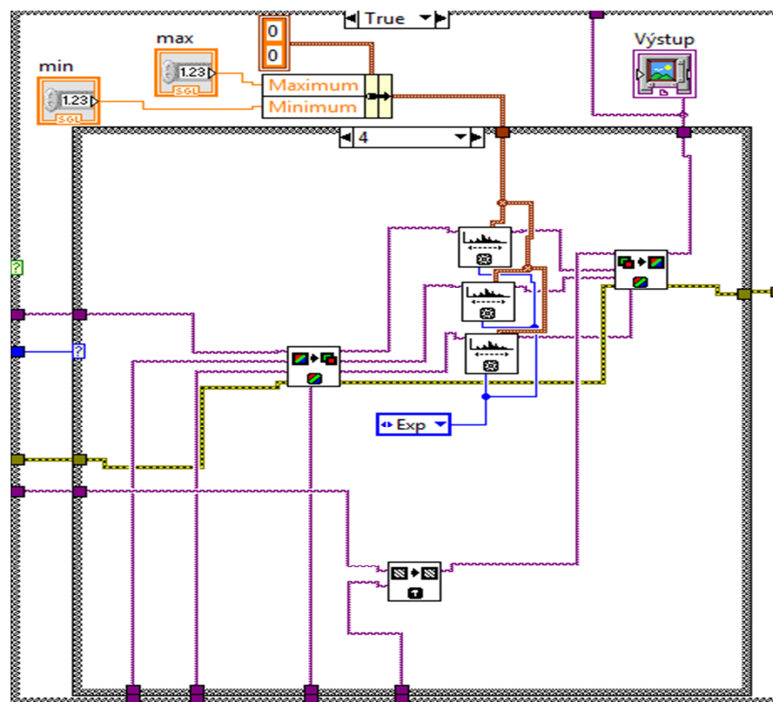


Obr. 6.14: Blokové schéma programu HDRcam

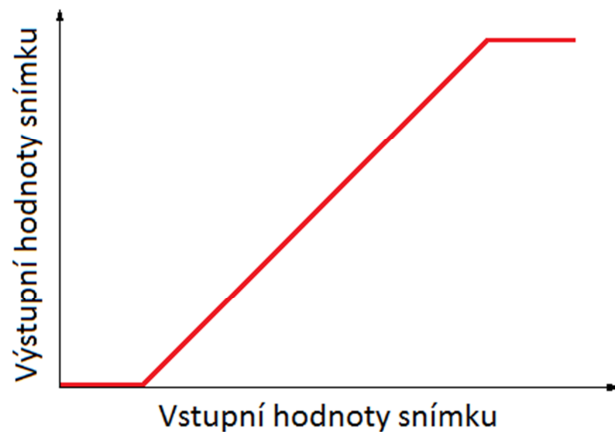
Řešení programu

Nastavení kamery je řešeno stejným způsobem jako v kapitole 6.3. Rozdíl nastává až ve způsobu snímání. Zde je pro získání snímku použita funkce *IMAQdx Grab*, která aktuální snímek na výstupu kamery převede na obrázek, s kterým lze dále pracovat. Na získaný obrázek lze poté v další části aplikovat několik úprav. První úpravou je ekvalizace histogramu pomocí funkce *IMAQ ColorEqualize*, která je provedena pro všechny tři barevné roviny. Dále je možno na obrázek aplikovat gamma křivku a to odděleně na každou barevnou rovinu zvlášť. Pro tuto úpravu je použita funkce *IMAQ ColorBCQLookup*. Exponenty gamma křivky může uživatel ovládat z čelního panelu. Poslední úpravou je přemapování pixelů v oblasti mezi minimální a maximální zvolenou hodnotou pixelu podle zvolené křivky. Výběr je mezi lineární, exponenciální a logaritmickou funkcí. Ukázka lineární křivky je na obr. 6.16. Proces je aplikován stejně na všechny barevné roviny a je pro něj nejprve využito funkce *IMAQ ExtractColorPlanes*, pomocí které získáme jednotlivé barevné složky. Na každou z nich je poté aplikováno přemapování funkcí *IMAQ MathLookup*. Barevné složky jsou poté opět spojeny

do výsledného obrázku pomocí funkce *IMAQ_ReplaceColorPlane*. Dalším blokem programu je ukládání výsledných snímků. Tato část je řešena stejně, jako je popsáno v kapitole 6.6. Rozdílem je, že k dispozici je pouze výstup ve formátu AVI. Odlišné je také navolení umístění pro uložení souboru. Pokud bude chtít uživatel využít možnosti ukládání, musí před spuštěním na čelním panelu zvolit tuto skutečnost. V tom případě se hned na začátku objeví dialogové okno, kde se zvolí umístění, které už pak v průběhu nelze změnit. Samotné spuštění ukládání je ovládáno přes tlačítko na čelním panelu. Posledním blokem programu je vytvoření histogramů pro jednotlivé barevné roviny. To je provedeno funkcí *IMAQ_ColorHistogram*, která vytvoří potřebná data, které se poté zobrazí na čelním panelu v podobě histogramu. V případě navoleného módu Sync jsou histogramy vytvořeny pro snímky s obou senzorů a v případě módu HDR jsou vytvořeny pro výstup z kamery a pro upravený výstupní obrázek. Zobrazení je v oddělených grafech pro jednotlivé barevné roviny. Ukázka blokového schématu je na obr. 6.15.



Obr. 6.15: Ukázka blokového schématu, která upravuje snímky

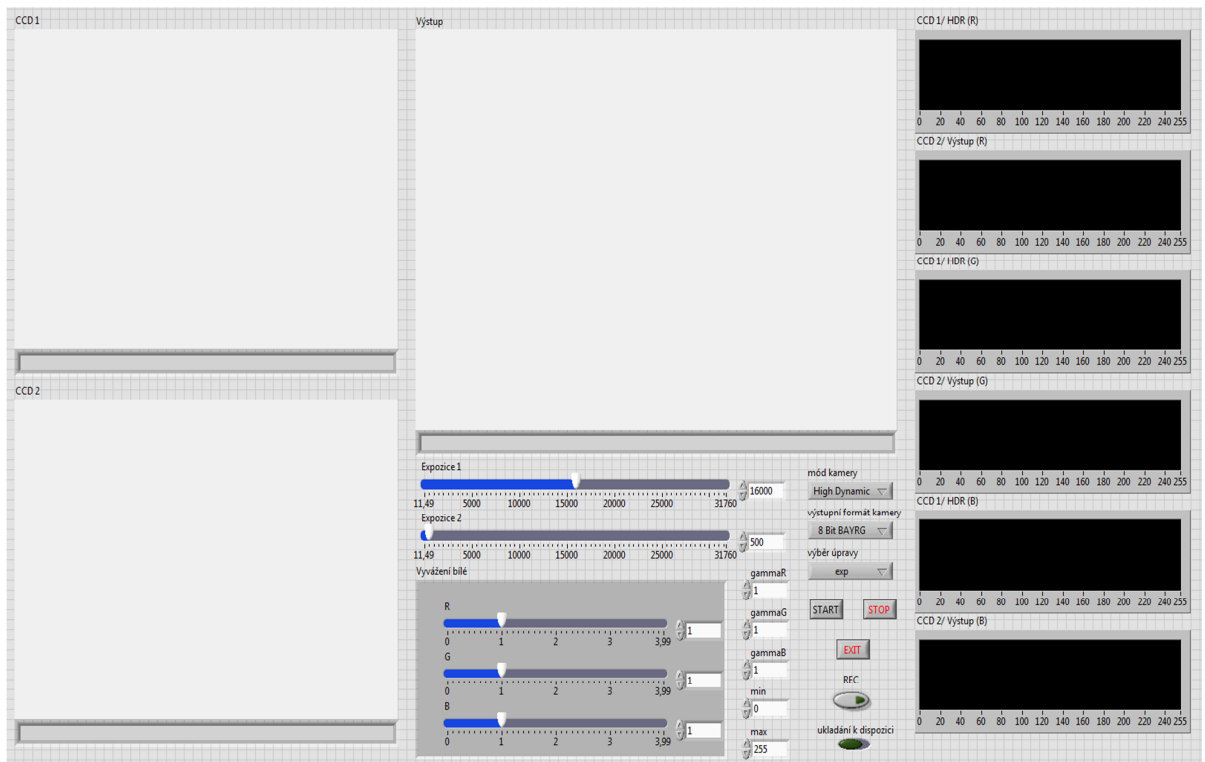


Obr. 6.16: Křivka pro lineární přemapování

Čelní panel programu

Čelní panel programu obsahuje tři obrazovky pro zobrazení jednotlivých výstupů. Obrazovky s názvy CCD 1 a CCD 2 v módu Sync slouží k zobrazení výstupů z obou senzorů kamery. Třetí obrazovka s názvem Výstup je v tomto módu neaktivní. V případě navolení HDR módů je na prvních dvou obrazovkách stejný obraz a to výstup z kamery. Na třetí obrazovce je v tomto nastavení upravený výstupní obraz. Dalším obsahem panelu jsou ovládací prvky programu. Pro nastavení doby expozice jsou tu dva jezdcé s názvy Expozice 1 a Expozice 2. Rozsah, který lze nastavit, odpovídá maximálnímu rozsahu, který lze u kamery nastavit. Dalším prvkem je manuální vyvážení bílé, které se ovládá přes tři jezdcé, které reprezentují zesílení jednotlivých barevných složek. Rozsah zesílení lze nastavit mezi hodnotami 0 až 3,99. U prvků, které se ovládají přes jezdcé lze zároveň využít manuálního zadání nebo krokování. Dalšími ovládacími prvky jsou rozevírací menu. Prvním je výběr módu kamery. Možnosti výběru jsou tři HDR módy popsané v kapitole 5.2.1 a potom mód Sync, při kterém jsou pouze zobrazeny výstupy z obou senzorů kamery, které pracují v synchronním režimu. Další menu obsahuje výběr výstupní formátu kamery. Na výběr je pouze druh 8-bitového výstupu, buď RAW data z kterých je barevný obrázek rekonstruován při získávání snímků, nebo formát, při kterém je rekonstrukce provedena už v kameře. Dalším menu je výběr úpravy, zde se vybírá mezi popsányými úpravami nebo je možnost zvolit bez úpravy. Dalšími ovládacími prvky jsou parametry ovlivňující úpravu obrazu. Pro zadání exponentů gamma křivek pro jednotlivé barevné roviny zde jsou tři prvky pro každou barvu. Zadání je možno přímo danou hodnotu nebo posuvníkem postupovat po jedné desetinné. Dále je tu ovládání rozsahu pro přemapování pixelů. Zadání je v podobě minimální a maximální hodnoty. Zadání lze opět

přímo danou hodnotu nebo posuvníkem krokovat po jednotkách. Dalšími prvky jsou ovladače ukládání. Přepínačem ukládání k dispozici se před spuštěním volí, jestli se bude v průběhu ukládat. Aktivní stav je signalizovaný rozsvícením tohoto přepínače. V případě aktivace této možnosti se pak ukládání spouští tlačítkem REC, které se při aktivaci rozsvítí. Posledními prvky jsou tlačítka pro ovládání samotného systému. Pro spuštění snímání slouží tlačítko START a pro zastavení pak tlačítko STOP. Program se ukončuje tlačítkem EXIT. V případě nějaké chyby v průběhu programu se snímání samo zastaví a po opravě lze opět spustit. Poslední částí čelního panelu jsou histogramy. Co daný histogram zobrazuje je napsáno nad každým grafem. V případě módů Sync jsou platné popisky před lomítkem, v ostatních za lomítkem. Čelní panel je zobrazen na obr. 6.17.



Obr. 6.17: Čelní panel programu HDRcam

Testování systému

Testování systému proběhlo na stejné počítačové sestavě, na které byl testován program systemHDR. Snímání i v případě použití úprav obrazu bylo možné za maximálního počtu snímků za vteřinu.

7 Závěr

Práce se zabývala problematikou snímání a zpracování videa s vysokým dynamickým rozsahem. Byly popsány nejběžnější metody snímání, jako jsou vícenásobná expozice, speciální senzory a zejména pak snímání pomocí více senzorů. Byly popsány způsoby skládání obrazu s vysokým dynamickým rozsahem z více snímků s různou hodnotou expozice. Dále byly popsány techniky komprese dynamického rozsahu zpět na běžně zobrazitelný rozsah, zejména pak rozšířené globální metody. Práce dále seznamuje s kamerou JAI AD-132GE se dvěma obrazovými čipy a je popsán způsob snímání HDR videa pomocí softwaru dodávaného s kamerou. Pomocí standardu ISO 14524 dále byla změřena optoelektronická převodní charakteristika pro oba obrazové čipy kamery. V programovacím prostředí LabVIEW byl vytvořen systém, který je schopen snímat video z kamery a z něho pomocí implementovaných metod vytvořit video s vysokým dynamickým rozsahem. Na vytvořené video je možné aplikovat implementované operátory mapování tonality. Systém dále umožňuje ukládat tyto videa a v off-line režimu umožňuje místo výstupu z kamery využít uložených videí. Zásadní problém systému je, že zpracování jednoho snímku videa je příliš pomalé a se systémem proto nelze pracovat v reálném čase. Vytvořeným systémem byly dále pořízeny ukázkové snímky.

Pro demonstrační účely byl vytvořen systém, který ukazuje možnosti kamery. Systém umožňuje snímat video z kamery a aplikovat na něj jednoduché úpravy dynamického rozsahu. Využito je HDR módů zabudovaných v kameře a funkcí pro zpracování obrazu z knihovny NI Vision.

Literatura

- [1] BOČÍK, Andrej. Velká kniha HDR fotografie: kouzlo fotografií s vysokým dynamickým rozsahem. 2., aktualiz. vyd. Překlad Hana Majerová, Michal Brůha. Brno: Computer Press, 2011, 224 s. ISBN 978-80-251-3367-5.
- [2] CHAURASIYA, Rahul Kumar a K. R. RAMAKRISHNAN. High Dynamic Range Imaging. International Conference on Communication Systems and Network Technologies 2013: IEEE Computer Society, 2013
- [3] RAMACHANDRA, Vikas, Matthias ZWICKER a Truong NGUYEN. HDR IMAGING FROM DIFFERENTLY EXPOSED MULTIVIEW VIDEOS. 3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video, 2008
- [4] KAO, Wen-Chung a Ming-Chai HSU. Local Contrast Enhancement for Human Face Recognition in Poor Lighting Conditions. Systems, Man and Cybernetics IEEE International Conference, 2008
- [5] MANN, Steve a Rosalind W. PICARD. Being 'undigital' with digital cameras: Extending dynamic range by combining differently exposed pictures. IS&T's 48th annual conference: Society for Imaging Science and Technology, 1995
- [6] PECE, Fabrizio a Jan KAUTZ. *Bitmap Movement Detection: HDR for Dynamic Scenes*. Conference on Visual Media Production, 2010
- [7] AGGARWAL, Manoj a Narendra AHUJA. *Split Aperture Imaging for High Dynamic Range*. Int'l Conf. on Computer Vision: IEEE, 2001
- [8] DEBEVEC, Paul E. a Jitendra MALIK. Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs. SIGGRAPH 97, 1997
- [9] ROBERTSON, Mark A., Sean BORMAN a Robert L. STEVENSON. *Estimation-theoretic approach to dynamic range enhancement using multiple exposures*. Journal of Electronic Imaging, Vol. 12, 2003
- [10] Using image fusion to capture high-dynamic range (hdr) scenes. JAI [online]. 2009 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: http://www.jai.com/SiteCollectionDocuments/Camera_Solutions_Application_Tech_Note/TTechNot-TN-0903-HDR-Fusion-Methods.pdf

- [11] Using a 2CCD camera to create high-dynamic range images. JAI [online]. 2009 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z:
http://www.jai.com/SiteCollectionDocuments/Camera_Solutions_Application_Tech_Note/TechNote-TN-0902-2CCD-HDR.pdf
- [12] GAMAL, Abbas El. *High Dynamic Range Image Sensors*. ISSCC, 2002
- [13] SASAKI, Masaaki, Mitsuhiro MASE, Shoji KAWAHITO a Yoshiaki TADOKORO. *A Wide Dynamic Range CMOS Image Sensor with Multiple Short-Time Exposures*. IEEE Workshop CCDs and Advanced Image Sensors, 2003
- [14] YADID-PECHT, Orly a Eric R. FOSSUM. *Wide Intrascene Dynamic Range CMOS APS Using Dual Sampling*. IEEE Trans. Electron Devices, 1997
- [15] NAYAR, Shree K. a Tomoo MITSUNAGA. *High Dynamic Range Imaging: Spatially Varying Pixel Exposures*. Computer Vision and Pattern Recognition: IEEE, 2000
- [16] BRAJOVIC, Vladimir a Takeo KANADE. *A Sorting Image Sensor: An Example of Massively Parallel Intensity-to-Time Processing for Low-Latency Computational Sensors*. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1996
- [17] KAVADIAS, Spyros, Bart DIERICKX, Danny SCHEFFER, Andre ALAERTS, Dirk UWAERTS a Jan BOGAERTS. *A Logarithmic Response CMOS Image Sensor with On-Chip Calibration*. IEEE Journal of solid-state circuits, Vol. 35, No. 8, 2000
- [18] REINHARD, Erik et al. *High dynamic range imaging: acquisition, display, and image-based lighting*. 2nd ed. Burlington: Morgan Kaufmann, 2010, 650 s. ISBN 978-0-12-374914-7.
- [19] SALIH, Yasir, Wazirah MD-ESA, Aamir S. MALIK a Naufal SAAD. *Tone Mapping of HDR Images: A Review*. 4th International Conference on Intelligent and Advanced Systems, 2012
- [20] WARD, Greg. *A Contrast-Based Scalefactor for Luminance Display*. Graphics Gems IV: Academic Press, 1994
- [21] REINHARD, Erik, Michael STARK, Peter SHIRLEY a James FERWERDA. *Photographic Tone Reproduction for Digital Images*. ACM Trans. Graph, 2002
- [22] DRAGO, F., K. MYSZKOWSKI, T. ANNEN a N. CHIBA. *Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes*. EUROGRAPHICS, Vol. 22, No. 3, 2003
- [23] SCHLICK, Christophe. *Quantization Techniques for the Visualization of High Dynamic Range Pictures*. Photorealistic Rendering Techniques: Springer-Verlag, 1994

- [24] JINNO, Takao, Kazuya MOURI a Masahiro OKUDA. *HDR VIDEO TONE MAPPING BASED ON GAMMA BLENDING*. IEEE 17th International Conference on Image Processing, 2010
- [25] *NI Vision Concepts Manual*. National Instruments, 2005.
- [26] DURAND, Frédo a Julie DORSEY. *Fast Bilateral Filtering for the Display of High-Dynamic-Range Images*. ACM Transactions on Graphics, Vol. 21, No. 3, 2002
- [27] LEE, Chul a Chang-Su KIM. GRADIENT DOMAIN TONE MAPPING OF HIGH DYNAMIC RANGE VIDEOS. ICIP 2007, 2007
- [28] AD-132GE 2CCD color high dynamic range camera. Industrial cameras for machine vision [online]. 2013 [cit. 2013-12-14]. Dostupné z: <http://www.jai.com/en/products/ad-132ge>
- [29] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustrace Viktorie Vlachová. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [30] ISO 14524:1999 Photography - Electronic still-picture cameras - Methods for measuring opto-electronic conversion functions (OECFs). ICS: 37.040.10

Seznam použitých zkratek

HDR (high dynamic range) - vysoký dynamický rozsah

LDR (low dynamic range) – nízký dynamický rozsah

CCD (charge-coupled device) – obrazový senzor

CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor) – obrazový senzor

ISO – citlivost obrazového senzoru na světlo

EV (exposure value) – hodnota expozice

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) – polem řízený tranzistor

TMO (tone mapping operator) – operátor mapování tonality

RAW – nezpracovaná data z obrazového senzoru

RGB – barevný model se základními barvami červená, zelená a modrá

OEFC (opto-electronic conversion function) – optoelektronická převodní charakteristika

AVI (audio video interleave) – formát multimediálního kontejneru

TIFF (tag image file format) - kontejnerový formát pro ukládání rastrové grafiky

Příloha A – Obsah DVD

Elektronická forma této práce

Soubory použité při měření OECF – snímky předlohy, skript a tabulky

Vytvořené programy systemHDR a HDRcam

Ukázkové snímky a videa vytvořené v programu systemHDR – názvy souborů odpovídají použitému operátoru