

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Nastavení geometrie kamer pro stereoskopické snímání  
blízké scény**

**Autor práce: Ondřej Virt**

**Vedoucí práce: Ing. Ivo Veřtát, Ph.D**

**2014**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej VIRT**  
Osobní číslo: **E11B0263P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Název tématu: **Nastavení geometrie kamer pro stereoskopické snímání blízké scény**  
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Navrhnete způsob nastavení stereoskopického kamerového systému pro snímání blízkých scén.
2. Natočte vzorové stereoskopické materiály s různým nastavením stereobáze a konvergence os kamer.
3. Proveďte subjektivní testy kvality obrazu v závislosti na nastavení kamerového systému.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na nastavení geometrie kamer pro stereoskopické snímání blízké scény.

V práci jsou nastíněny výhody a nevýhody použití jedné kamery se stereo objektivem nebo dvou kamer na stereoskopické montáži. Více prostoru je věnováno dvěma kamerám na stereoskopické montáži, jelikož je zde více možností nastavení různých parametrů a výsledný 3D efekt je lépe ovlivnitelný právě těmito nastaveními.

V místě natáčení byl umístěn objekt s ostrými vertikálními a horizontálními hranami pro lepší nastavení geometrie kamer.

Bylo vyzkoušeno několik různých nastavení stereoskopického systému. Tato různá nastavení byla testována při subjektivních testech. Na testech bylo také vyzkoušeno, jak ovlivní výsledný 3D efekt špatné nastavení geometrie nebo nesynchronní snímání obou kamer.

## **Klíčová slova**

Stereoskopický systém, stereo objektiv, 3D, S3D, geometrie kamer, stereobáze, konvergence os kamer, pozitivní paralax, negativní paralax, subjektivní testy, chyby zobrazování.

## **Abstract**

The bachelor thesis presents the stereoscopic camcorder settings for near area.

One objective of research was judged, if application of one camera with stereo objective is better than application of two cameras on stereoscopic tripod. I focused on two cameras, because there were many ways how to set the stereoscopic system and affected the final 3D effect.

I used the object with horizontal and vertical sharp edges for better and easier settings the stereoscopic system. And put this object to near area where were the real objects I filmed.

I tried many different settings of the stereoscopic system and tested by subject tests. These tests found how the final 3D effects was affected by wrong settings geometry or nonsynchronous scanning of both cameras.

## **Key words**

Stereoscopic system, stereo objective, 3D, S3D, stereo base, convergence, positive parallax, negative parallax, subject tests, errors.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 7.6.2014

Ondřej Virt

.....

# Obsah

ÚVOD .....	8
SEZNAM SYMBOLŮ.....	10
<b>1 STEREOSKOPICKÝ SYSTÉM .....</b>	<b>11</b>
1.1 JEDNA KAMERA SE STEREOOBJEKTIVEM.....	11
1.2 DVĚ KAMERY NA STEREOSKOPICKÉ MONTÁŽI .....	12
1.2.1 Souprava se zrcadlem.....	12
1.2.2 Paralelní souprava.....	14
1.3 PARAMETRY PARALELNÍ SOUPRAVY .....	14
1.3.1 Stereobáze.....	15
1.3.2 Konvergence os kamer.....	16
1.3.3 Pozitivní a negativní paralax.....	17
<b>2 CHYBY V ZOBRAZOVÁNÍ 3D OBRAZU .....</b>	<b>18</b>
2.1 NESYNCHRONNÍ SNÍMÁNÍ KAMER.....	18
2.2 PORUŠENÍ HRAN .....	19
2.3 PLOVOUCÍ OKNO.....	20
2.4 DALŠÍ CHYBY V ZOBRAZOVÁNÍ 3D OBRAZU .....	21
2.4.1 Vertikální vychýlení .....	21
2.4.2 Rotační vychýlení .....	21
2.4.3 Barevné rozdíly.....	22
2.4.4 Rozdílnost obrazu s rušivými artefakty .....	22
2.4.5 Přeslechy.....	23
2.4.6 Pseudoscopic.....	23
<b>3 METODY HODNOCENÍ KVALITY OBRAZU .....</b>	<b>24</b>
3.1 SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ .....	24
3.1.1 SS (Single Stimulus).....	24
3.1.2 SC (Single Stimulus-Comparison).....	25
3.1.3 SSCQE (Single Stimulus Continual Quality Evaluation).....	25
3.2 OBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ .....	26
3.2.1 MSE (Mean Squared Error).....	26
<b>4 VLASTNÍ NASTAVENÍ STEREOSKOPICKÉHO SYSTÉMU .....</b>	<b>28</b>
4.1 NASTAVENÍ STEREOBÁZE.....	29
4.2 NASTAVENÍ KONVERGENCE OS KAMER .....	30
<b>5 VYHODNOCENÍ SUBJEKTIVNÍCH TESTŮ.....</b>	<b>32</b>
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>37</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>38</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>1</b>
PŘÍLOHA A – DVD .....	1

## Úvod

Naše oči jsou jako senzory, které jsou v mnoha ohledech velmi podobné kamerám. Oči jsou napojeny na centrální nervový systém a mozek pomocí optických nervů, které fungují jako vysokorychlostní informační kanály, převádí přijaté obrázky okolního světa do mentálních vjemů se všemi funkcemi včetně hloubky. Geometrie našich očí se optimalizuje podle sledované scény. Cílem této práce je se zabývat optimálním nastavením geometrie kamer pro snímání blízké scény.

Práce je rozdělena do pěti částí; první část je zaměřena na stereoskopický systém jako takový, ve druhé je text zaměřen na chyby v zobrazování 3D obrazu, ve třetí kapitole jsou popsány způsoby vyhodnocování kvality obrazu, v předposlední části je vlastní způsob nastavení jednotlivých parametrů stereoskopického systému a v poslední části textu je vyhodnocení subjektivních testů pro různá nastavení.

Nejprve je v textu uveden obecný popis stereoskopického systému. Dále bude řešeno, zda je lepší pro natáčení blízké scény použití jedné kamery se stereo objektivem nebo raději dvou kamer na stereoskopické montáži. Budou uvedeny výhody a nevýhody obou těchto způsobů stereoskopického snímání. Více prostoru bude věnováno právě dvěma kamerám na stereoskopické montáži, jelikož umožňují více možností pro nastavení různých parametrů a výsledný 3D efekt se dá snáze těmito parametry ovlivnit. Pro dvě kamery na montáži budou zkoumána různá nastavení stereobáze, konvergence os kamer a dále vlivy pozitivní a negativní paralaxe.

Dále jsou uvedeny chyby při zobrazování 3D obrazu a jak a proč je důležité se těmito chybám vyvarovat. Uvidíme, jak jednotlivá nastavení, která byla zmíněna v předchozí kapitole, vytváří různé chyby. Například, je zde rozebráno, co má za následek nesynchronní snímání kamer, nebo to je-li každá z kamer nastavena jinak. Důležitý je také způsob vyhodnocování kvality obrazu.

Při vyhodnocování kvality obrazu budou nastíněny výhody a nevýhody jak subjektivního, tak i objektivního hodnocení kvality obrazu a použití referenčního nebo bezreferenčního způsobu hodnocení kvality. Brány v úvahu budou všechny aspekty, které mohou ovlivnit výslednou kvalitu obrazu od snímacích prvků až po reprodukční techniku.

Pro vlastní nastavení stereoskopického systému je natočeno několik zkušebních záběrů s různými nastaveními. Pro lepší a snazší nastavení byl do místa, kde se budou vyskytovat natáčené objekty, umístěn předmět s ostrými vertikálními a horizontálními hranami.



Závěr je věnován vyhodnocení subjektivních testů. Natočené záběry jsou předloženy několika různým pozorovatelům, kteří podle subjektivního hodnocení kvality obrazu určí kvalitu jednotlivých zkušebních záběrů a určí, které nastavení stereoskopického systému je nejlepší pro snímání blízké scény.

## Seznam symbolů

<b>3D</b>	záběr mající šířku, výšku a hloubku
<b>MSE</b>	Mean Squared Error
<b>S3D</b>	Stereoscopic 3D - záběr pomocí dvou kamer
<b>SC</b>	Single Stimulus-Comparison
<b>SS</b>	Single Stimulus
<b>SSCQE</b>	Single Stimulus Continual Quality Evaluation
$X_{i,j}$	hodnota pixelů nezkresleného obrazu
$Y_{i,j}$	hodnota pixelů zkresleného obrazu

# 1 Stereoskopický systém

Snímání pomocí stereoskopického systému lze dvěma základními způsoby. Buď lze pomocí jen jedné kamery, na kterou se našroubuje speciální 3D objektiv (stereoobjektiv) nebo pomocí dvou kamer na speciální stereoskopické montáži. Obě tyto metody snímání 3D obrazu mají své výhody i nevýhody.

V této práci se budu více zaměřovat na snímání blízké scény pomocí dvou kamer na stereoskopické montáži, protože toto snímání umožňuje více možností v nastavení nejrůznějších parametrů a tím i ovlivnění výsledného 3D efektu.

## 1.1 Jedna kamera se stereoobjektivem

Stereoobjektivem nazýváme objektiv s dvěma integrovanými úplně stejnými objektivy vedle sebe, který je našroubován na čočku kamery.



Obr. 1.1 3D objektiv Lumix 12,5mm [5].

Na první pohled se může zdát, že natáčet scénu pomocí jedné kamery se stereo objektivem je snazší, nežli stejnou scénu natáčet dvěma kamerami na stereoskopické montáži. Do jisté míry je to pravda, nemusíme složitě nastavovat dvě kamery, ale pouze jednu. Dále nemusíme řešit nastavení vzdálenosti objektivů kamer nebo natočení jednotlivých kamer. Tyto parametry jsou na stereo objektivu pevně dané. Kvůli těmto pevně daným parametrům je použití jedné kamery se stereoobjektivem velmi omezeno. Lze snímat objekty jen v určité

vzdálenosti od kamery. Snímáním dvou obrazů na jeden snímací prvek klesá efektivní rozlišení obrazu. Naopak výhodou je, že nemusíme řešit spouštění kamer ve stejný okamžik. [1]

## 1.2 Dvě kamery na stereoskopické montáži

Stereoskopická montáž je zařízení, na kterém jsou umístěny dvě stejné kamery. Na tomto zařízení se dají snadno nastavovat různé parametry potřebné pro stereoskopické snímání scény. Použitím dvou kamer na montáži se nabízí mnohem více možností v nastavení parametrů, ale také je takovéto nastavování mnohem složitější. Nastavení jednotlivých parametrů bude popsáno níže.

### 1.2.1 Souprava se zrcadlem

Jedna z možností jak snímat objekty pomocí dvou kamer na stereoskopické montáži, je použití tzv. soupravy se zrcadlem. Souprava se zrcadlem nabízí svobodu v kompletním nastavení všech parametrů, což ji staví do pozice univerzálního nástroje.

Pro soupravu se zrcadlem jsou možné dvě konfigurace; jedna kamera je stále v přímém směru ke snímanému objektu, ale druhá kamera může být připevněna buď svisle shora nebo zdola. Jakou montáž zvolíme závisí na mnoha okolnostech. Montáž shora se častěji používá pro filmové záběry do kin a montáž zdola spíše pro účely televize, ale není to vždy pravidlem. [1]

#### **Výhody horní montáže druhé kamery:**

- Možnost použití větších kamer
- Snazší přístup k jednotlivým nastavením
- Snadnější posouvání, jelikož je těžiště více vzadu
- Větší volnost pohybu při natáčení s menším úhlem
- Možnost umístění kamer při natáčení blízko k zemi



Obr. 1.2 Ukázka soustavy se zrcadlem v montáži druhé kamery shora [6].

#### Výhody dolní montáže druhé kamery:

- Méně blokovaný výhled pro diváky za kamerou
- Nižší těžiště
- Snadnější manipulace při montáži na rameni nebo steadicamu
- Lepší ochrana zrcadla proti prachu a poškrábání
- Méně parazitních odrazů v zrcadle



Obr. 1.3 Ukázka soustavy se zrcadlem v montáži druhé kamery zdola [7].

Nejdůležitější složkou takovéto soupravy je zrcadlo. Polopropustné zrcadlo odráží scénu do svislé kamery a zároveň umožňuje horizontální kameře vidět skrz zrcadlo. Výběr takového

zrcadla je vždy kompromis. Zrcadlo musí být silné, nevibrovat a musí být odolné vůči nárazům. Například silné zrcadlo je odolné vůči vibracím, ale více narušuje geometrii obrazu. Naopak čelně odrážející zrcadlo zabrání dvojitým odrazům, ale je velice náchylné na poškrábání. Využívají se částečně transparentní zrcadla, kdy 50% světla prochází v přímém směru a zbývajících 50% se odrazí o 90° k ose dopadu. [1]

Vzdálenost kamer neboli interaxial může být až nulová, takže souprava se zrcadlem je vhodná pro natáčení blízkých objektů.

### 1.2.2 Paralelní souprava

Paralelní soupravy pokrývají širokou škálu produktů od obyčejných pro domácí využití až po nejprofesionálnější využití. Některé takovéto soupravy jsou motorizované a umožňují vzdálené ovládání stereoskopických parametrů a někdy také samotné ovládání funkcí kamer jako zoom, clonu a fokus. Níže jsou popsány jednotlivé parametry takovéto soustavy.



Obr. 1.4 Paralelní souprava na stereoskopické montáži [8].

### 1.3 Parametry paralelní soupravy

V této kapitole budou podrobně popsány jednotlivé parametry paralelní soustavy a jejich vliv na výsledný 3D efekt.

### 1.3.1 Stereobáze

Vzdálenost mezi objektivy levé a pravé kamery se nazývá stereobáze nebo také někdy interaxial. Pomocí této vzdálenosti jsme schopni dynamicky zvyšovat, anebo snižovat hloubku scény.

Nejčastější nastavení stereobáze je přibližně 6-7 cm, což je průměrná vzdálenost očí dospělého člověka. Toto nastavení stereobáze se nazývá ortho-stereo. Bude-li vzdálenost objektivů kamer menší než 6-7 cm, mluvíme o tzv. hypo-stereu a naopak nastavením větší stereobáze mluvíme o tzv. hyper-stereu. Můžeme pak říci, že slon může vnímat větší hloubku scény nežli člověk a člověk zase vnímá větší hloubku scény nežli myš. To je způsobeno rozdílnou vzdáleností očí. Nastavíme-li vzdálenost kamer příliš velikou, objekty v popředí budou příliš odděleny od objektů v pozadí a vznikne tzv. stereo efekt. [1]



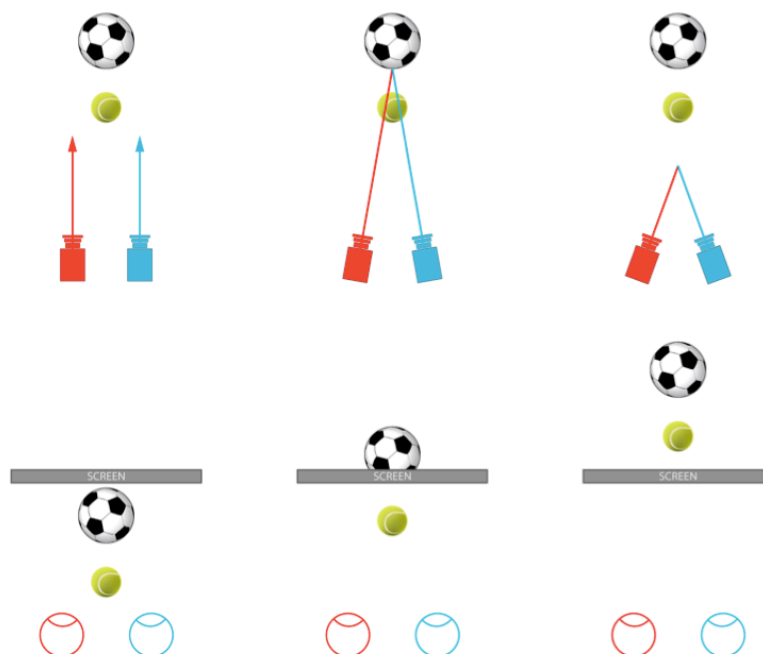
Obr. 1.5 Vliv nastavení stereobáze na zobrazení objektů na obrazovce [2].

Tento efekt má za následek, že takováto scéna je pro oko a mozek náročnější na zpracování. Pro oči je pak velice těžké si spojit objekty v popředí. Při přehnaném stereo efektu se prodlouží vzdálenosti mezi objekty stejně, jako objekty samotné. To může způsobit, že objekty vypadají nepřírodně. Například u lidského těla budou paže příliš úzké. Musíme si ale uvědomit, že stereo efekt je relativní. Hodně také závisí na velikosti obrazovky a vzdálenosti diváka od obrazovky. [3]

### 1.3.2 Konvergence os kamer

Dalším důležitým parametrem při nastavování stereoskopického systému je konvergence os kamer. Bod konvergence je bod, kde se protnou osy levé a pravé kamery. Určuje, kde se budou nacházet objekty na obrazovce vzhledem k jejich umístění na scéně. Nastavení kamer rovnoběžně vedle sebe je vhodné pro střední a veliké vzdálenosti scény. [2]

Bude-li bod konvergence přesně na snímaném objektu, bude se zdát, že je ve stejné vzdálenosti od diváka jako je rovina obrazovky, na které se promítá. Dále pak objekty před tímto bodem budou před obrazovkou a objekty za ním budou zobrazeny za rovinou obrazovky. [2]



Obr. 1.6 Vliv nastavení konvergence os kamer na zobrazení objektů na obrazovce [2].

Nastavení bodu konvergence příliš blízko z pohledu diváka má za následek, že při pozorování obrazu se oči příliš sbíhají a to je nepřírozené a i velice nepříjemné. Stejně tak, nastaví-li se bod konvergence do nekonečna, je tento rozdíl větší nežli vzdálenosti očí a to má za následek rozbíhání očí. To je také nepřírozené a velice nepříjemné. Oči se rychle unaví.

Současná manipulace se stereo bází a konvergencí os kamer nám dává kontrolu nad hloubkou umístění objektů v 3D prostoru. [3]



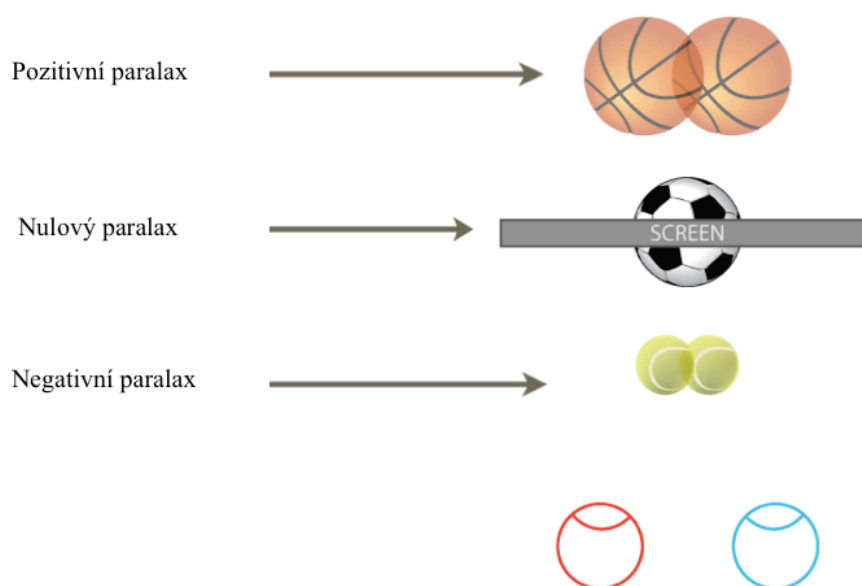
### 1.3.3 Pozitivní a negativní paralax

Paralax je rozdíl mezi polohou pravého a levého obrazu. Existují tři druhy paralaxy. Pozitivní, negativní a nulový paralax. [2]

Pozitivní paralax nastává, nachází-li se objekty za rovinou obrazovky. Jednotlivé obrazy jsou posunuty vlevo pro levé oko a vpravo pro oko pravé. [2]

Nachází-li se objekty přesně v rovině obrazovky, nazývá se tento jev nulový paralax. Jednotlivé obrazy nejsou nijak posunuty a mají stejnou pozici na obrazovce pro levé i pravé oko. [2]

Negativní paralax nastává, jsou-li objekty před rovinou obrazovky. Jednotlivé obrazy jsou opět posunuty jako u pozitivního paralaxy s jednou změnou. Objekt pro levé oko je posunut vpravo a objekt pro pravé oko je posunut vlevo. [2]



Obr. 1.7 Vliv paralaxů na zobrazení objektů na obrazovce [2].

## 2 Chyby v zobrazování 3D obrazu

Špatné nastavení výše uvedených parametrů může způsobit vznik různých chyb v zobrazování 3D obrazu. Takovéto chyby každý divák vnímá rozdílně. Někdy můžeme být překvapeni hloubkou scény, která může být přehnaná, nečekaná, nepříjemná a pro někoho nepřijatelná.

### 2.1 Nesynchronní snímání kamer

Synchronizace obou kamer má zásadní vliv na kvalitu hloubky obrazu. Nejvíce je tato chyba vidět při natáčení pohybujících se objektů. Pokud levá kamera natáčí pohybující se objekt o milisekundu před pravou, pohybový paralax vytvořený synchronizační chybou, může být pět nebo šest pixelů, které budou interpretovány jako hloubkový rozdíl několika metrů. Bez synchronizace stále můžeme dva zaznamenané záběry zarovnat o celistvý násobek obrazových snímků. Z tohoto důvodu bude maximální chyba časování polovina doby trvání snímku to je například 21 milisekund, jestliže natáčíme rychlostí 24 snímků za sekundu. Takto natočené záběry budou přijatelné pro velmi pomalu se pohybující objekty. Avšak rychlé objekty mohou způsobit následující rušivé účinky: nesprávná hloubka, zkreslení, duplicitní objekty, atd. [1]

Profesionální kamery mají tzv. Genlock vstup, který přijímá synchronizační signál z referenčního zdroje. Nejpřesnějším Genlock signálem je tzv. tri-level, neboli tři úrovně. Tento signál synchronizuje všechna připojená zařízení na úroveň snímku, řádek a pixel v řádku. Synchronizační generátor musí být nakonfigurovaný pro zvolený počet snímků za sekundu. [1]



Obr. 2.1 Synchronizační generátor Genlock pro 3D kamery [9].

Natáčet bez použití Genlocku je také možné. Jsou-li kamery nesynchronizovány, je vhodné zapnout kamery současně. Tradiční metodou je použití páru napájecích zdrojů a ty synchronizovat. Využijeme externí napájení z jediného zdroje a následně spustíme jediným spínačem napájení pro obě kamery. Máme-li synchronizovány vnitřní hodiny, musíme dbát na spuštění nahrávání na obou kamerách současně. Nejjednodušším řešením je použití infračerveného dálkového ovládání. Většina kamer má v balení dálkové ovládání, které umožňuje spustit dvě kamery současně. [1] Při tomto způsobu však synchronizace není dokonalá a jejímu vyhodnocení se věnuje další bakalářská práce. [13]

## 2.2 Porušení hran

Při prohlížení stereoskopických záběrů na malé obrazovce vzniká problém s pravým a levým okrajem obrazovky, který musíme brát v úvahu. Problém je v tom, že natáčený objekt opouští rám obrazovky a zároveň je umístěn v přední části roviny obrazovky (negativní paralax). To ničí iluzi 3D efektu, protože nás mozek informuje o tom, že v přední části roviny obrazovky se nachází nějaký objekt a ten nesmí být oříznutý hranou obrazovky. Pokud bude objekt na obrazovce jen krátkou dobu, tak nevzniká příliš velký problém, protože mozek nebude mít čas tuto skutečnost zaregistrovat. Ve skutečnosti může být povoleno objektům přesahovat rovinu obrazovky, pokud je ale objekt plně obsažen v rámu obrazovky, může snadno odvádět pozornost od příběhu. [4]



Obr. 2.2 Ukázka chyby porušením hran [2].

Porušení hran a negativní paralax je něco, co musí být zváženo, protože mohou způsobit konflikt v mozku mezi hloubkou objektu a okrajem obrazovky. To lze vyřešit postprodukcí,

ale je také možné se šetrně vyhnout účinkům negativního paralaxu umístěním snímaného objektu do středu obrazovky. [4]

### 2.3 Plovoucí okno

Další problém ve spojení s okraji obrazovky vzniká, když je objekt opět umístěn v přední části roviny obrazovky a obraz pro jedno oko začne opouštět obrazovku dříve nežli pro druhé. V tomto případě je porušen 3D efekt, jelikož bez stejné části obrazu pro levé a pravé oko žádný 3D efekt nevzniká. Jedním způsobem jak eliminovat tento problém, je změnit bod konvergence tak, aby se všechny natáčené objekty nacházely za rovinou obrazovky a tím nám vznikne pozitivní paralax. Druhým způsobem je přiblížení obrazu do středu natáčeného objektu tak, aby došlo k odstranění problému na hranici obrazovky pro levé i pravé oko. Dynamičtější řešením tohoto problému je oříznout záběr pro to oko, které vidí více z natáčeného objektu tak, aby to odpovídalo oku druhému. [4]



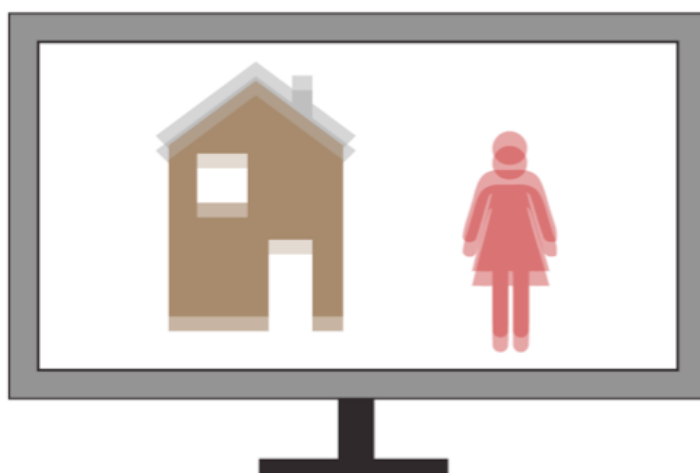
Obr. 2.3 Ukázka chyby plovoucího okna [2].

Plovoucí okno může být užitečný způsob jak zvládnout problémy s objekty nerovnoměrně opouštějícími obrazovku a způsobujícími stereoskopické selhání. Důvodem, proč objekty opouštějí obrazovku nerovnoměrně, souvisí s horizontálním posunem mezi levým a pravým obrazem. Proto vlivem horního a dolního okraje žádná z informací nemizí, zatímco při horizontálním posunu nám mohou na okrajích mizet objekty z levého nebo pravého obrazu v jiný okamžik a jedna z informací tak bude chybět. [4]

## 2.4 Další chyby v zobrazování 3D obrazu

### 2.4.1 Vertikální vychýlení

Při vertikálním vychýlení se musí naše oči pohybovat od sebe ve svislém směru pro zaostření obrazu. Tento pohyb je pro naše oči nepřirozený a může být velmi nepříjemný. Tento jev je způsoben nestejným nastavením obou kamer. Jedna kamera je vertikálně posunuta nahoru nebo dolů oproti druhé. [2]



Obr. 2.4 Ukázka vertikálního vychýlení [2].

### 2.4.2 Rotační vychýlení

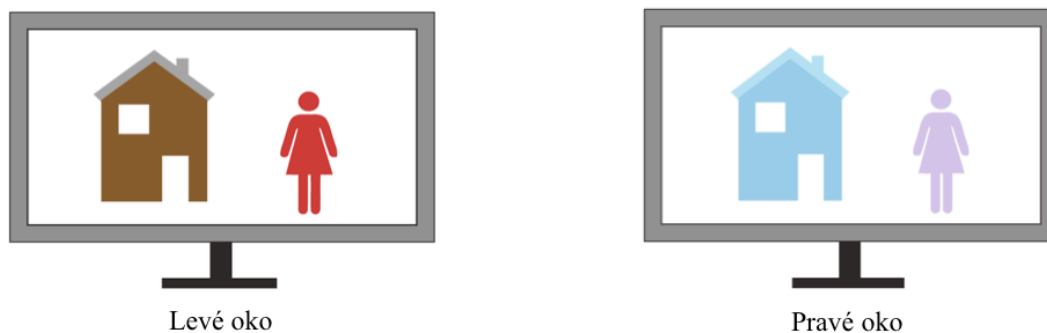
Pootočení kamery může být také jedním ze způsobů jejího posunutí. To nám zapříčiní další chybu a to rotační. Tato chyba je nejvíce patrná na čtyřech okrajích obrazu. [2]



Obr. 2.5 Ukázka rotačního vychýlení [2].

### 2.4.3 Barevné rozdíly

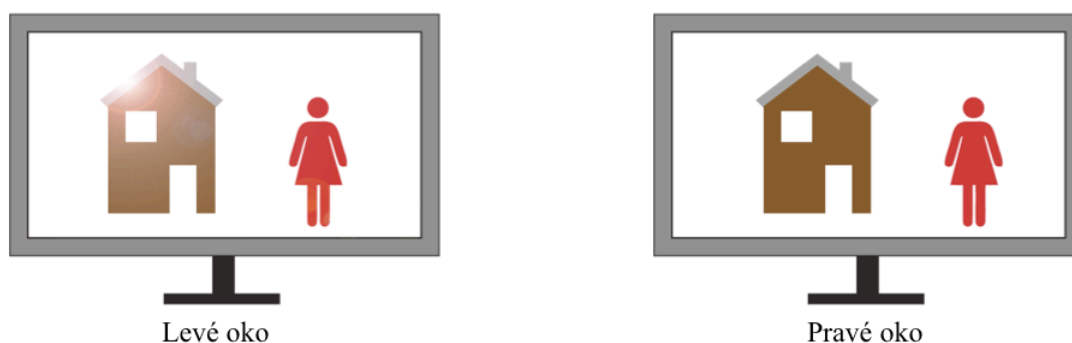
Tato chyba vzniká různým nastavením vnitřních parametrů kamer. Expozice i vyvážení barev musí být u obou kamer nastaveny úplně stejně. [2]



Obr. 2.6 Ukázka barevných rozdílů pro jednotlivé oči [2].

### 2.4.4 Rozdílnost obrazu s rušivými artefakty

Objeví-li se něco, co má vliv jen na jedno oko, způsobí, že si divák nedokáže spojit jednotlivé obrazy. Tato situace může nastat jsou-li na natáčeném objektu nějaké odrazy, odlesky, záblesky nebo pohybové artefakty. Tyto rozdíly jsou patrné, zkusí-li si divák nejprve zavřít jedno oko a potom druhé. [2]



Obr. 2.7 Ukázka rozdílů mezi pohledy očí [2].

### 2.4.5 Přeslechy

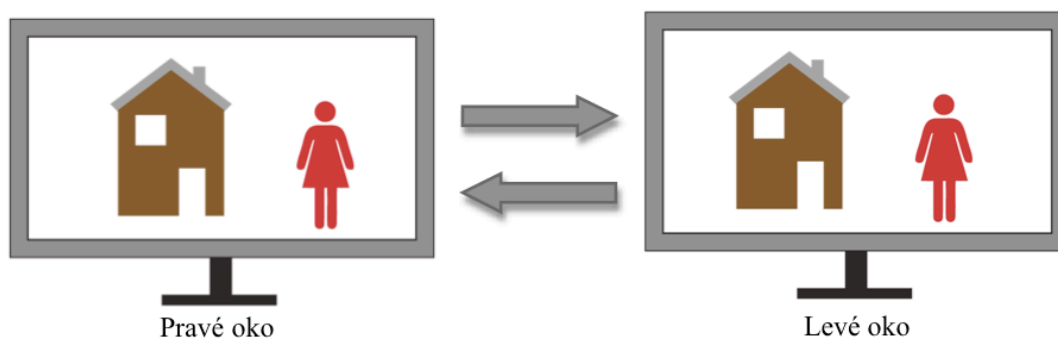
Přeslechy jsou způsobeny úniky signálů (přeslechy) mezi oběma očima. Znamená to, že část obrazu určená pro levé oko se objeví v oku pravém a naopak. Tato chyba je nejvíce patrná na obrazech s vysokým kontrastem. [2]



Obr. 2.8 Ukázka přeslechů [2].

### 2.4.6 Pseudoscopic

Známé také jako falešné nebo převrácené stereo. Obraz pro levé a pravé oko je převrácený. Co by mělo vidět levé oko vidí pravé a naopak. Při sledování takového 3D záběru pomůže převrácení brýlí vzhůru nohama. [2]



Obr. 2.9 Ukázka tzv. Pseudoscopicu [2].

### 3 Metody hodnocení kvality obrazu

Tato kapitole je zaměřena na obecné popsání jednotlivých metod pro hodnocení kvality obrazu. Jsou zde popsány metody subjektivní, které se u hodnocení kvality stereoskopického obrazu používají nejvíce. Dále je tu zmínka o metodách objektivních a o metodách používající referenční videosekvenci.

#### 3.1 Subjektivní hodnocení

Subjektivní hodnocení kvality obrazu znamená, že obraz je hodnocen z osobního hlediska konkrétní osobou. Výsledky jsou proto u každé osoby jiné. Základem subjektivního hodnocení je výběr skupiny pozorovatelů, kteří jsou současně dotazováni na kvalitu obrazu na základě srovnání hodnoceného obrazu s originálním obrazem (referenční hodnocení kvality obrazu) nebo bez něj (bezreferenční hodnocení kvality obrazu). Vyhodnocení využívá předem danou stupnici a výsledkem je pak průměrná hodnota klasifikace kvality. Toto vychází z doporučení normy ITU-R BT.500-11 [10] a ITU-R BT.2021. [11]

Výhodou je, že dokáže popsat jak je kvalita obrazu vnímána člověkem a díky tomu lze omezit informace nepostřehnutelné lidskými smysly.

Nevýhodou této metody je velká časová i finanční náročnost. V následujících podkapitolách bude uvedeno a stručně popsáno několik možných metod.

##### 3.1.1 SS (Single Stimulus)

SS je bezreferenční hodnocení kvality. Cyklus této metody probíhá následovně. Nejprve je pozorovatelům promítána šedá plocha a následně testovaná videosekvence a pak opět šedá plocha. Tento cyklus lze opakovat nanejvýš třikrát. U této metody můžeme vybírat z více druhů stupnic hodnocení. Příklad jedné stupnice je uveden v tabulce 3.1. Výstupem této metody je hodnota hodnocení (pro jednoho hodnotitele) nebo průměr hodnocení jeli více hodnotitelů. Metoda je podrobněji popsána v [10].

Tab. 3.1 Stupnice hodnocení metody Single Stimulus.

Hodnota	Kvalita
5	Excelentní
4	Dobrá
3	Průměrná
2	Podprůměrná
1	Špatná



### 3.1.2 SC (Single Stimulus-Comparison)

Tato metoda je časově nejnáročnější, jelikož pozorovatel porovnává dva obrazy nebo video sekvence, z nichž žádný není originál. Jsou porovnávány všechny video sekvence se všemi. Metoda je podrobněji popsána v [10].

Tato metoda má tři druhy hodnocení. Pozorovatel hodnotí:

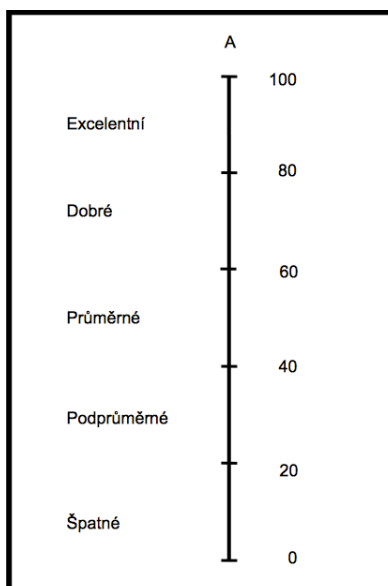
- rozdíl kvality obrazů zařadí do třídy. (viz Tab. 3.2)
- rozdíl kvality obrazů spojitě. Hodnocení odpovídá třídám podle Tab. 3.2.
- kvalitu každého videa zvlášť od 0 do 100.

Tab. 3.2 Stupnice hodnocení metody Stimulus-Comparison.

Hodnota	Popis
-3	Mnohem horší
-2	Horší
-1	Mírně horší
0	Stejně
1	Mírně lepší
2	Lepší
3	Mnohem lepší

### 3.1.3 SSCQE (Single Stimulus Continual Quality Evaluation)

Hodnocení podle SSCQE je opět bezreferenční hodnocení. Pozorovateli je promítána pouze testovaná videosekvence, jejíž kvalita je kontinuálně měněna dle průběžné úpravy sledovaných parametrů a průběžně je kvalita hodnocena posuvným jezdcem v rozmezí 0 až 100 jak je vidět na obrázku 3.1. Poloha jezdce je za 1 sekundu odečítána dvakrát a délka posunu by měla být dlouhá 10 centimetrů. Scéna je promítána pouze jedenkrát a výsledek je průměr hodnocení, které byly odečteny během jedné periody. Metoda je podrobněji popsána v [10].



Obr. 3.1 Posuvný jezdec pro hodnocení kvality obrazu.

## 3.2 Objektivní hodnocení

V této metodě je obraz hodnocen nestranně softwarovým algoritmem nebo přístrojem. Výsledky jsou proto u každého měření vždy stejné. Výhodou objektivního hodnocení je jeho kratší doba realizace než u hodnocení subjektivního.

Tyto metody se tedy snaží nahradit subjektivní hodnocení kvality obrazu. Jsou hodnoceny vzájemné rozdíly mezi originálním a hodnoceným obrazem. Tyto rozdíly jsou vyhodnoceny softwarem nebo měřicím přístrojem.

Objektivní metody hodnocení jsou velmi složité i pro normální obraz a pro stereoskopický obraz nejsou vůbec určeny, protože nedokážou zahrnout model prostorového vidění člověka. Dají se použít jen okrajově pro oddělenou analýzu levého a pravého obrazu např. pro míru degradace obrazu způsobenou kompresí. Z tohoto důvodu jim v této práci není věnováno příliš pozornosti.

### 3.2.1 MSE (Mean Squared Error)

Střední kvadratická chyba je nejpoužívanější a nejjednodušší metoda pro objektivní hodnocení kvality obrazu. Pro dvourozměrný obraz je definována takto [12]:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{i,j} - Y_{i,j})^2 \quad (3.1)$$

kde  $X_{i,j}$  a  $Y_{i,j}$  jsou hodnoty pixelů dvou různých obrázků v rámci jednoho kanálu barvé informace (např. jasová složka) o rozměrech  $M \times N$ . MSE lze považovat za měřítko kvality obrazového signálu, pokud je  $X$  bráno jako původní (nezkreslený) obrázek a  $Y$  za jeho zkreslenou verzi, u níž má být stanovena vizuální kvalita. Chybový signál, který vznikne hodnotami původního a zkresleného obrazového signálu, je pak dán výrazem  $X_{i,j} - Y_{i,j}$ .

Chceme-li použít výpočet MSE pro barevný obrázek musíme rovnici (2.1) upravit přidáním sumy sčítající chyby jednotlivých barevných složek [12].

$$MSE = \frac{1}{3MN} \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X_{i,j} - Y_{i,j})^2 \quad (3.2)$$

Největší výhodou této metody je její jednoduchost. Výpočet je velice rychlý a nenáročný. Závislosti mezi jednotlivými pixely netřeba brát v úvahu, jelikož kvadratická chyba se počítá pro každý pixel zvlášť, nezávisle na ostatních hodnotách pixelů. MSE je hojně využíváno k porovnání a optimalizaci v řadě různých aplikací pro zpracování signálů, zahrnující návrh filtrů, kompresi, třídění a restauraci signálů. Může se proto zdát, že MSE je ideálním prostředkem pro objektivní hodnocení kvality obrazu. V řadě případů však toto tvrzení neplatí, protože metoda je necitlivá na celou řadu možných degradací obrazu. [12]

## 4 Vlastní nastavení stereoskopického systému

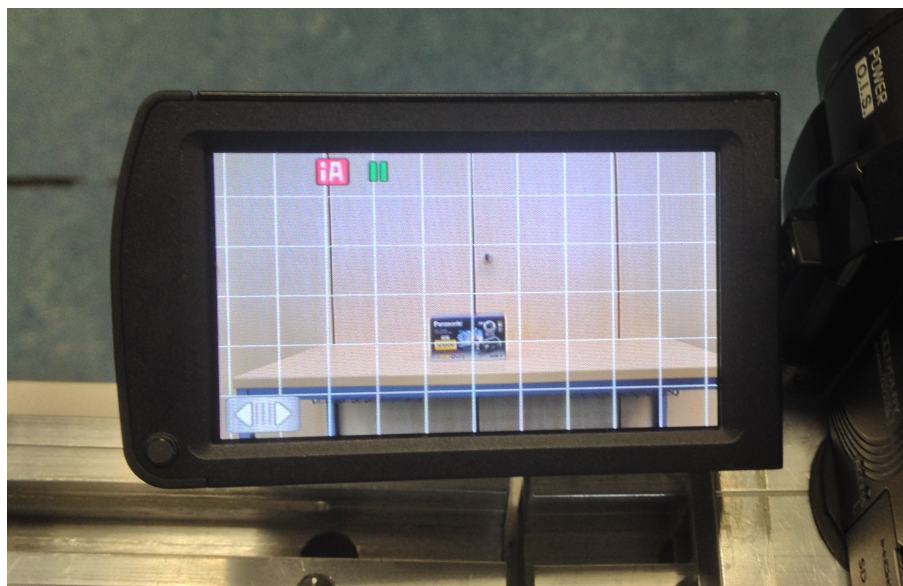
V této kapitole je podrobně popsáno vlastní nastavení stereoskopického systému. Na použité stereoskopické montáži bylo možné nastavit několik různých parametrů, které ovlivňují výsledný 3D efekt.



Obr. 4.1 Stereoskopická montáž s kamerami.

Snímaný objekt byl umístěn přibližně jeden a půl metru před stativem se stereoskopickou montáží. Bylo nastaveno několik různých parametrů stereobáze a konvergence os kamer, jak je vidět v tabulce 4.1. Jelikož má stereoskopická montáž omezené možnosti nastavení jednotlivých parametrů vzhledem k blízkosti natáčeného objektu, nacházel se bod konvergence vždy až za polohou snímaného objektu.

Vnitřní parametry kamer byly nastaveny stejně, aby nedocházelo k výše uvedeným chybám jako například k barevným rozdílům. Z důvodu vyvarování možných chyb, byl na místo, kde se bude nacházet snímaný objekt, umístěn předmět s ostrými vertikálními a horizontálními hranami. Jako tento předmět byl použit obal (krabice) jedné z kamer. Ve spojení se zapnutou mřížkou na displejích kamer, bylo zaručeno, že nedojde k vertikálnímu nebo horizontálnímu vychýlení a tedy porušení výsledného 3D efektu.



Obr. 4.2 Mřížka na displeji kamery a předmět s ostrými hranami.

Na obrázku 4.2 je vidět jak byla využita mřížka spolu s pomocným předmětem na místě natáčeného objektu.

Tab 4.1 Přehled nastavených parametrů u všech videosekvencí.

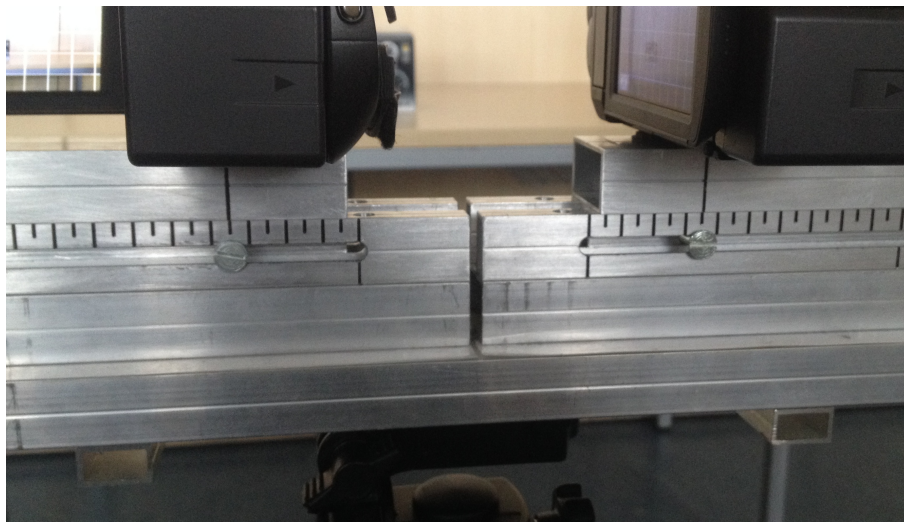
Videosekvence	Stereobáze [cm]	Úhel natočení [°]	Bod konvergence [m]
1	7	0	$\infty$
2	9	0	$\infty$
3	10	0	$\infty$
4	9,7	1	2,8
5	11,7	1,5	2,2
6	14,6	2	2,1
7	16,2	2,5	1,9
8	19,3	3	1,8
9	21,1	3,5	1,7
10	23,6	4	1,7
11	25,4	4,5	1,6
12	28,4	5	1,6

#### 4.1 Nastavení stereobáze

Jeden z parametrů, které bylo možné nastavit byla stereobáze. Tento parametr je u každé videosekvence nastaven na jinou hodnotu. Od hodnoty sedmi centimetrů (kamery jsou úplně u sebe) až k hodnotě 28,4 centimetru. Hodnota stereobáze byla nastavována posunem kamer (viz obr. 4.3). Pomocí jednoduché stupnice pak bylo snadné odečíst hodnotu stereobáze.

U prvních tří videosekvencí byly kamery nastaveny paralelně. Bod konvergence se nacházel v nekonečnu. Hodnota stereobáze byla nastavena bez ohledu na umístění

pomocného předmětu na displeji kamery. Z důvodu umístění předmětu do blízké scény a bodu konvergence do nekonečna, nebylo potřeba natáčet videosekvence pro všechna možná nastavení stereobáze, jelikož by byl výsledný 3D efekt pro zvětšující se stereobázi velice nepříjemný. Vzdálenost jednotlivých kamer od středu montáže byl u těchto prvních videosekvencí vždy stejný.



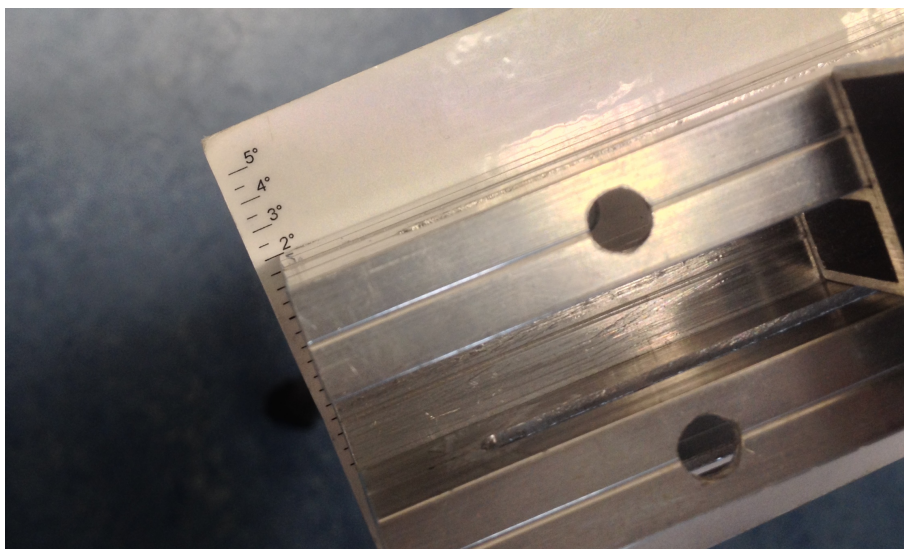
Obr. 4.3 Stupnice pro nastavení stereobáze.

U dalších videosekvencí se vzdálenost jednotlivých kamer od středu lišila. Pro tyto videosekvence bylo důležité brát ohled na umístění objektu na displejích kamer, jelikož kamery nebyly nastaveny paralelně. Osy kamer se sbíhaly vždy pod jiným úhlem pro každou videosekvenci. Umístění objektu na displejích kamer bylo na všech zbylých videosekvencích stejné. Pomocí velikosti stereobáze se korigovala vzdálenost bodu konvergence od stativu a umístění pomocného předmětu na displeji kamer.

## 4.2 Nastavení konvergence os kamer

Dalším parametrem, který bylo možné nastavit, byl bod konvergence. Tento parametr je velice důležitý z hlediska umístění snímaného objektu k rovině obrazovky. Špatným nastavením vzdálenosti bodu konvergence od stativu se dá velice snadno znepříjemnit pohled na prohlíženou videosekvenci. Celá tato problematika je popsána v podkapitole 1.3.2 Konvergence os kamer.





Obr. 4.4 Stupnice pro nastavení úhlu vychýlení a nastavení bodu konvergence.

Pomocí stupnice s úhly na obou koncích stereoskopické montáže bylo možné nastavovat tento parametr (viz obr. 4.4). Obě kamery byly vždy nastaveny na stejný úhel. Úhel byl vždy nastaven do kladných hodnot (sbíhání kamer), protože opačný jev je velice nepříjemný pro oči diváka.

Pro první tři videosekvence byl úhel nastaven na nulu. Pomocný objekt byl u první videosekvence umístěn pomocí mřížky na displeji na jedno místo. S postupným měněním úhlů a tedy zvětšováním sbíhavosti kamer bylo nutné, aby pro každou další videosekvenci byl pomocný objekt opět na stejném místě na displeji jako při první videosekvenci. Tento jev byl ovlivňován nastavením větší stereobáze a bod konvergence se pro větší úhly přibližoval blíže ke stativu.

## 5 Vyhodnocení subjektivních testů

Jako nejvhodnější subjektivní metoda pro toto testování byla vybrána metoda SS (Single Stimulus). Tato metoda je velice jednoduchá a není časově náročná. Hodnocení jednotlivých videosekvencí hodnotiteli je velice rychlé a rychlé je i vysvětlení postupu hodnocení. Dále tato metoda nepotřebuje referenční videosekvenci, která u tohoto testování nebyla k dispozici.

Hodnocení jednotlivých videosekvencí probíhalo postupně. Vždy hodnotil pouze jeden hodnotitel a to všech 12 natočených videosekvencí postupně. Videosekvence byly promítány na 3D televizoru značky Panasonic Viera. Tento televizor pro zobrazování stereoskopických videosekvencí využívá polarizačního multiplexu a proto musel mít hodnotitel nasazený aktivní polarizační 3D brýle.

Hodnotitelé měli k dispozici jednoduchou tabulku (viz tab. 5.1), podle které hodnotili jednotlivé videosekvence. Výsledná tabulka s hodnocením jednotlivých videosekvencí nebyla při testování k dispozici, aby případně neovlivnila rozhodování jednotlivých hodnotitelů. Tím bylo zaručeno, že každý zúčastněný ohodnotil jednotlivé videosekvence podle svého nejlepšího uvážení.

Tab 5.1 Použitá stupnice pro hodnocení kvality obrazu

Hodnota	Kvalita
5	Excelentní
4	Dobrá
3	Průměrná
2	Podprůměrná
1	Špatná

Tyto hodnoty byly zapisovány do tabulky a následně vyhodnoceny. V tabulce 5.2 je vidět celý přehled výsledků pro jednotlivé videosekvence od všech hodnotitelů. Dále je v tabulce uveden i aritmetický průměr pro jednotlivé videosekvence a jejich vzájemné pořadí podle tohoto průměru. Ze získaných dat bylo pro lepší přehlednost vytvořeno několik grafů, ve kterých jsou vidět závislosti různých nastavení stereoskopického systému na hodnocení kvality obrazu. K vytvoření těchto grafů byl použit program MS Excel.

Z tabulky 5.2 je zřejmé, že nejlépe hodnocenou videosekvencí byla videosekvence číslo 7. Její průměr dosáhl hodnoty 4,4 z možných 5 bodů. Nejnižší známka této videosekvence byla známka 2 a to pouze jednou. Také se v hodnocení této videosekvence objevila jedna 3



a jedna 4, zbytek hodnotitelů ohodnotil tuto videosekvenci nejvyšší známkou 5. Nastavené parametry této videosekvence byly:

- stereobáze – 16,2 cm
- úhel natočení – 2,5°
- vzdálenost bodu konvergence – 1,9 m

Tab 5.2 Přehled výsledků subjektivních testů všech videosekvencí.

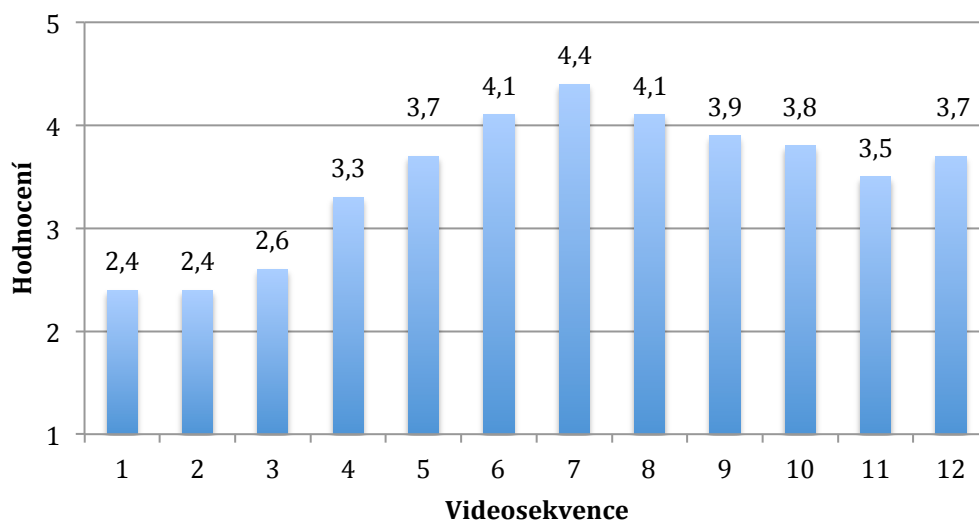
Videosekvence	Hodnotitel										Průměr	Pořadí
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	2	3	2	2	1	2	3	3	3	3	2,4	11
2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	4	2,4	11
3	3	2	2	3	3	2	4	1	2	4	2,6	10
4	3	3	3	4	3	4	4	2	4	3	3,3	9
5	2	4	4	5	4	4	5	3	4	2	3,7	6
6	4	5	4	5	4	5	3	4	4	3	4,1	2
7	4	5	5	5	5	5	2	5	5	3	4,4	1
8	5	4	5	4	4	4	2	4	5	4	4,1	2
9	3	5	4	5	3	4	2	4	5	4	3,9	4
10	4	5	4	4	3	4	3	3	4	4	3,8	5
11	5	4	5	3	2	3	3	3	4	3	3,5	8
12	5	4	5	4	4	3	2	3	4	3	3,7	6

**Proto můžeme konstatovat, že takovéto nastavení je nejlepší pro snímání blízké scény. Nebo alespoň nejlepší pro blízkou scénu, která byla vytvořena pro tuto práci.**

Další v pořadí se umístily videosekvence 6 a 7, které obě měly shodně hodnotu 4,1. Hodnocení těchto dvou videosekvencí od jednotlivých hodnotitelů bylo přibližně stejné. Parametry těchto nastavení jsou uvedeny v tabulce 4.1. Nejhuře v subjektivních testech dopadli videosekvence 1 a 2 s hodnotou 2,4. Obě tyto videosekvence byly natočeny s paralelním nastavením kamer (bod konvergence se nachází v nekonečnu). Další videosekvence natočena tímto způsobem získala průměr hodnocení o hodnotě 2,6. Z výše uvedeného vyplývá, že natáčení blízké scény s paralelním nastavením kamer není vhodné. Paralelní nastavení kamer se využívá pro střední až větší vzdálenosti. Zbylé videosekvence byly ohodnoceny v rozmezí 3,3 až 3,9. Tyto nastavení by byly vhodné jen pro určité vzdálenosti snímaného objektu od stativu.

V následující části této práce jsou uvedeny výsledky jednotlivých hodnocení v grafické podobě.

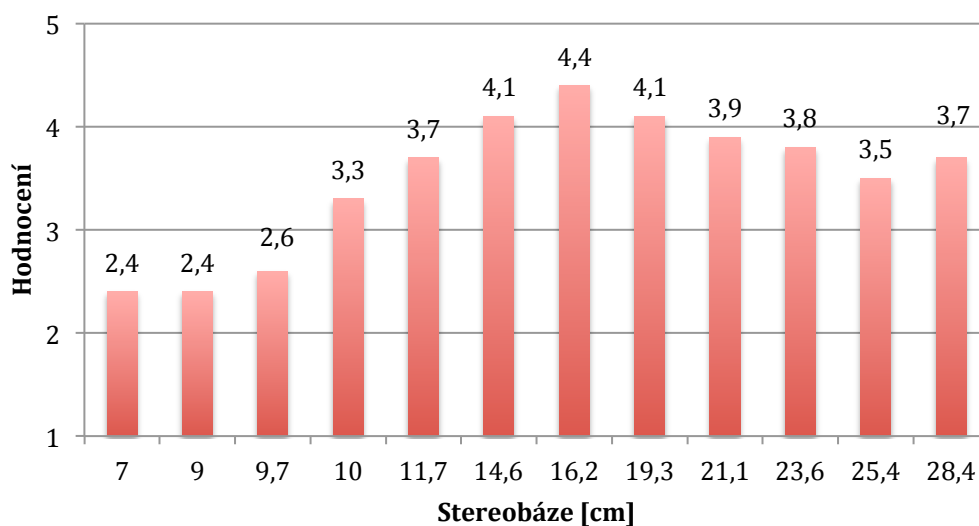
### Hodnocení jednotlivých videosekvencí



Graf 5.1 Hodnocení jednotlivých videosekvencí.

V grafu 5.1 jsou názorně ukázány jednotlivá hodnocení k patřičným videosekvencím. Je zřejmé, že opravdu nejhůře dopadly první tři videosekvence.

### Závislost hodnocení na velikosti stereobáze

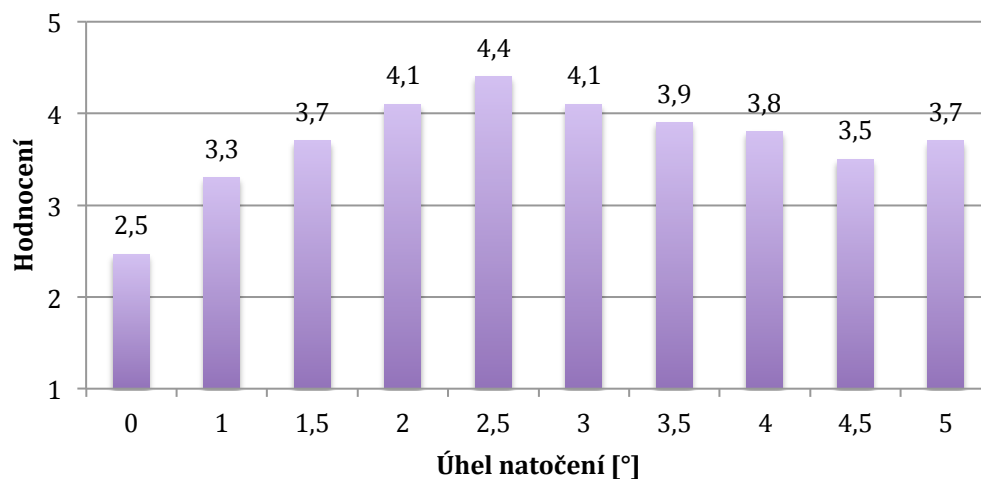


Graf 5.2 Závislost hodnocení na velikosti stereobáze.

V grafu 5.2 je patrné ohodnocení jednotlivých videosekvencí, které se liší hodnotou nastavené stereobáze. Velikost stereobáze se postupně zvyšovala. Kvalita obrazu ale není ovlivněna pouze velikostí stereobáze. Spolu s nastavením tohoto parametru byl nastavován

i úhel natočení jednotlivých kamer. Takže spíše lze konstatovat, že nejlepší kvalita obrazu je dána kombinací těchto nastavení.

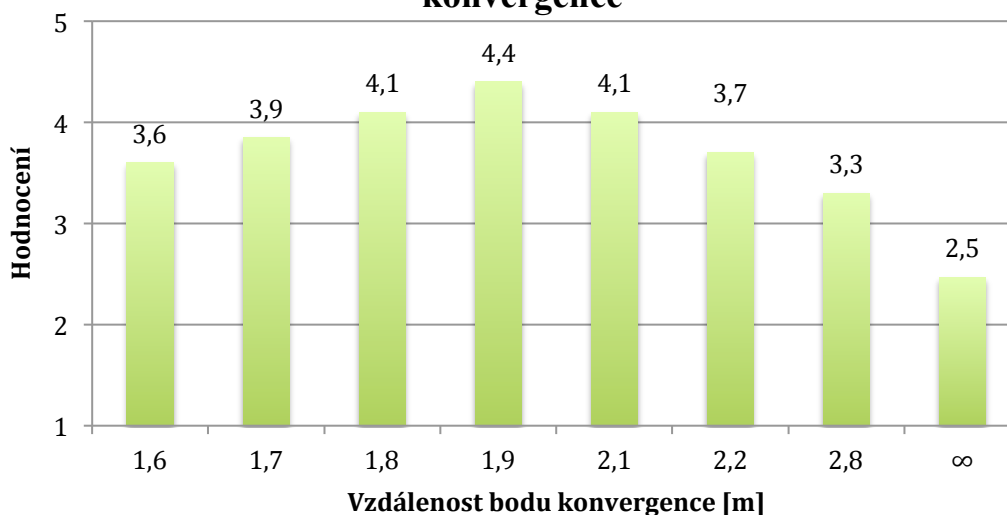
### Závislost hodnocení na velikosti úhlu natočení kamer



Graf 5.3 Závislost hodnocení na velikosti úhlu natočení kamer.

Graf 5.4 přehledně znázorňuje vliv úhlu natočení kamer na subjektivní pocity hodnotitelů. Nejhorše působily videosekvence s úhlem nastavení kamer 0°. Naopak nejlépe byly vyhodnocena videosekvence s úhlem natočení 2,5°.

### Závislost hodnocení na vzdálenosti bodu konvergence



Graf 5.4 Závislost hodnocení na vzdálenosti bodu konvergence.

Graf 5.3 neobsahuje všechny videosekvence, to znamená, že tři videosekvence se vzdáleností bodu konvergence v nekonečno jsou reprezentovány jedním sloupcem, který je jejich průměrem. Stejným způsobem jsou řešené i videosekvence 9, 10 a také 11 a 12. U těchto videosekvencí je tato vzdálenost bodu konvergence také totožná.

## 6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit hodnoty pro nejlepší nastavení stereoskopického systému ke snímání blízké scény. Blízkou scénou rozumíme v tomto případě vzdálenost 1,5 m snímaného objektu od kamer. Jako stereoskopický systém byla použita paralelní montáž dvou kamer. Na této montáži se měnili jednotlivé parametry, čímž byl ovlivňován výsledný 3D efekt. K měření byly využity subjektivní metody hodnocení kvality obrazu. Hodnotitelé (diváci) hodnotili podle předložené stupnice. Hodnotili jak na ně promítaná videosekvence působí, případně není-li sledování takovéto videosekvence nepříjemné pro jejich oči.

Subjektivními testy bylo zjištěno že nejlépe byla ohodnocena videosekvence č. 7, která nejlépe působila na smysly jednotlivých diváků. Nastavené parametry této videosekvence byly:

- stereobáze – 16,2 cm
- úhel natočení – 2,5°
- vzdálenost bodu konvergence – 1,9 m

Je patrné, že s rostoucí velikostí stereobáze se zvyšovala kvalita obrazu. To je pravda, ale jen do určité míry, od hodnoty stereobáze přibližně 16 cm, kvalita obrazu podle subjektivních testů začala klesat.

Hodnocení kvality obrazu v závislosti na úhlu natočení má obdobný průběh. Na diváky nejlépe působila videosekvence pořízená s nastavením úhlu 2,5°. Budeme-li úhel 2,5° brát jako optimální, pak lze konstatovat, že jeho zvyšování mělo menší vliv na zhoršování kvality obrazu, nežli jeho snižování.

Vzdálenost bodu konvergence je dána nastavením velikosti stereobáze a úhlem natočení kamer. Vzdálenost 1,9 m byla vyhodnocena jako nejlepší. Přibližuje-li se bod konvergence ke snímanému objektu, má to menší vliv na kvalitu obrazu než jeho oddalování.

Bylo by zajímavé předložit tyto videosekvence v budoucnu více hodnotitelům a sledovat změny v příslušných tabulkách a grafech. Bylo by také vhodné natočit více videosekvencí s větší či menší vzdáleností snímaného objektu než byla použita v této práci. Lze předpokládat, že výsledky hodnocení by se lišily v závislosti na měnící se vzdálenosti snímaného objektu od stereoskopické montáže.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Michel B.: *Digital Stereoscopy*, Vydavatelství StereoscopyNews, Sprimont Belgie 2013
- [2] REEVE S. a Flock J. Basic principles of stereoscopic 3D. *Sky.com* [online]. 2010 cit. [2014-06-04]. Dostupné z: [http://www.sky.com/shop/\\_PDF/3D/Basic\\_Principles\\_of\\_Stereoscopic\\_3D\\_v1.pdf](http://www.sky.com/shop/_PDF/3D/Basic_Principles_of_Stereoscopic_3D_v1.pdf)
- [3] SHAW S. The basics of shooting stereoscopic 3D – part 2: Convergence. *3droundabout.com* [online]. 2011 cit. [2014-06-04]. Dostupné z: <http://3droundabout.com/2011/09/4908/the-basics-of-shooting-stereoscopic-3d---part-2.html>
- [4] SHAW S. The basics of shooting stereoscopic 3D – part 3: Edge violations and floating windows. *3droundabout.com* [online]. 2011 cit. [2014-06-04]. Dostupné z: <http://3droundabout.com/2011/11/5430/the-basics-of-shooting-stereoscopic-3d-part-3-edge-violations-and-floating-windows.html>
- [5] Lumix 12,5mm 3D lens. *M43photo.blogspot.cz* [online]. 2010 cit. [2014-06-04]. Dostupné z: <http://m43photo.blogspot.cz/2010/09/lumix-125mm-3d-lens.html>
- [6] Mirror rig. *Stereoscopic3d.it* [online]. 2013 cit. [2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.stereoscopic3d.it/vi-presento-il-mirror-rig/>
- [7] Mirror rig. *Av8.com.sg* [online]. 2014 cit. [2014-06-04]. Dostupné z: <http://www.av8.com.sg/home/products3/stereoscopic-3d-production-tools/3d-rigs/genus-hurricane-rig>
- [8] Parallel rig. *Info.hit-karlsruhe.de* [online]. 2009 cit. [2014-06-04]. Dostupné z: [http://info.hit-karlsruhe.de/EU4M-WS11/cmr/images/3d\\_mit\\_Kamera\\_ohne.jpg](http://info.hit-karlsruhe.de/EU4M-WS11/cmr/images/3d_mit_Kamera_ohne.jpg)
- [9] Genlock. *Realvision.ae* [online]. 2010 cit. [2014-06-04]. Dostupné z: <http://realvision.ae/blog/2010/05/importance-of-genlocking-with-tri-level-sync-for-3d-cameras/>
- [10] RECOMMENDATION ITU-R BT.500-11 - *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*. 2002.
- [11] RECOMMENDATION ITU-R BT.2021 – *Subjective methods for the assesment of stereoscopic 3DTV systems*, 2012.
- [12] ŠIMEK, J. *Využití pokročilých objektivních kritérií hodnocení při kompresi obrazu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Malý
- [13] BERAN, L. *Měření synchronizace stereoskopických kamer*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2014. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ivo Veřtát, Ph.D

## **Přílohy**

### **Příloha A – DVD**

