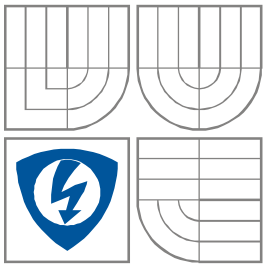


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

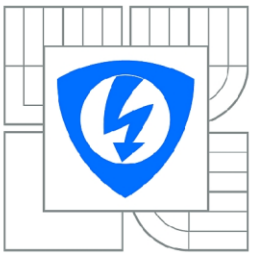
BINOKULÁRNÍ VIDĚNÍ
BINOCULAR VISION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Joshua Janů
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Petr Fedra
SUPERVISOR

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Biomedicínská technika a bioinformatika

Student:	Joshua Janů	***ID:***	119714
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Binokulární vidění

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte fyziologii binokulárního vidění pro získání prostorového vjemu z dvourozměrných obrázků pomocí pasivních a aktivních brýlí. Navrhněte snímání dynamické scény pomocí dvojice identických videorekordérů k získání kvalitních dat na výrobu stereoskopického videozáznamu.
Realizujte snímání dynamické scény, vyberte vhodnou metodu a zpracujte získaná data v programu pro střih a úpravu videa. Proveďte subjektivní hodnocení prostorového vjemu ve skupině pozorovatelů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GANONG, W. F. Přehled lékařské fysiologie. Praha: Nakladatelství a vydavatelství H&H, 1995.
[2] HLAVÁČ, V., ŠONKA, M. Počítačové vidění. Praha: Grada, 1992. ISBN 80-85424-67-3.

Termín zadání:	7.2.2011	***Termín odevzdání:***	27.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Petr Fedra

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku binokulárního vidění. V úvodní části popisuje fyziologii stereoskopického vidění. Následně se věnuje tzv. vodítkům hloubky, které pomáhají navodit prostorový vjem ze sledované scény. Dále jsou v této práci popsány metody stereoskopických projekcí a možnosti navození prostorového vjemu z obrazu. Součástí práce je též pořízení stereoskopického záznamu scény a jeho následná projekce s využitím techniky anaglyf. Na základě hodnocení pořízeného záznamu skupinou pozorovatelů je popsán vliv anaglyfu na informace obsažené v obrazu.

Klíčová slova

binokulární vidění, stereoskopie, vnímání prostoru, horopter, anaglyf, barevný anaglyf

Abstract

This bachelor thesis is focused on binocular vision. The introductory section describes the physiology of stereoscopic vision. Then deals with the so-called depth guides to help induce the audio from the monitored scene. Furthermore, in this paper the method of stereoscopic projection and the possibility of inducing spatial perception of the picture. The work is also the acquisition of stereoscopic recording scene with its projections using anaglyph techniques. Based on the evaluation of the acquired group of alert observers described anaglyph effect of the information contained in the image.

Keywords

binocular vision, stereoscopic, perception of space, horopter, anaglyph, full-colour anaglyph

Bibliografická citace

JANŮ, J. Binokulární vidění: bakalářská práce. Brno: FEKT VUT v Brně, 2011. 43 s., 2 příl. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Fedra.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Binokulární vidění jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 27. května 2011 .....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Fedrovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 27. května 2011 .....
podpis autora

Obsah

č. strany

1 Úvod 7
2 Fyziologie binokulárního vidění 9
2.1 Základní charakteristika a pojmy 9
2.2 Vodítka hloubky 10
2.3 Poruchy binokulárního vidění 14
3 Technická řešení stereoskopických projekcí 15
3.1 Stereogramy 15
3.2 Techniky stereoskopické projekce 18
3.3 Srovnání jednotlivých technik 22
4 Návrh snímání dynamické scény 23
4.1 Dvojice identických videorekordérů 23
4.2 Vzájemná poloha objektivů 24
4.3 Výběr metody projekce 25
4.4 Navržení scény 26
5 Realizace záznamu a projekce scény 28
5.1 Záznamová aparatura 28
5.2 Zpracování videozáznamu 29
5.3 Realizace záznamu scén 30
5.4 Realizace projekce 33
6 Hodnocení projekce pozorovateli 34
6.1 Statistické výsledky ankety 34
6.2 Komentář 37
7 Závěr 39
8 Seznam použité literatury 40
9 Přehled vybraných použitých pojmů 42

1 Úvod

Zadáním této bakalářské práce je seznámit se s fyziologickými principy binokulárního vidění, které umožňuje získat prostorový vjem z dvojrozměrných obrazů. Následně je požadováno navrhnout a realizovat pořízení videozáznamu scény s pomocí dvojice identických videorekordérů. Pořízený stereoskopický videozáznam má být následně shlédnut pozorovateli, kteří provedou jeho subjektivní hodnocení.

Prostorové vnímání je běžně uplatňováno v přirozeném okolním prostředí. Lze však dosáhnout též při sledování specielně vytvořených rovinných projekcí za účelem navození prostorového vjemu. Tyto projekce jsou navrženy tak, aby obraz registrovaný oběma očima nesl rysy, jež jsou důležité pro vnímání prostorového uspořádání tj. hloubky obrazu. Těmito rysy jsou podněty, které se uplatňují i v případě monokulárního vidění (např. stíny, poměry velikostí), avšak nejdůležitější skutečností je to, že každému z očí je předkládán obraz, který zachycuje původní scénu z jiného úhlu. Tak je tomu totiž i v případě přímého sledování přirozené scény, neboť oči jsou od sebe v jisté vzdálenosti.

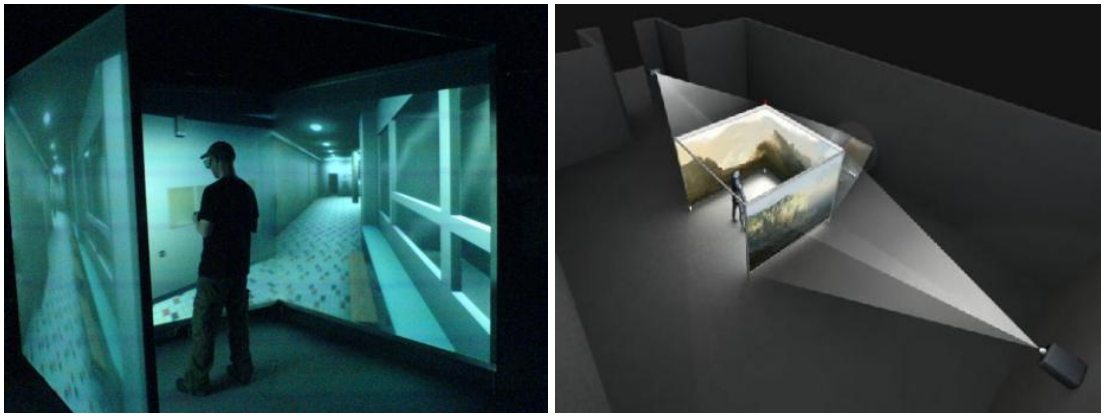
Pokud tedy chceme docílit stereoskopického vjemu při sledování projekce, je zapotřebí předložit každému oku takový (dvojrozměrný) obraz, jako by se mu dostalo v případě binokulárního sledování prostorové scény. Zde se vyskytují dva technické problémy. Jedním z nich je, jak pořídit záznam takové scény, a druhým problémem je zajištění jeho projekce. První z těchto problémů bývá často řešen použitím dvojice identických záznamových zařízení a druhý problém je možné řešit speciálními projekčními technikami s využitím aktivních či pasivních brýlí, které zajišťují separaci obrazů pro každé oko zvlášť. Podrobnějšímu řešením se v této práci dále věnuji.

Projekce s cílem vyvolání prostorového vjemu se však nemusí omezovat pouze na statický obraz a je možné s tímto účinkem vytvořit a sledovat i obraz dynamický. V rámci realizace této práce zpracuji záznam dynamické scény pro následnou projekci s využitím techniky anaglyf. Hodnocení stereoskopické projekce spočívá v posouzení ztráty barevné informace obsažené v barevném anaglyfu a ve srovnání vlivu monochromatického a barevného anaglyfu na kvalitu prostorového vjemu.

Binokulární vidění v kontextu dnešní doby

Binokulární vidění, jakožto přirozená vlastnost člověka, je uplatňováno již od nepaměti. Dle [3] pochází nejstarší dochované zprávy o jeho studiu ze starého Řecka, kdy Aristotelés popisuje diplopii (tj. dvojité vidění) okolí při zaostření na přibližující se prst. Uvědomění si toho, že člověk nevidí dvojitě, přestože má dvě oči, je vskutku významným historickým milníkem v této oblasti. Přestože mnoho významných objevů a popisů bylo provedeno již před mnoha lety, na technickém poli probíhá v této oblasti stále intenzivní vývoj. Dnes se už nesoustředí pouze na projekci dříve pořízených obrazů z reálných scén, ale i na vytváření nových stereoskopických obrazů, kupříkladu při modelování molekul [4]. Velký rozmach je též na poli virtuální reality (např. *CAVE* laboratoř ČVUT dokončena r. 2007, na obrázku č. 1), které lze s výhodou použít například při tvorbě stavebních projektů. Využití tedy zdaleka není nalézáno pouze v zábavním průmyslu (kino, počítačové hry), ale v mnoha důležitějších aplikacích. Přestože binokulární vidění je naprosto běžná a přirozená lidská vlastnost, je pro mnohé jistě uchvacujícím a zajímavým tématem, jak jsem se přesvědčil při pohovoru s lidmi z mého okolí v rámci realizace této bakalářské práce.

Není též bez zajímavosti, že dnes je na trhu pouze omezená nabídka technických prostředků, které disponují stereoskopickým záznamem. Jedním z mála je například stereoskopický fotoaparát *FUJI 3D FinePix REAL3D W3* s cenou přes deset tisíc korun. Tato situace dává prostor pro amatérská a poloprofesionální řešení záznamu stereoskopického obrazu.

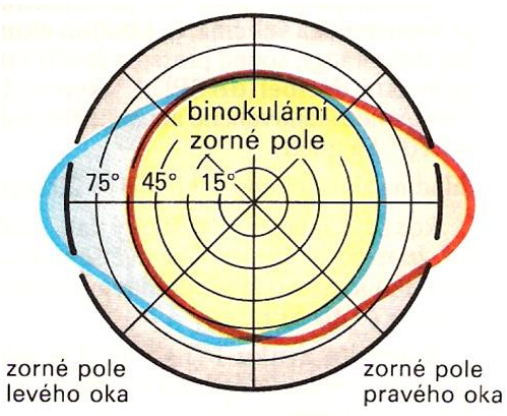


Obr. 1 – Zařízení typu CAVE na ČVUT v Praze [10].

2 Fyziologie binokulárního vidění

2.1 Základní charakteristika a pojmy

Binokulární vidění je přirozenou vlastností člověka. Tuto vlastnost má každý zdravý jedinec, který má správně vyvinuté obě oči a jehož nervová soustava z nich umožňuje správně zpracovávat signály. Při pohledu každým okem samostatně je člověk schopen vnímat obraz jednotlivě z každého oka. Při pohledu oběma očima jsou však tyto obrazy spojeny v jeden (tzv. *fúze obrazu*) a je umožněno vnímání *hloubky obrazu* [9]. Zorná pole obou očí zabírají odlišnou oblast. Tyto oblasti se ovšem překrývají. Stereoskopické vidění je umožněno právě v oblasti tohoto průniku. Tato oblast překryvu znázorněna na obrázku č. 2 se označuje jako *binokulární zorné pole* [1].



Obr. 2 – Oblast binokulárního zorného pole, zorná pole levého a pravého oka [1].

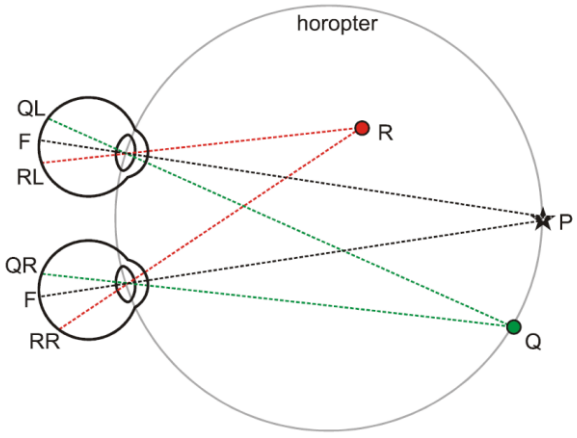
Při ostření na určitý bod v prostoru se oči natočí tak, aby se jejich zorné osy v tomto bodě protínaly (pokud k tomuto protnutí nedochází, je tento patofyziologický jev označován jako *strabismus*). Úhel, který přitom osy očí svírají, se nazývá *stereoskopická paralaxa*. Obraz nazíraného bodu se promítne do identického místa obou sítnic. Mozek pak provede fúzi obrazu a je tak vyvolán jediný optický vjem. Množina bodů v prostoru, jejichž obrazy dopadají na identická místa na sítnicích, se označuje jako *horopter* [3]. Podrobněji o něm bude pojednáno v části *Binokulární disparita* této kapitoly.

2.2 Vodítka hloubky

Dále se v této kapitole budu zabývat vodítky hloubky (z angl. *depth cues*), které napomáhají při určování vzdálenosti předmětů, resp. hloubky obrazu. Tato vodítka můžeme rozdělit do dvou skupin: *monokulární vodítka* a *binokulární vodítka*. Binokulární vodítka přitom využívají obou očí [3]. Vodítka by také bylo možné rozdělit na *fyziologická vodítka* a *psychologická vodítka*. Psychologická vodítka nejsou vrozená [4]. Všechna psychologická vodítka můžeme označit za monokulární, neboť nejsou závislá na dvojici očí. Je zřejmé, že každé vodítko se hodí pro jistý rozsah vzdáleností.

Binokulární disparita

Binokulární disparita je klíčovým binokulárním vodítkem pro prostorové vidění. Na obrázku č. 3 je vysvětlen její princip. Mějme v prostoru bod *P*, na který je zaměřen zrak a který vytváří obrazy *F* na sítnicích obou očí. Dále mějme jiný bod v prostoru, *Q*, který vytvoří taktéž obrazy na sítnicích obou očí. Tyto obrazy (*QL* a *QR*) jsou na sítnici ve stejné vzdálenosti od obrazů *F*. Všechny takové body, jejichž obrazy na sítnicích jsou stejně vzdálené, mají *nulovou disparitu* a vnímáme je ve stejné hloubce. Říkáme o nich, že leží na *horopteru*. Tvar horopteru závisí na tom, jak je náš mozek zvyklý zpracovávat informace z očí, tj. jak vnímáme vzdálenosti. Nejedná se o rovinu, ani o kulovou plochu [4]. Jde o konkávní oblou plochu. Její tvar se mění se vzdáleností ostřeného bodu - zplošťuje se s přibývající vzdáleností [3].



Obr. 3 – Princip určení hloubky obrazu, horopter [4].

Binokulární disparita je způsobena nenulovou vzdáleností mezi očima. Vzdálenost očí měříme jako vzdálenost jejich optických os. Každý člověk disponuje jinou hodnotou této interokulární separace. Může se pohybovat od 5 cm u menších až přes 8 cm u vzrostlejších jedinců. Jako dobrý průměr všech možných hodnot se bere mezinárodní standard 63,5 mm [3]. V některých dalších zdrojích se uvádí 65 mm.

Pohybová paralaxa

Pohybová paralaxa je monokulární, fyziologické vodítko. Využívá rychlosti pohybu obrazů na sítnici při pohybu jejich pozorovatele. Čím více je pozorovaný předmět vzdálený, tím pomalejší je pohyb jeho obrazu na sítnici oka pozorovatele [3]. Typickým příkladem může být pozorování krajiny z okna jedoucího vlaku či automobilu. Jistě všichni ze zkušenosti víme, že bližší předměty (patníky, sloupy osvětlení, dopravní značky) „ubíhají“ rychleji, než předměty vzdálenější (domy, krajina).

Akomodace

Lidské oko při fixaci pohledu na určitý předmět zaostří na vzdálenost, ve které se tento předmět nachází. Toto zaostření se děje prostřednictvím akomodace oční čočky, u které může být změněna její optická mohutnost změnou jejího zakřivení. Při zaostřování na bližší předměty dochází k zaoblování oční čočky a tato námaha je podvědomě vnímána. Intenzita stahu příslušných svalů nám proto poskytuje informaci též o vzdálenosti předmětu, na který je zrak zaostřen. Od jisté vzdálenosti je oko stále zaostřeno do bodu v nekonečnu, proto je toto vodítko uplatňováno u krátkých a středních vzdáleností do cca 4 metrů [4]. Akomodace je principielně monokulární vodítko.

Světlo a stín

Osvětlení pozorovaných předmětů a stíny, které tyto předměty vrhají, nám mohou poskytnout představu o jejich tvaru. Uspořádání předmětů v prostoru je pak možno vytušit vzhledem k poloze zdroje osvětlení. Vzhledem k tomu, že umístění zdroje světla předpokládáme nahoře, lze podle vržených stínů odvodit konvexní či konkávní tvar předmětů [4].

Atmosférické vlivy

Vliv atmosféry na změnu sledovaného obrazu je významný pouze ve venkovním prostředí. Navíc se začíná projevovat pouze v případě, že horizont je dosti vzdálený. Okolní

vzduch není dokonale průhledný. Jsou v něm rozptýleny malé částice (prach, kouř, částice vody,…). Tyto „nečistoty“ potom způsobují pokles kontrastu a rozostření pozorované scény, která je sledována z větší vzdálenosti. Vlivy atmosféry tedy vedou k tomu, že vzdálenější předměty jsou viděny mlhavě, zatímco předměty v popředí jsou vidět jasně. K tomuto jevu dochází obvykle až při větších vzdálenostech, avšak například v mlze jsou tyto vzdálenosti značně redukovány. Ukázka je na obrázku č. 4.

Tonalita

Pozorovatel je ze zkušenosti zvyklý na tmavé popředí a světlé pozadí. Takže tmavší předměty jakoby vystupují do popředí ve světlém pozadí. Podobné účinky zajistí popředí tvořené převážně teplými odstíny barev (červené, žluté, oranžové tóny) na barevně chladném (modré, modrozelené, fialové tóny) pozadí. Podobně lze hovořit o sytých odstínech, neboť do dálky barvy jakoby blednou, až modrají, což je způsobeno výše uvedeným atmosférickým vlivem [3].



Obr. 4 – Na fotografii hradu Pernštejn si můžeme ukázat, že vzdálenější krajina (les) je světlejší a v oparu, naproti tomu teplé barvy (červená střecha) vystupují do popředí.

Stereoskopická paralaxa

Stereoskopická paralaxa je binokulární vodítko. Jedná se o sbíhavost (konvergenci) os očí. Čím je pozorovaný předmět blíže, tím je větší konvergence očních os. K divergenci za fyziologických podmínek nedochází.

Relativní velikost

Existuje jistě mnoho předmětů, které nabývají pouze určitého rozsahu velikostí. Typickými příklady může být lidská postava, osobní automobily, budovy. Vzdálenější předměty se nám z důvodu menšího pozorovacího úhlu zdají být menší. Protože však velikost určitých předmětů známe na základě svých zkušeností, můžeme usoudit, že toto zmenšení je dáno právě vzdáleností předmětu od nás, jakožto pozorovatele, a ne skutečnou velikostí pozorovaného předmětu. Na základě toho, jak je toto relativní zmenšení markantní, můžeme usuzovat vzdálenost daného předmětu. Pokud sledujeme například osobní automobil ze vzdálenosti 50 metrů, usoudíme, že tento automobil je daleko a ne malý.

Vzájemná poloha, překrývání

Ze zkušenosti víme, že pokud nějaký objekt zakrývá druhý, pak první se nachází blíže k divákovi [3]. Toto vodítko je typickým zástupcem psychologického vodítka. Na obrázku 5 můžeme pozorovat fotografii fotbalové scény, kde všichni čtyři hráči jsou v podobné vzdálenosti od pozorovatele, neboť hráči jsou blízko u sebe, pozorovatel však s nimi na hřišti není a scénu pozoruje z větší vzdálenosti. Proto zde hraje vzájemné překrývání hráčů významnou roli pro určení jejich polohy v prostoru.



Obr. 5 – Ukázka využití vodítek: a) světlo a stín, b) vzájemná poloha – překrývání.

Gradient textur

S postupnou vzdáleností je textura čím dál tím méně patrná a výrazná. Pokud jsou jako textura použity geometrické vzory, díky lineární perspektivě se postupně zmenšují a lze usuzovat na hloubku objektu.

2.3 Poruchy binokulárního vidění

Binokulární vidění je samozřejmě vyloučeno v případě monokularity (tj. jedinec má pouze jedno oko). Avšak i v případech, kdy jedinec má oči dvě, nemusí být vždy binokulárního vidění dosaženo. Může to být například z toho důvodu, že zrakový vjem z obou očí je natolik rozdílný, že mozek již není schopen provést fúzi obrazu. Tento stav může být zapříčiněn například strabismem, tupozrakostí, silnou sférickou vadou nebo také tím, že zrakový vjem je z jednoho oka rozměrově menší než z druhého. Kromě těchto příčin může být neschopnost binokulárního vidění způsobena též špatnou funkcí mozku (způsobenou např. otravou ethanolem či methanolem).

3 Technická řešení stereoskopických projekcí

V této části se budu zabývat technickými prostředky, které umožní navodit prostorový vjem z obrazu. Budu postupovat od nejjednodušších technik ke složitějším. Plynule tak navážu na předchozí kapitolu.

3.1 Stereogramy

Stereogramy jsou obrazy, které při zvláštních metodách sledování mohou vyvolat prostorový vjem. Může se jednat o dvojici fotografií předmětů pořízených z různých úhlů, nebo o výpočetně vyrobené (vygenerované) obrazy s abstraktním pozadím, kde jsou určité body v obrazu záměrně posunuty a celá informace obsažená v takovém obrazu je k dispozici až při správném pohledu obou očí. Výpočetně vyrobené stereogramy se někdy označují též jako *autostereogramy* [5].

Fotografické stereogramy

Stereogramy jsou poměrně starou technikou. Na obrázku č. 6 níže je dvojice fotografií z roku 1901. Podobné obrazy je možné prohlížet pomocí přístroje zvaného stereograf. Jejich sledování s vyvoláním prostorového vjemu je však možné i bez přístrojového vybavení [5]. Stačí prostý pohled očima, kdy užijeme jednu z technik uvedených níže.



Obr. 6 – Dobový stereogram.

Výpočetně vytvořené stereogramy (autostereogramy)

Pro výrobu autostereogramů je možné použít například jeden z těchto počítačových programů: *Stereogram magician, 3DMiracle, Stereographic Suite, 3DMonster, Stereogram Explorer* a další.



Obr. 7 – Výpočetně vytvořený autostereogram pomocí programu 3D stereogram naprogramovaného ve flashi, dostupného z webu: *http://www.flash-gear.com/stereo/*.



Obr. 8 – Originální obraz, předloha, ze které byl autostereogram sestaven.

Techniky pozorování stereogramů

Fyziologickou funkcí očí při fixaci sledovaného obrazu je, že osy obou očí se sbíhají právě v místě tohoto předmětu. V případě stereogramů, kdy jsou tyto obrazy na odlišných prostorových pozicích je zapotřebí, aby osa každého oka procházela vždy příslušným obrazem. Toho lze dosáhnou pomocí dvojice technik, které jsou dále popsány. Tyto techniky jsou laickou veřejností často označovány za „šilhání“ aniž by mezi nimi bylo rozlišováno.

Rovnoběžné sledování

Při tomto způsobu sledování jsou osy obou očí víceméně rovnoběžné. (V závislosti na vzdálenosti mezi očima a vzdálenosti očí od obrazů). Každé oko sleduje obraz, který je blíže jeho k jeho zornému pole při přímém pohledu.

Sledování s překřížením

Sledování s překřížením využívá přehnané konvergence očních os, až dojde k tomu, že levé oko sleduje obraz, který je před pravým okem a pravé oko sleduje obraz, který je před levým okem.

3.2 Techniky stereoskopické projekce

V kapitole 3.1 jsme se mohli seznámit se stereogramy a se základními technikami pro jejich sledování. Existují ještě další metody využívající například pomoci zrcadla. Nicméně všechny tyto metody mají jisté nevýhody, především jsou však nevhodné pro skupinové sledování. V této kapitole plynule přejdu od stereografických fotografií až ke stereoskopickému videu určeného pro skupinu diváků. Hlavní myšlenka ale zůstává pořád stejná. Jsou potřeba dva mírně odlišné záznamy scény a nějaké technické zařízení, které poskytne každému oku odpovídající obraz. Většinou je tento problém řešen tak, že promítací plocha či displej, který má být sledován, obsahuje obrazy již pro obě oči, a následně se použijí speciální brýle, které oba tyto obrazy oddělí.

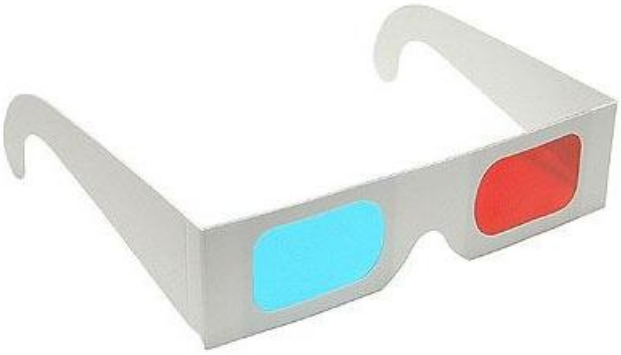
Pasivní brýle

Pasivní brýle mají skla se specielními optickými vlastnostmi. Tato skla jsou vlastně optické filtry, propouštějící pouze část světelného záření, jež dopadá na diváka. Obraz je tedy pro každé oko rozdělen na základě neměnných parametrů brýlí, a proto se také označují jako pasivní. Důležitým faktem je, že každé z těchto skel propouští právě opačnou část světelného záření, než to druhé. Jednotlivé druhy brýlí můžeme ještě dále rozdělit.

Brýle typu anaglyf

Tyto brýle využívají propustnosti různých vlnových délek světla (barev) v jejich čočkách. Nejběžnější je kombinace červeno - azurová. Levé sklo je červené, pravé azurové (modrozelené). Výroba obrazu pro sledování tímto typem brýlí tedy probíhá tak, že z obrazu pro levé oko odstraníme modrý a zelený kanál, z obrazu pro pravé oko odstraníme červený kanál. Oba výsledné obrazy aditivně smícháme přes sebe.

Pozorovatel pak vidí levým okem pouze červenou složku obrazu (červený filtr propustí jen červený kanál - tedy jen obraz pro levé oko) a pravým okem zelenou a modrou složku obrazu (modrozelený filtr propustí modrý a zelený kanál - tedy jen obraz pro pravé oko). V mozku se oba obrazy spojí a vytvoří plně barevný obraz. Bohužel díky rozdílům v barvách brýlí a zobrazovací plochy dochází k barevným posunům a každé oko dostává jen část barevné informace. Proto barevné podání není dokonalé. U černobílého obrazu a jeho anaglyfu to však nevadí [7]. Z každého stereogramu lze vyrobit anaglyf.



Obr. 10 – Brýle typu anaglyf.

Polarizační brýle

Polarizační brýle využívají poněkud pokročilejší princip. Jsou u nich použity filtry, které polarizují světlo. Rovina těchto polarizací je vzájemně pootočena o 90°. Standardní jsou polarizace 45° / 135°, méně často se vyskytují 0° / 90°. Právě polarizace 45° / 135° je používána u dnes obvyklých *IMAX* (z angl. Image MAXimum) 3D kin. Běžně se též ve filmovém průmyslu používají brýle s cirkulární polarizací. Takové mají celkem čtyři polarizační filtry. Dva lineární a dva cirkulární. Lineární jsou pro obě oči v nulovém úhlu - vodorovné. Cirkulární filtry pak kruhově polarizují jednu stranu po směru a druhou proti hodinovým ručičkám. Výhodou cirkulární polarizace je že fungují stále stejně a to i když se pootočí. Divák může i více naklonit hlavu, což u lineární polarizace způsobuje značně problémy. (Nakloněním hlavy o 45° je porušena separace obrazu a postupným nakloněním až o 90° dojde k prohození obrazů určených pro jednotlivé oči.)



Obr. 11 – Brýle s cirkulární polarizací, u kterých nevadí naklonění hlavy.

Obraz na projekční ploše je vytvářen dvojicí projektorů, které jsou vybaveny polarizačními filtry s příslušnou (vzájemně opačnou) polarizací. Dnes jsou na trhu dostupné již i aktivní polarizační modulátory, které se zařadí za projektor promítající snímky střídavě

pro levé a pravé oko. Polarizační modulátor vyrobený z tekutých krystalů pak dokáže měnit rovinu polarizace s odpovídající (nastavitelnou) frekvencí např. polarizační modulátor *DepthQ*® s frekvencí až 400 Hz [7]. Použití polarizačního modulátoru kombinuje výhody metod využívající pasivní a aktivní brýle, o kterých bude dále pojednáno. Těmito výhodami je především potřeba pouze jednoho projektoru, který ovšem musí být schopen promítání s vyšší frekvencí. Jako minimum berme 120 Hz pro zachování frekvence 60 Hz na každé oko, další výhodou je možnost použití pasivních brýlí, jejichž pořizovací cena je nižší a není nutné je časově synchronizovat [8].

Při odrazu polarizovaného světla od běžného promítacího plátna dochází k jeho depolarizaci. Tento jev je samozřejmě nežádoucí a je nutné jej eliminovat. Jednoduchým pokusem, který jsem provedl, bylo zjištěno, že v případě dopadu polarizovaného světla na konvenční projekční plátno (povrch typu D) dojde k tak výrazné depolarizaci, že jeho použití pro tento účel je vyloučeno. Některé materiály však polarizaci odraženého světla od jejich povrchu zachovávají. Jsou to především kovy. Dle [6] připadá v úvahu použití aluminiové folie z její matné strany. Její volba je doporučována, neboť kvalita obrazu je dobrá a zároveň je eliminován odlesk lamp projektorů, který je nepříjemný při užití pozinkovaného plechu. Jako nevýhoda je však uveden menší pozorovací úhel – cca 30° [8].

Aktivní brýle

Optické vlastnosti aktivních brýlí nejsou v čase stálé. Systém je založen na technologii vysílání obrazu s dvojnásobnou snímkovou frekvencí, kdy jsou prokládány střídavě snímky pro levé a pravé oko. Brýle pak s potřebnou frekvencí zatemňují střídavě své levé a pravé sklo (využívají k tomu technologie tekutých krystalů). Tato frekvence je získána synchronizací s projekčním zařízením. Této metody využívají kina *IMAX SOLIDO,* kdy je mezi filtry umístěn průzor s přijímačem zajišťujícím synchronizaci, jeho zakrytím vyrušíme prostorový efekt scény. Tato metoda je výhodně využívána pro domácí stereosestavy, jelikož není potřeba speciálního plátna a je možné obraz prezentovat i na širokoúhlé televizi či PC monitoru [12].

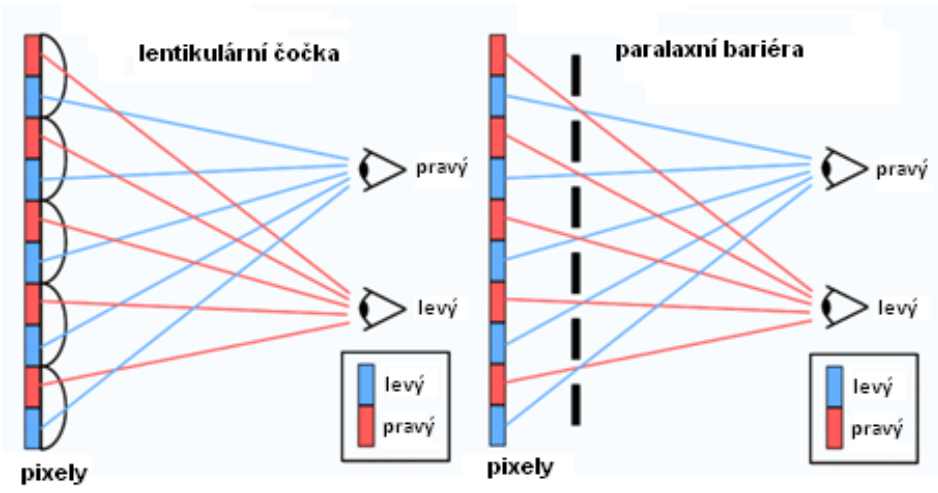


Obr. 12 – Aktivní brýle Samsung nesoucí označení SSG-2200.

Autostereoskopický monitor

V poslední době je výzkum zaměřen na vývoj obrazovek, které umožňují stereoskopickou projekci i bez použití jakýchkoli brýlí. I v této oblasti již došlo k jistému pokroku a tak můžeme rozlišit obrazovky, které je možné sledovat pouze z jednoho místa a na obrazovky, které pomocí kamery rozpoznávající a sledující umístění očí pozorovatele (pozorovatelů) mění vlastnosti své projekce, tak, že obraz je možné sledovat z více míst. Výhodou podobného řešení je přínos pro všechny, kterým používání brýlí vadí, např. z toho důvodu, že již používají jedny brýle dioptrické [5]. Funkce autostereoskopického monitoru je znázorněna na obrázku 13.

Princip je založen na užití speciální masky - fólie umístěné před používaný flat panel. Jako masku používáme buď lentikulární čočku, případně paralaxní bariéru, ta přesměruje svislé pixelové sloupce jiným směrem, kdy přesměrovává vždy jinak sudý a lichý sloupec pixelů, tedy obraz pro pravé a levé oko. Existuje i jiný princip vyvinutý německou firmou v roce 2003 využívající interferenčních filtrů zvaný *Infitec* (Interference FIlter TEChnology) [12].



Obr. 13 - Autostereoskopický monitor s lenticulární čočkou a paralaxní bariérou [13].

3.3 Srovnání jednotlivých technik

Mezi hlavní výhody pasivních brýlí patří nižší pořizovací cena, oproti brýlím aktivním. To znamená, že dovolují masové sledování projekční plochy (např. moderní 3D kina). Dále zde odpadá nutnost časové synchronizace a s tím související spojení s projekčním zařízením. Na trhu jsou dnes již aktivní brýle s bezdrátovou komunikací, nicméně jejich cena je pochopitelně ještě vyšší. Pokud bychom srovnávali kvalitu obrazu při projekcích využívající anaglyf nebo polarizaci, je zřejmé, že lepší kvalitu nám poskytne metoda využívající dvou rozdílných polarizací, neboť anaglyf způsobuje barevné zkreslení a navíc do mozku přichází dva zcela odlišně zbarvené vjemy. Výhodou anaglyfu je, že nevyžaduje zvláštní projekční vybavení a též snadné šíření záznamu, shodné s klasickým videozáznamem [5].

Metoda	**Barevná informace**	**Rozlišení obrazu**	**Vhodné pro projekci**	**Zobrazení na monitoru**	**Počet diváků**	**Náklady**
Anaglyph	kompletní ztráta	střední	ano	ano	vysoký	velmi nízké
Aktivní zobrazení	plná	vysoké	ano	ano (ne LCD)	omezený	vyšší
Pasivní zobrazení	plná	vysoké	ano	ne	vysoký	střední
Autostereoskopický monitor	plná	střední	ne	ano	velmi omezený	vyšší

Tab. 1 – Srovnání jednotlivých stereoskopických metod projekce [14].

V tabulce je vidět, že některé stereoskopické metody jsou vhodnější na různých místech. Například pasivní metoda se nejvíce hodí pro projekce s vyšším počtem diváků - např. 3D kino, větší firemní prezentace. Aktivní metoda je vhodnější pro menší skupinu, nebo pro domácí využití např. pro hraní 3D her na PC a autostereoskopický monitor obdobně. U něj je dokonce dobré využití v reklamě, při výstavách a exhibicích. [14].

4 Návrh snímání dynamické scény

Z informací z kapitoly fyziologie binokulárního vidění je zřejmé, že pro napodobení obrazového vjemu z přirozeného prostředí je zapotřebí dvojice obrazů. V předešlé kapitole byly popsány techniky, jak dvojici zaznamenaných obrazů předložit očím. V této kapitole se budu zabývat tím, jak takové záznamy pořídit. Především se budu věnovat vzájemné poloze objektivů.

4.1 Dvojice identických videorekordérů

V zadání této práce stojí, že záznam má být pořízen pomocí dvojice identických videorekordérů. Tento požadavek mi nejprve přišel poněkud zbytečný, ale poté co jsem si uvědomil nároky na podobnost obou obrazů, aby z nich následně mohl být vyvolán prostorový vjem, vidím, že je to nutnost. Pokud bychom použili odlišné modely videorekordérů, mohlo by dojít k několika níže uvedeným problémům:

- neodpovídající si kvality obrazu,
- rozdílné barevné podání obrazu (vyvážení bíle, světlost),
- různá velikost, poměr stran a zkreslení obrazu z důvodu použití odlišných objektivů.

I v případě použití identických modelů videorekordérů se bude nutné vypořádat s některými problémy. Jedním z nich je problém časové synchronizace spouště. Podobný problém též nastává při použití funkce zoom, a proto ji vůbec nedoporučuji používat a ponechat na minimální hodnotě u obou videorekordérů. Nejlepší volbou se jeví dvojice kompaktních digitálních fotoaparátů s možností záznamu kvalitního videa, jejichž rozměry a hmotnost dovolí uchycení na držák v požadovaném rozestupu. Bylo by přitom vhodné, aby tyto kamery měly možnost základního manuálního nastavení (zejména vyvážení bílé barvy). S výhodou se též využije digitálního záznamu a ukládání dat na paměťovou kartu, neboť další softwarové zpracování bude realizováno na osobním počítači a digitalizace by stejně následovala.

4.2 Vzájemná poloha objektivů

Vertikální paralaxa

Vertikální paralaxa, která způsobuje vzájemné posunutí obrazů ve vertikální ose, nepomáhá zprostředkovat prostorový vjem a způsobuje únavu očí z toho, že nemohou správně zaostřit. Výsledkem nemožnosti korektně zaostřit mohou být bolesti hlavy [5]. Vertikální paralaxa totiž způsobuje posunutí obou obrazů ve vertikálním směru. Výsledný obraz je pak dvojitý, což je popisováno jako „*crosstalk*“ nebo „*ghosting*“ – pravé oko vidí část obrazu určeného pro levé oko a naopak [12].

V kapitole zabývající se fyziologií bylo též řečeno, že oční osy konvergují a protínají se v místě pozorovaného objektu. Divergentní paralaxa os objektivů videorekordérů (osy objektivů natočené od sebe) nemá opodstatnění a nepoužívá se [3] [5]. Může se tedy zdát, že by bylo vhodné zvolit takovou horizontální paralaxu, jakou by fyziologicky zaujaly naše oči. Pojďme si však jednotlivé možnosti konvergence a jejich důsledky blíže rozebrat.

Osy objektivů natočené k sobě (*toe-in method*)

Použitím této metody se může docílit zajímavého efektu, kdy některé zobrazované předměty se při pozorování jeví, jakoby vystupovaly před rovinu promítací plochy. Problém nastane, pokud je takovýto předmět situován na okraji záběru. Navíc i zde dochází k vytvoření vertikální paralaxy, která sice může být v závislosti na velikosti paralaxy objektivů snesitelná, nicméně přeci jenom způsobuje další komplikace [5]. Vertikální paralaxa vzniká proto, že snímače (CCD, film) jsou rovinné, kdežto sítnice je zakřivená a proto se u ní tento negativní vliv na rozdíl od snímačů neobjeví, přestože osy očí fyziologicky konvergují [3].

Osy objektivů rovnoběžné (*parallel axes method*)

Volba této metody je obecně nejvhodnější. Nevzniká při ní vertikální paralaxa [12] [3]. Dá se tak docílit stavu, kdy celá pozorovaná scéna se jeví za rovinou projekční plochy tj. stereoskopického okna. Nedojde potom k problémům, kdy by například objekty vystupující před okno byly řezány (zakryty) rámem okna. Zkušenost nám totiž říká, že zakryté těleso (vystupující objekt) nemůže být blíž než to, které ho zakrývá (rám okna). Tento konflikt by vedl až k potlačení prostorového vjemu. Nesmíme zapomenout, že oko ostří (akomoduje) vždy na displej, ale

konverguje podle paralaxy v obraze! Naproti tomu v realitě oko konverguje na ostřený bod. Tento vztah akomodace a konvergence se děje mimovolně. Tím se vnímání prostoru ze stereoskopického displeje zásadně liší od způsobu, jakým vnímáme okolní prostředí. Při sledování stereoskopického obrazu tedy oční svaly musí pracovat jinak, než jsou zvyklé, což může vést až k nepohodlí diváka (bolesti očí, hlavy). Nepohodlí roste s rozdílem mezi zaostřením a konvergencí. Rozbití konvergence a akomodace klesá s pozorovací vzdáleností. Zřejmě oku nevadí při ostření na vzdálenější displej (než je třeba obrazovka počítače) ani velké hodnoty paralaxy. Svaly zajišťující akomodaci pracují v menší míře než nablízko, takže konvergence nezpůsobuje divákovi potíže [3].

Pokud při této metodě jeden videorekordér posuneme, dostaneme tak obraz, který bude identický s obrazem z druhého videorekordéru. Právě za účelem co nejmenší vertikální paralaxy jsem se rozhodl užít tuto metodu.

Vzdálenost objektivů

Posledním problémem, který tedy zbývá vyřešit je zvolení vhodné vzdálenosti obou kamer, respektive jejich objektivů. Pospíšil se ve své práci [12] uvádí jako vhodnou vzdálenost 1/30 vzdálenosti nejbližšího objektu ve snímané scéně. Dále udává, že jedinci, kteří používají dioptrické brýle, preferují spíše ještě větší poměr, cca 1/50. Podobnou vzdálenost uvádí i Čížek [3] a označuje ji za bezpečnou vzdálenost. Vzhledem k rozměrům běžných videorekordérů proto zvolím nejmenší možnou vzdálenost.

Vzhledem k nárokům na paralaxu a vzdálenost os objektivů videorekordérů bude třeba najít způsob vhodného pevného uchycení obou videorekordérů, které by je dále umožnilo umístit na stativ.

4.3 Výběr metody projekce

Před vlastním návrhem scény bylo zapotřebí zvolit metodu projekce a způsob zpracování dat. Od použité projekční metody se totiž odvíjejí možné parametry, na které se zaměřím v rámci hodnocení prostorového vjemu a kterým je nutné snímanou scénu přizpůsobit. Po obeznámení se s jednotlivými technikami stereoskopických projekcí a zpracování videozáznamů jsem se rozhodl pro realizaci projekce s využitím pasivních brýlí typu anaglyf. Tato stereoskopická projekce vyžaduje nejnižší finanční náklady, možnost skupinového pozorování, uložení a distribuci záznamu v běžném datovém formátu. Další

rozhodující výhodou je potřebnost pouze jediného projekčního zařízení, přičemž se může jednat o klasický monitor či dataprojektor, tj. s běžnou pracovní frekvencí. Navíc zde odpadá nutnost synchronizace přehrávání dvojice videozáznamů a instalace projekčních zařízení tak, aby došlo k přesnému překrytí promítacích ploch.

4.4 Navržení scény

Podle předběžně provedených pokusů při sestavování aparatury je vhodné pro zvýraznění prostorového efektu ponechat záznamovou aparaturu v klidu (tj. nepohybovat s ní). Pohyb by mohl způsobit chaotické vnímání stereoskopického okna či problém se synchronizací dvojící záznamů zapříčiněný použitím ztrátové komprese dat. Vzhledem k požadavku na poměr vzdálenosti objektivů ke vzdálenosti nejbližšího objektu ve scéně, bude vhodné snímat scénu situovanou v prostoru přibližně velikosti místnosti. To zaručí vzdálenost nejbližšího objektu ve scéně v řádu jednotek metrů.

Anaglyf může být barevný, ale též pouze černobílý. Černobílý anaglyf má svůj historický původ, který byl dán způsobem jeho výroby [15]. Moderní výpočetní technika již však umožňuje i výrobu barevného anaglyfu. Pohled na obraz přes barevné filtry musí dozajista vést k jisté ztrátě barevné informace. Protože jsou u anaglyfu oba barevné filtry vzájemně aditivní, je otázkou do jaké míry dojde k rekonstrukci původních barev při sledování projekce. Rozhodl jsem se tedy, že v rámci realizace záznamu a následné projekce budu zkoumat dva prvky:

a) ztráta barevné informace při použití barevného anaglyfu
b) kvalita prostorového vjemu při barevném a monochromatickém anaglyfu

Za tímto účelem jsem navrhnul dvě níže popsané scény.

Scéna A

Pro zjištění v jaké míře ovlivní zpracování záznamu pro anaglyfovou projekci zkreslení barev, jsem navrhnul scénu, ve které jsou předkládány jednotlivé barevné papírové listy. Je užito celkem dvanáct běžných barev, která mají své jednoznačné pojmenování. Do dotazníku pro diváky (viz. příloha č. 1 této práce, scéna A) je zařazena tabulka, ve které divák uvede barvy listů v pořadí, jak je viděl.

Scéna B

Pro hodnocení kvality prostorového vjemu jsem navrhnul jednoduchou scénu situovanou v místnosti, kde je hlavním sledovaným objektem gestikulující lidská postava pohybující se po místnosti. Stejně tak jak pro scénu A, tak i pro tuto jsem navrhnul rovnoběžné umístění objektivů videorekordérů a tudíž předpokládám, že celá scéna bude za stereoskopickým oknem, na polohu objektů ve scéně a další kvalitativní parametry se dotážu v dotazníku k této scéně (viz. příloha č. 1 této práce, scéna B).

5 Realizace záznamu a projekce scény

V této kapitole popisuji realizaci záznamu a projekce scén navržených v kapitole předchozí. Nejprve bylo nutno zajistit vhodnou záznamovou aparaturu, následně provést záznam jednotlivých scén a vzniklá data zpracovat. Poté jsem mohl přistoupit k projekci pro skupinu diváků.

5.1 Záznamová aparatura

Podařilo se mi zajistit dvojici videorekordérů *Panasonic Lumix DMC-FS10*. Tato dvojice moderních digitálních videorekordérů nabízí kvalitní videozáznam s maximálním rozlišením standardu *HD* tj. 1280 x 720 obrazových bodů a snímkovací frekvencí 30 snímků za sekundu. Jedná se tedy o širokoúhlý videozáznam, který je pro stanovený účel zvlášť vhodný, neboť lépe vyplní zorné pole pozorovatele. Videozáznam je ukládán ve formátu *GTFF* (datové soubory s příponou MOV). Přístroj je vybaven slotem pro paměťové karty a tak je možné tyto soubory snadno přehrát do počítače.

Vzájemné umístění rekordérů bylo umožněno díky držáku *Manfrotto 357 PLONG*, který mi s laskavým svolením zapůjčil Biomedicínský ústav FEKT VUT. Vzhledem k rozměrům, zejména šířce, užitých videorekordérů bylo možné dosáhnout nejmenší možné objektivové vzdálenosti 100 mm, maximální možná vzdálenost byla 180 mm. Bohužel i vzhledem k relativně malé šířce videorekordérů je nejmenší možná vzdálenost větší, než je žádoucí. Ideální by bylo, kdyby se pohybovala ve fyziologickém rozsahu vzdálenosti lidských očí. Videorekordér *Panasonic DMC-FS10* disponuje ohniskovou vzdáleností 28 mm – 140 mm v závislosti na transfokaci. Pro pořízení záznamu byla zvolena nejmenší možná hodnota, tj. 28 mm. Jistou nevýhodou této aparatury je absence synchronizované spouště. Jak se však později ukázalo, mechanické spuštění záznamu u obou rekordérů zároveň nečinilo závažnější potíže. Pro snadné umístění byl použit stativ *Velbon CX 300*. Fotografie celé sestavy záznamové aparatury je na obrázku č. 14.

Přesnější zaměření obou zařízení bylo umožněno pomocí laserové vodováhy *MEISTER MLW 2*. Osou vytvořenou laserovým paprskem bylo možné nastavit požadovanou paralaxu objektivů. I přesto však s 2,7“ displeji šlo přesné umístění videorekordérů provést obtížně a velikost vertikální paralaxy bylo možné posoudit až při prohlížení záznamu na PC. Záznam musel být z tohoto důvodu několikrát opakován.



Obr. 14 – Pohled na záznamovou aparaturu.

5.2 Zpracování videozáznamu

Vzhledem ke zvolené metodě stereoskopické projekce, tj. anaglyf, bylo zapotřebí najít vhodný způsob zpracování pořízených videozáznamů. Zpracování spočívalo ve sloučení dvou videozáznamů, přičemž by na každý byl aplikován příslušný barevný filtr a následně provedena jejich fúze. Bylo tedy třeba najít vhodný software, který by toto umožnil, přičemž bylo nutné, aby byl kompatibilní s datovým formátem vstupních souborů. Jedním z programů, které výrobu anaglyfového videa umožňují, je *StereoMovie Maker v. 1.21*. Tento program bohužel nedokáže pracovat s datovým typem *GTFF* a bylo nutné provést konverzi dat. To umožnil program *WinAVI Video Converter v. 11* se kterým již zpracování dat možné bylo. Program *StereoMovie Maker v. 1.21* umožňuje vytvoření jak monochromatického tak i plně barevného anaglyfu. Dále umožňuje též barevný anaglyf typu *green – red* a *cyan – red*. Protože typ *green – red* využívá zelené a červené barvy, které nejsou přesně doplňkové a tím pádem je méně vhodný, rozhodl jsem se pro volbu *cyan – red*, ke které jsem měl k dispozici i odpovídající brýle.

5.3 Realizace záznamu scén

Záznamy navržených scén A a B, o kterých se dále zmiňuji, jsou přílohou č. 2 této práce a jsou nahrány na přiloženém datovém nosiči. Příslušnost jednotlivých souborů ke scénkám je zmíněna ve výše uvedené příloze.

Realizace scény A

V rámci scény A, tak jak již bylo zmíněno v návrhu, předkládám jednotlivé barevné listy v pořadí dle tabulky č. 2. Umístění objektivů je paralelní, v nejmenší možné vzdálenosti, tj. 100 mm.

Pořadí	Název barvy
1.	zelená
2.	červená
3.	tyrkysová
4.	šedá
5.	růžová
6.	žlutá
7.	bílá
8.	černá
9.	modrá
10.	oranžová
11.	hnědá
12.	fialová

Tab. 2 – Spektrum použitých barev ve scéně A.



Obr. 15 – Ukázka záznamu scény A – barvy.

Realizace scény B

V rámci realizace scény B jsem se rovněž stal objektem scény, gestikuluji a chodím po místnosti. Při prohlížení anaglyfovými brýlemi je zřejmý vytvořený prostorový efekt. Záznam této scény byl pomocí dříve uvedeného software zpracován pro barevnou (obr. 16) a následně i monochromatickou (obr. 17) projekci. Barevný i monochromatický záznam je součástí přílohy č. 2 této práce. Na záznamu je i zvuková stopa, která byla při projekci vypnuta, aby nerušila sledování obrazu. Taktéž i u této scény je umístění objektivů paralelní, v nejmenší možné vzdálenosti, tj. 100 mm.



Obr. 16 – Ukázka záznamu scény B barevně.



Obr. 17 – Ukázka záznamu scény B ve stupních šedé.

5.4 Realizace projekce

Diváci sledovali záznamy scén na LCD obrazovce s úhlopříčkou 17“ ze vzdálenosti 1,5 m. Tato vzdálenost byla stanovena předběžným otestováním několika jednotlivci jakožto nejvíce vhodná. Oba videozáznamy byly dvakrát přehrány, diváci vyplňovali dotazník až po prvním přehrání. Před vyplněním byly dotázání, zda rozumí všem uvedeným otázkám. Případné nejasnosti byly upřesněny. Záznam scény B byl přehráván bez zvukové stopy.

Nerealizované projekce

Původně jsem se chtěl v rámci své bakalářské práce zkoumání jiných vlastností stereoskopického obrazu. Jednou z nich bylo zjištění optimální vzdálenosti objektivů pro nejlepší prostorový vjem, druhým z nich bylo to, zda může anaglyf způsobit zdání opačného smyslu otáčení rotujícího objektu. K ověření těchto úvah jsem měl navrženu scénu, kterou jsem nasnímal. Bohužel došlo k tomu, že i nejmenší možná vzdálenost objektivů způsobovala příliš velikou horizontální paralaxu v obraze. Na obrázku č. 18 je ukázka záznamu scény s nejmenší možnou vzdáleností objektivů, tj. 100 mm, kde je sledovaným objektem rotující soška. Relativní velikost sošky byla příliš malá a obraz se při pozorování jevil jako dvojitý.



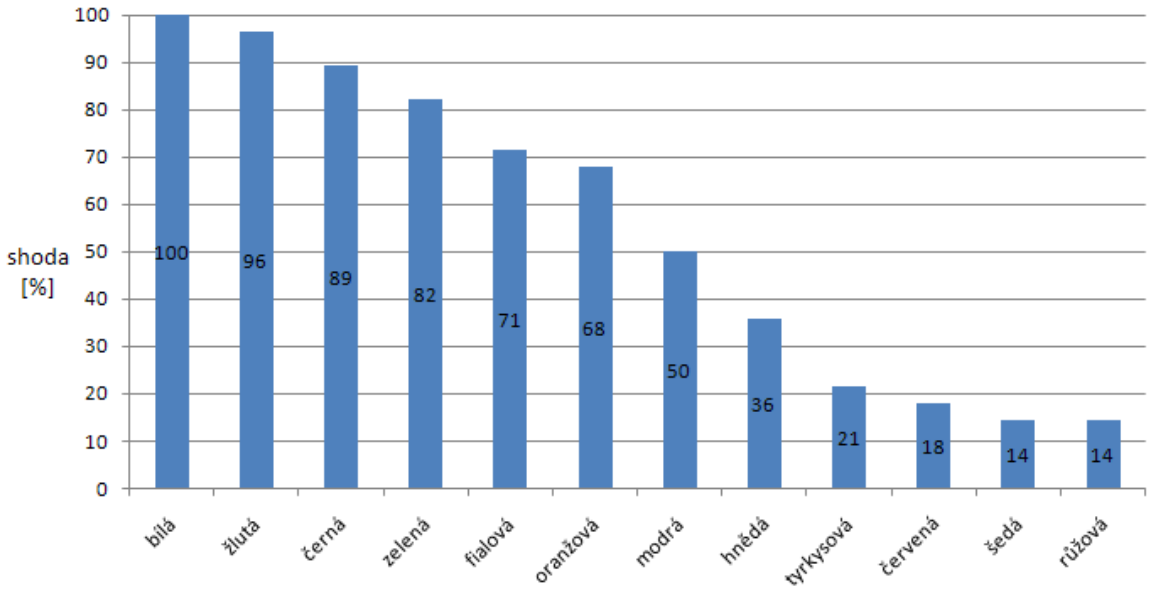
Obr. 18 – Ukázka nerealizované projekce, jejímž předmětem byl rotující předmět.

6 Hodnocení projekce pozorovateli

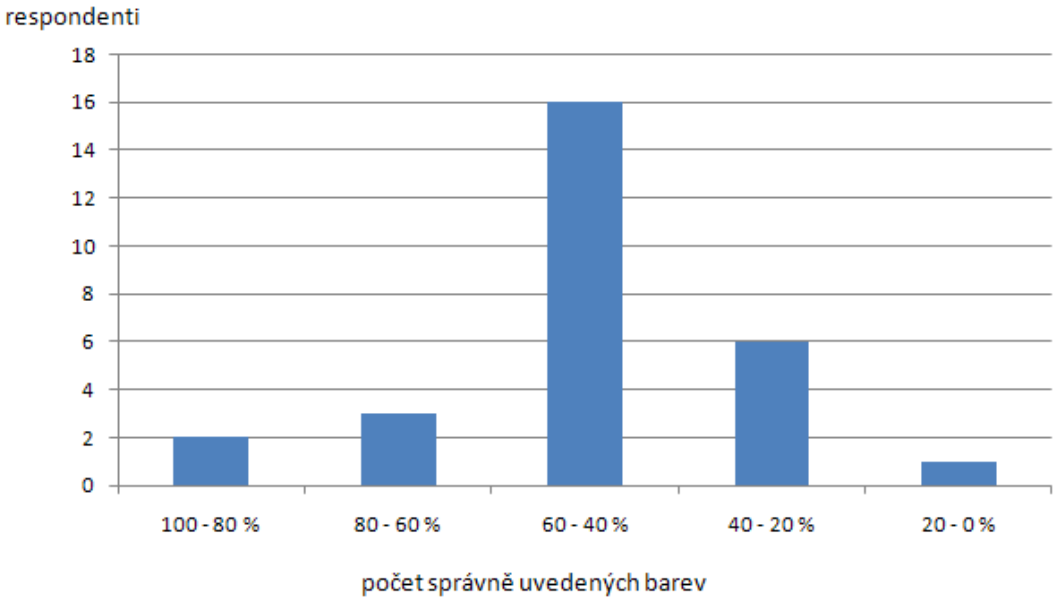
V předchozí kapitole, věnující se snímání dynamické scény, jsem zmínil prvky, na které jsem se zaměřil, a pomocí nichž je možné hodnotit prostorový vjem diváky. Realizovaný záznam byl shlédnut 28 pozorovateli. Divákům byl předložen dotazník, který je uveden v příloze č. 1 této práce. Všechny záznamy byly divákům promítnuty dvakrát za sebou a na jednotlivé anketní otázky respondenti odpovídali až při druhé projekci. Žádný z diváků neměl závažnější oční vadu (strabismus, tupozrakost), pět respondentů bylo krátkozrakých, všichni tito měli nasazeny odpovídající dioptrické brýle.

6.1 Statistické výsledky ankety

Scéna A byla navržena za účelem porovnání barevného zkreslení. Graf č. 1 ukazuje, které barvy zkreslí anaglyfová úprava obrazu více a které méně. Graf č. 2 uvádí počet respondentů, kteří určili správně počet barev v daném rozmezí.



Graf 1 – Velikost zkreslení jednotlivých barev.



Graf 2 – Počet respondentů v závislosti na míře správného určení barev.

Scéna B byla navržena za účelem zjištění, do jaké míry ovlivní užití barevného, respektive monochromatického anaglyfu kvalitu prostorové projekce. V rámci dotazníku předloženého divákům (příloha č. 1 této práce, scéna B) jsem se tázal na následující kvalitativní prvky:

a) Prostorový efekt
b) Barevné podání
c) Ostrost obrazu
d) Komfort při sledování
e) Poloha pozorovaných objektů
f) Celkový dojem

V tabulkách č. 3 až 8 uvádím odpovědi diváků na výše uvedené sledované prvky. V každé tabulce je zvláštní sloupec pro barevný a monochromatický anaglyf.

Prostorový efekt

	barevný	monochromatický
jasně patrný	19	15
patrný	7	8
nepatrný	1	3
žádný	1	2

Tab. 3 – Výsledky hodnocení prostorového efektu.

Barvy

	barevný	monochromatický
realistické	6	0
odpovídající	18	1
neodpovídající	4	27

Tab. 4 – Výsledky hodnocení barevného podání.

Ostrost obrazu

	barevný	monochromatický
velmi ostrý	4	7
ostrý	17	19
neostrý	7	2

Tab. 5 – Výsledky hodnocení ostrosti obrazu.

Komfort při sledování

	barevný	monochromatický
pohodlí	18	14
námaha	9	13
bolest	1	1

Tab. 6 – Výsledky hodnocení komfortu při sledování.

Poloha pozorovaných objektů

	barevný	monochromatický
před projekční plochou	1	1
za projekční plochou	26	25
před i za projekční plochou	1	2

Tab. 7 – Výsledky hodnocení prostorového uspořádání objektů.

Celkový dojem

	barevný	monochromatický
velmi dobrý	6	3
dobrý	18	17
špatný	4	8

Tab. 8 – Výsledky hodnocení celkového dojmu z projekce.

6.2 Komentář

Z grafu č. 1 je patrné, že jednotlivé barvy jsou při zpracování obrazu pro projekční techniku anaglyf rozdílně zkresleny. Barvu bílo, žlutou, černou a zelenou správně rozpoznalo více jak 80 % všech diváků. Z grafu č. 2 naopak vyplývá, že zatímco někteří diváci viděli správně téměř všechny barvy, někteří s jejich správným rozpoznáním mělii naopak problém. Nicméně většina diváků správně rozpoznala 40 až 60 % barev, což svědčí o tom, že zpracování obrazu pro projekci barevným anaglyfem umožňuje toto procento barevné informace zachovat. Lze předpokládat, že po určitém čase adaptace na barevné filtry v brýlích, by někteří jedinci mohli dosáhnout ještě lepšího rozpoznávání barev.

Výsledky hodnocení scény B jsou uvedeny v tabulkách. Nezjistil jsem žádný vztah mezi pohlavím, věkem a odpověďmi dotazovaných na otázky. Průměrný věk dotázaných byl 24 let, zastoupení mužů a žen bylo vyrovnané. Žádný z pěti nositelů dioptrických brýlí nepociťoval při sledování scény pohodlí. Lze to jednoduše vysvětlit tím, že mít nasazeny dvoje brýle, není pochopitelně zrovna příjemné. Co se týká prostorového efektu, komfortu při sledování a celkového dojmu, lze konstatovat, že lépe v hodnocení dopadl barevný anaglyf. Barvy u monochromatického efektu označili pochopitelně téměř všichni (27) respondenti jako

neodpovídající. Jediné hledisko, ve kterém dopadl lépe monochromatický anaglyf, byla ostrost obrazu.

Z výsledků ankety lze vyvodit jednoznačné závěry. Protože je zřejmý přínos barevného anaglyfu v zachování přibližně poloviny barevné informace, lze doporučit jeho preferování před monochromatickým anaglyfem. Taktéž lze říci, že barevný anaglyf dopadl lépe i při hodnocení celkového dojmu z projekce.

7 Závěr

V rámci této bakalářské práce se mi podařilo popsat základy problematiky binokulárního vidění především při sledování stereoskopických projekcí. Věnoval jsem příslušnou pozornost též tomu, že vnímání prostoru není závislé pouze na binokulární disparitě (tj. odlišné vnímání obrazu každým okem na základě jejich vzájemné vzdálenosti), ale na celé řadě vodítek hloubky různého typu. I v případě použití dnes nejdokonalejších metod stereoskopických projekcí se vyskytuje rozpor mezi akomodací a paralaxou, neboť lidské oči jsou zvyklé konvergovat dle vzdálenosti ostřeného bodu, avšak v případě rovinné projekční plochy musejí konvergovat dle velikosti paralaxy na této ploše. Oči jsou totiž při sledování projekce neustále zaostřeny a zaměřeny na projekční plochu.

Během realizace práce jsem se rozhodl, že se zaměřím na to, jakým způsobem ovlivňuje zpracování obrazových dat a následná stereoskopická projekce, využívající techniky anaglyfu, ztrátu barevné informace. Na základě vyhodnocení ankety jsem došel k závěrům, že u barevného anaglyfu je ztráta barevné informace 40 až 60 %. Nelze tedy tvrdit, že anaglyf způsobuje kompletní barevnou ztrátu, ani naopak to, že umožní zcela věrně zprostředkovat barevnost originální scény. Dále jsem se zaměřil na hodnocení barevného a monochromatického videozáznamu identické scény upraveného rovněž pro sledování pomocí anaglyfových brýlí. Zde jsem chtěl ověřit hypotézu, že samotná barevnost nemá zásadní vliv na kvalitu prostorového vjemu. Samotný prostorový efekt byl v případě monochromatického videozáznamu hodnocen diváky o něco hůře, než barevný. Avšak barevný videozáznam byl hodnocen lépe i v ostatních ohledech. Jako rozhodující kritéria jsem bral komfort při sledování, míru prostorového efektu a celkové hodnocení. Barevné podání bylo u monochromatického anaglyfu pochopitelně hodnoceno naprostou většinou diváků jako neodpovídající. Naopak, jediným kritériem, ve kterém dopadl lépe monochromatický anaglyf lépe, byla ostrost obrazu.

Vzhledem k tomu, že barevný anaglyf zachovává cca 50% barevné informace z původní scény a diváci jej hodnotili celkově lépe, doporučuji jej primárně používat a upřednostnit před monochromatickým zpracováním obrazu.

Realizace zadání této bakalářské práce byla pro mne velkým přínosem, neboť obohatila moje znalosti v oblasti binokulárního vidění. Rovněž realizační část byla velice zajímavá, přestože poměrně technicky náročná. S potěšením jsem se věnoval lidem z mého okolí /především respondentům ankety/, kterým se moje práce zdála atraktivní, a rád jsem je obeznámil se základy problematiky, jíž se tato práce věnuje.

8 Seznam použité literatury

[1] GANONG, W. F. Přehled lékařské fyziologie. Praha: Nakladatelství a vydavatelství H&H, 1995.

[2] HLAVÁČ, V., ŠONKA, M. Počítačové vidění. Praha: Grada, 1992.
ISBN 80-85424-67-3.

[3] ČÍŽEK, P. Prostorové zobrazování. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra informatiky a výpočetní techniky, 2005. 58 s.

[4] LAUBR, D. Stereoskopická projekce. Praha: České vysoké učení v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2006. 57 s.

[5] ŠVEC, M. Binokulární vidění a výroba anaglyfů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009, 52 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Fedra.

[6] BASTL, P. Zobrazování 3D dat. Bakalářská práce. FEKT VUT v Brně, 2009. 47 s., 3 přílohy. Vedoucí práce ing. Miloslav Richter, Ph.D.

[7] 3D polarizační modulátor [online]. 2011 [cit. 2010-05-19].
Dostupný z WWW: <http://www.depthq.com/modulator.html>.

[8] Stereofotografie: Třetí rozměr ve fotografii [online]. 2011 [cit. 2011-05-19].
Dostupný z WWW: <http://www.fotokamzici.com/aktuality/stereofotografietreti-rozmer-ve-fotografii/222/>.

[9] SIRBENAGL S., DESPOPOLOUS A. Atlas fyziologie člověka. 2. vyd. Praha: Grada Avicenum, 1993. 300-315s. ISBN 80-85623-79-X

[10] Stereoskopie – jak funguje 3D kino [online]. 2011 [cit. 2011-05-19].
Dostupný z WWW: <http://digitalne.centrum.cz/stereoskopie-jak-funguje-3d-kino/>.

[11] KRAUS, J. a kol. Nový akademický slovník cizích slov A-Ž. 1. vyd. Praha: Academia, 2005. 879 s. ISBN 80-200-1351-2

[12] POSPÍŠIL, P. Binokulární vidění a výroba anaglyfů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Fedra.

[13] Autostereoskopic displays [online]. 2011 [cit. 2011-05-19].
Dostupný z WWW: <http://www.3d-forums.com/autostereoscopic-displays-t1.html>.

[14] Co je to 3D stereoskopie [online]. 2011 [cit. 2011-05-19].
Dostupný z WWW: < http://www.gali-3d.com/cz/techno-passive-stereo/techno-passive-stereo.php >.

[15] Anaglyf aneb barevná separace obrazů [online]. 2011 [cit. 2011-05-19]. Dostupný z WWW: < http://stereofotograf.eu/navody/anaglyf/ >.

9 Přehled vybraných použitých pojmů

Binokulární vidění	Jinak též vidění oběma očima znamená, že se obrazy vnímané simultánně oběma očima spojí v jeden a navíc nám umožňuje vnímat hloubku prostoru.
Stereoskopický	Tímto pojmem rozumíme umožňující prostorové vidění nebo zobrazení.
Diplopie	Diplopie je dvojité vidění. Zde použito ve významu vidění každým okem zvlášť na základě neschopnosti sloučit zrakové vjemy z obou očí.
Strabismus	Vada zraku (šilhání či šilhavost), stav, kdy oči nehledí stejným směrem ke sledovanému objektu.
Tupozrakost	Tupozrakost je většinou funkcionální onemocnění a vzniká obvykle na podkladě bezděčného potlačování vjemu jednoho oka v případech, kdy by bylo vnímání zrakových vjemů z obou očí rušivé.
Stereoskopická paralaxa	Úhel, který svírají osy očí při zaměření pohledu na určitý objekt.
Horopter	Jako horopter označujeme plochu v prostoru před divákem, tvořenou body, jež odpovídají korespondujícím bodům na sítnicích. Každý bod, který je částí této plochy, pak vidíme jednoduše. Body na horopteru zprostředkovávají dojem stejné vzdálenosti od vlastního oka.
Stereogram	Stereogram je obraz, který při zvláštních metodách sledování může vyvolat prostorový vjem. Může se jednat o dvojici fotografií předmětů pořízených z různých úhlů, nebo o výpočetně vyrobené (vygenerované) obrazy s abstraktním pozadím.
Stereograf	Stereograf je přístroj, který slouží k prohlížení stereogramů. Existuje jich více druhů. Některými lze sledovat dvojice fotografií, jinými lze sledovat průhledná políčka podobná filmu, který ovšem není negativní.
Autostereogram	Christopher W. Taylor představil roku 1979 první stereogram náhodných bodů v jediném obrázku. Tyto obrázky se začaly nazývat autostereogramy a byly značně populární v polovině devadesátých let [5].

Anaglyf	Dvojbarevný soutisk dvou stereoskopických obrázků, který při pozorování brýlemi se skly v doplňkových barvách poskytuje prostorový vjem [11].
Polarizační modulátor	Polarizační modulátor je zařízení, které dokáže měnit polarizaci procházejícího světla s požadovanou frekvencí. Tato změna polarizace může být velmi rychlá a obvykle se jedná o střídání dvojice opačných polarizací [7].
CAVE	Rekurzivní akronym z anglického názvu *Cave Automatic Virtual Environment*. CAVE je označení pro speciální zařízení virtuální reality, kdy se používá více projektorů promítající obraz na stěny, případně i podlahu a strop.

Příloha č. 1 – dotazník diváků

Divák: pohlaví M / Ž, věk: , dioptrické brýle: ano / ne, oční vada:

Scéna A

Do sloupce „barva“ napište, jakou barvu mají postupně předkládané listy. Použijte přitom pojmenování z výčtu pod tabulkou.

pořadí	barva
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
11.	
12.	

Výběr z barev:

růžová, modrá, zelená, hnědá, bílá, tyrkysová, červená, fialová, černá, žlutá, šedá, oranžová

Scéna B

Zodpovězte níže uvedené otázky. Odpovědi pro barevnou projekci označte kroužkem „O“, odpovědi pro černobílou křížkem „X“.

Hodnocení prostorového efektu

Prostorový efekt je:

a) jasně patrný b) patrný c) nepatrný d) žádný

Hodnocení barevného podání

Barvy považuji za:

a) realistické b) odpovídající c) neodpovídající

Ostrost obrazu

Obraz hodnotím jako:

a) velmi ostrý b) ostrý c) neostrý

Komfort při sledování

Při sledování obrazu jsem pociťoval/a:

a) pohodlí b) námahu c) bolest (očí, hlavy)

Poloha pozorovaných objektů

a) před promítací plochou b) za promítací plochou c) před i za promítací plochou

Celkový dojem

a) velmi dobrý b) dobrý c) špatný

Příloha č. 2 – stereoskopický videozáznam

Stereoskopický videozáznam je obsažen na přiloženém datovém CD nosiči. Záznam je uložen v souborech datového typu *AVI*, pro přehrání je nutné mít nainstalovaný příslušný dekodér pro formát *XviD ISO MPEG-4*. Na CD jsou v adresáři *videozaznam* uloženy videozáznamy scén A a B v níže uvedených souborech:

Scéna A	*scena_A.avi*
Scéna B – barevně	*scena_B_barevne.avi*
Scéna B – monochromaticky	*scena_B_stupne_sede.avi*

Prostorové rozlišení všech videozáznamů je 1280 na 720 obrazovaných bodů.