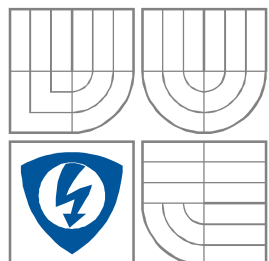


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS**

BINOKULÁRNÍ VIDĚNÍ A VÝROBA ANAGLYFŮ

Binocular vision and anaglyph production

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

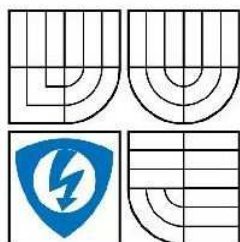
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jindřich Klíma

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Petr Fedra

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Jindřich Klíma
Ročník: 3

ID: 98618
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Binokulární vidění a výroba anaglyfů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte fyziologii binokulárního vidění pro získání prostorového vjemu z dvourozměrných obrázků pomocí brýlí s barevnými filtry. Navrhněte a realizujte snímání statické scény pomocí dvojice identických digitálních fotoaparátů k získání kvalitních dat na výrobu stereoskopického obrazu s komplementárními barvami - anaglyfu. Zpracujte následně získaná data v Matlabu s ohledem na tištěnou formu prezentace anaglyfů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GANONG, William F. Přehled lékařské fyziologie. Praha: Nakladatelství a vydavatelství H&H, 1995.
- [2] DOBEŠ, Michal. Zpracování obrazu a algoritmy v C#. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-233-6.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 5.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Petr Fedra

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jindřich Klíma
Bytem: Pofčův 9, Přibyslav, 582 22
Narozen/a (datum a místo): 5.10.1986 v Havlíčkově Brodě

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Binokulární vidění a výroba anaglyfů

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Petr Fedra

Ústav: Ústav Radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodíci se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 5. června 2009

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Anotace

Tématem mé semestrální práce bylo prostudovat fyziologii binokulárního vidění pro získání prostorového vjemu z dvourozměrných obrázků pomocí brýlí s barevnými filtry, anaglyfu. Protože se to týká zrakového smyslu, na počátku jsem vysvětlil princip samotného vidění. Poté jsem popsal princip fyziologického vývoje vidění a předpokladů binokulárního vidění. Binokulární vidění je komplexní proces, probíhající i mozku. Proto je další tématem práce analýza trojrozměrných objektů, analýza prostoru, která nevědomky probíhá v našem mozku.

Další kapitola pojednává o stereoskopii, technice, jež vyvolává pocit hloubky v dvourozměrném obraze. Získání prostorového vjemu pomocí brýlí s barevnými filtry je jedna z jejích technik. Sepsal sem princip získání anaglyfu, od snímání scény, přes její tvorbu až po prohlížení.

Nakonec je zde uvedena ukázka programu vytvořeného v prostředí Matlab. Je to jednoduchý program na získání anaglyfu z dvou samostatných snímků.

Annotation

The aim of my semester work was to study the physiology of binocular vision for spatial perception of two-dimensional images using glasses with coloured filters, anaglyphs. Since the theme concerns the visual sense, I explained the principle of the vision first. Then I described the principle of physiological development of the vision and the assumptions about binocular vision. The binocular vision is a complex process ongoing in the brain. Therefore, another topic of my thesis was an analysis of three-dimensional objects, space analysis, which unknowingly takes place in our brain.

The next chapter deals with stereoscopy, technology which evokes a feeling of depth in two-dimensional images. One of the techniques is obtaining spatial perception by means of glasses with colour filters.

In my thesis, I summarized the knowledge about the principle of anaglyphs and I described the principle of obtaining anaglyphs, from shooting the scene, over its creation to its viewing.

Finally, here is an example of the program created in Matlab. It is a simple program to obtain anaglyphs from two separate frames.

Klíčová slova

Binokulární vidění, akomodace, fúze, horopter, stereoskopie, anaglyf, filtrace.

Keywords

Binocular vision, accommodation, amalgamation, horopter, stereoscopy, anaglyph, filtration.

KLÍMA, J. *Binokulární vidění a výroba anaglyfů*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 34 s, 2 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Fedra.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Binokulární vidění a výroba anaglyfů 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 bakalářské 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 5. června 2009

.....
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 5. června 2009

.....
podpis autora

Obsah

1 ÚVOD	1
2 FYZIOLOGIE BINOKULÁRNÍHO VIDĚNÍ	2
2.1 ZRAK.....	2
2.2 FYZIOLOGIE LIDSKÉHO OKA.....	2
2.3 ZPRACOVÁNÍ OBRAZU.....	3
2.4 FYZIOLOGICKÝ VÝVOJ VIDĚNÍ.....	4
2.5 STABILNÍ BINOKULÁRNÍ VIDĚNÍ.....	5
2.5.1 PŘEDPOKLADY JEDNODUCHÉHO BINOKULÁRNÍHO VIDĚNÍ.....	5
2.6 PROSTOROVÉ VIDĚNÍ Z HLEDISKA LÉKAŘSKÉHO.....	6
3 ANALÝZA TROJROZMĚRNÝCH OBJEKTŮ	8
4 STEREOSKOPIE	12
4.1 ANAGLYF – STEREOSKOPICKÁ TECHNIKA.....	12
4.2 ZÁKLADY FOTOGRAFOVÁNÍ.....	14
4.3 SNÍMÁNÍ STEREOFOTOGRAFIE – ANAGLYFU.....	16
4.3.1 HLOUBKA PROSTORU.....	16
4.3.2 HLOUBKA OSTROTI.....	17
4.3.3 NATOČENÍ OBJEKTIVŮ PŘI POŘIZOVÁNÍ SCÉNY.....	17
4.4 ZPRACOVÁNÍ, ZOBRAZENÍ A PROHLÍŽENÍ STEREOFOTOGRAFIE – ANAGLYFU.....	19
4.4.1 STEREOSKOPICKÉ OKNO.....	19
4.4.2 ODEBRÁNÍ BAREVNÝCH SLOŽEK.....	20
4.4.3 PROLNUTÍ SNÍMKŮ.....	22
4.4.4 PROHLÍŽENÍ ANAGLYFU.....	22
4.4.5 VÝHODY A NEVÝHODY ANAGLYFU.....	23
4.5 MODERNÍ STEREOSKOPICKÁ TECHNIKA – POLARIZACE SVĚTLA.....	24
5 SNÍMÁNÍ STATICKE SCÉNY	25
5.1 NÁVRH SNÍMÁNÍ A SAMOTNÁ REALIZACE.....	25
6 PROGRAM ANAGLYF – MATLAB	29
7 ZÁVĚR	32
8 POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE	33
9 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	33
10 PŘÍLOHY	34

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 ŘEZ OKEM.....	3
OBRÁZEK 2 KŘÍŽENÍ OS.....	3
OBRÁZEK 3 CHIASMA ZRAKOVÝCH NERVŮ Z POHLEDU ZESPODA.....	4
OBRÁZEK 4 HOROPTER.....	6
OBRÁZEK 5 PRINCIP TRIGONOMETRIE.....	8
OBRÁZEK 6 PERSPEKTIVA.....	9
OBRÁZEK 7 JASOVÁ INFORMACE.....	9
OBRÁZEK 8 INFORMACE Z TEXTURY.....	10
OBRÁZEK 9 RELATIVNÍ VELIKOST.....	10
OBRÁZEK 10 ROZDÍLNÁ PROPUSTNOST VZDUCHU.....	11
OBRÁZEK 11 2 POHLEDY(LEVÝ A PRAVÝ) NA JEDNU SCÉNU.....	13
OBRÁZEK 12 FOTOGRAFIE V BAREVNÝCH SLOŽKÁCH (RED-CYAN).....	13
OBRÁZEK 13 VÝSLEDNÝ ANAGLYF.....	14
OBRÁZEK 14 FAKTORY SNÍMKU.....	15
OBRÁZEK 15 OHNISKOVÁ VZDÁLENOST A ZORNÝ ÚHEL.....	15
OBRÁZEK 16 METODA „SBÍHAVÉ OSY KAMER“ – VYKRESLEDNÍ BODU DO ROVINY.....	17
OBRÁZEK 17 METODA „ROVNOBĚŽNÉ OSY KAMER“ – VYKRESLEDNÍ BODU DO ROVINY....	18
OBRÁZEK 18 STEREOSKOPICKÉ OKNO.....	19
OBRÁZEK 19 ŠPATNÉ A SPRÁVNÉ ROZLOŽENÍ POLOHY BODŮ.....	20
OBRÁZEK 20 ČÍSELNÝ MODEL RGB.....	21
OBRÁZEK 21 FOTOGRAFIE V BAREVNÝCH SLOŽKÁCH.....	21
OBRÁZEK 22 ANAGLYF.....	22
OBRÁZEK 23 FILTRACE BAREV.....	23
OBRÁZEK 24 SCHÉMA STEREOSKOPICKÉ PROJEKCE (ILUSTRAČNÍ OBRÁZKY).....	24
OBRÁZEK 25 STEREO SÁŇKY.....	25
OBRÁZEK 26 REALIZACE SNÍMKŮ.....	26
OBRÁZEK 27 POUŽITÍ TECHNIKY „STEREOSKOPICKÉ OKNO“.....	27
OBRÁZEK 28 A) JEDNODUCHÁ SCÉNA	
B) ANAGLYF PRO $d = 40\text{mm}$	28
OBRÁZEK 29 GRAFICKÉ PROSTŘEDÍ PROGRAMU ANAGLYF.....	29
OBRÁZEK 30 ÚPRAVA SNÍMKŮ, POUŽITÍ STEREOSKOPICKÉHO OKNA.....	30
OBRÁZEK 31 TŘÍ-KANÁLOVÝ SYSTÉM BAREV.....	30
OBRÁZEK 32 PROGRAM ANAGLYF.....	31

Seznam tabulek

TABULKA 1 FYZIOLOGICKÝ VÝVOJ VIDĚNÍ.....	5
TABULKA 2 VZTAH MEZI NEJBLIŽŠÍM A NEJVZDÁLENĚJŠÍM BODEM SCÉNY.....	17

1 Úvod

Binokulární vidění je schopnost prostorově vnímat dvěma očima. Je to složitý a komplexní proces, který je dán jen některým druhům v živočišné říši. Evoluce poskytla různým druhům různý pohled na svět. Ti, kteří jsou spíše loveni než lovci, potřebují mít o prostoru kolem sebe velký přehled tak, aby se případně stihli stáhnout do bezpečí. Většinou disponují monokulárním viděním. Naopak ti lovci, predátoři, či některé druhy všežravců potřebují mít přesný odhad vzdálenosti od kořisti, vědět, kde se nachází a včas reagovat na její pohyb. Jejich hlavní výhoda tkví v tom, že mají oči na jedné straně hlavy, takže se obrazy očí překrývají. Mluvíme o binokulárním vidění. Člověk toto patrně zdědil po svých vzdálených předcích, kteří žili na stromech a správný odhad při přeskoku z jednoho stromu na druhý byl životní záležitostí.

V mé bakalářské práci jsem popsal princip vidění a jeho fyziologický vývoj. Právě jeho vývoj je důležitý pro stabilní binokulární vidění. Binokulární vidění závisí na mnoha okolnostech, které se zde snažím popsat. Od správného vidění a dobrou komunikaci očí s mozkovým centrem až po komplexní procesy, probíhající nezávisle v mozku a jsou získávány zkušenostmi v průběhu života. Popsal jsem je ve druhé a třetí kapitole. Druhá kapitola pojednává o fyziologické stránce binokulárního vidění, třetí kapitola shrnuje procesy, jenž jsou příčinou toho, že dva různé obrazy z očí jsou vnímány jako jeden prostorový vjem.

Čtvrtá kapitola, stereoskopie, vysvětluje tento pojem a ve velké většině se věnuje jedné z technik, a to anaglyfu. Anaglyf je technika stereoskopického zobrazení, která využívá barevné propustnosti filtrů. Princip tkví v tom, že jsou nasnímány dva obrazy, přičemž ten druhý je posunutý vodorovně o vzdálenost očí. Tím je dosaženo jisté paralely s obrazy, které nám naše oči posílají do mozku. Poté jsou tyto obrazy odfiltrovány. V jednom je odebrána zelená a modrá složka, výsledek je obraz s pouze červenou složkou a ve druhém obrazu je vymazána červená složka. Tyto dva snímky ze posléze aditivně spojí, výsledkem je zdánlivě rozmazaný obraz. Pomůckou pro prohlížení jsou barevné brýle s požadovanými filtry. Červený filtr nám nenabídne pohled na červenou kresbu a filtr modrozelený nenabídne pohled na modrozelenou složku. Mozek tyto obrazy upraví do jednoho vjemu. Reprodukce této techniky je relativně jednoduchá, avšak dochází k jisté ztrátě barev.

V kapitole uvádím postup při výrobě anaglyfu. Je zde uvedeno mnoho faktorů, které ovlivňují kvalitu fotografie, postup při snímání anaglyfu, jeho tvorbě a nakonec při jeho prohlížení a jak vlastně celý proces funguje. Nakonec zde uvádím další techniku – polarizaci světla, kterou považuji za nejlepší stereoskopickou techniku, jež nám umožňuje vidět prostorovost.

V páté kapitole jsem se věnoval samotné realizaci bakalářské práce. Uvádím zde jak jsem postupoval při výrobě anaglyfu, experiment při posunu přirozené základny, či návody k dalšímu fotografování. V zadání bakalářské práce jsem měl realizovat snímání statické scény pomocí dvojice identických digitálních fotoaparátů. Jelikož jsem fotil pouze statickou scénu a nehrozilo nám, že při přesunu fotoaparátu z jedné strany na druhou, dojde ke změně scény, rozhodl jsem se, že použiji pouze jeden kvalitní digitální fotoaparát a stereo sáňky.

Poslední kapitola je věnována programu, který jsem vytvořil v prostředí Matlab Guide. Je to jednoduchý program pro výrobu anaglyfů.

V příloze uvádím na ukázkou několik anaglyfů a je zde také uvedena ukáзка nejdůležitějších částí zdrojového kódu programu.

2 Fyziologie binokulárního vidění

2.1 Zrak

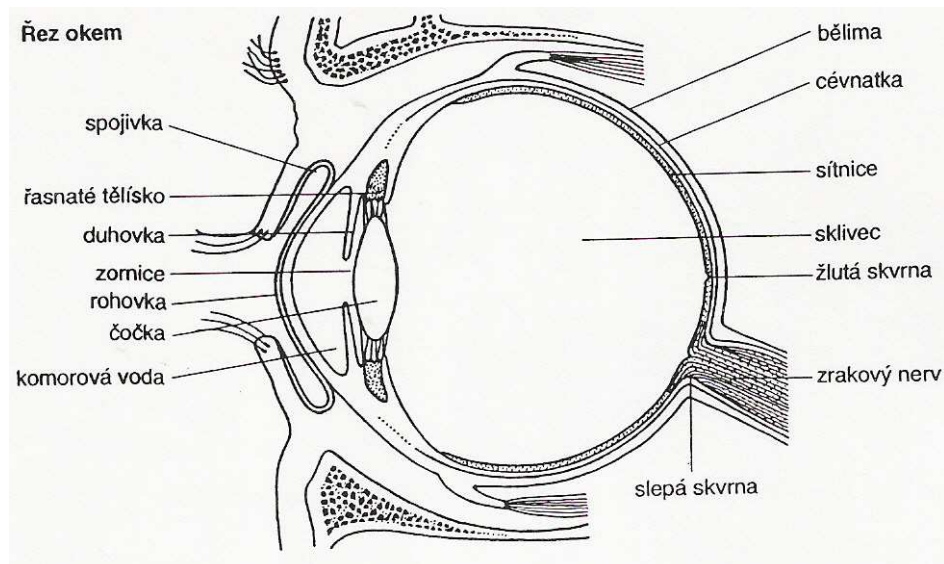
Zrak je pravděpodobně nejdůležitějším smyslem. Pomocí zraku vnímáme světlo, tvary, barvy, slouží nám k orientaci v prostoru. Díky němu jsme schopni zapamatovat si až 80 % všech informací, které vnímáme. Smyslovým orgánem zraku je oko.

Lidské oko lze přirovnat k fotoaparátu. Přední část oka plní funkci čočky stejně jako skleněná čočka v přední části kamery. Je to zakřivená průhledná látka, která při průchodu světla láme jeho paprsky. Uprostřed oka je zornice, neboli panenka, která řídí množství světla, vstupující dovnitř oka. Ve světě videotechniky ji můžeme nahradit clonou, která se nachází za čočkami fotoaparátu. Otevírá se a zavírá podle množství světla. Pozadí oka nazýváme sítnicí a představuje filmový pás, kde se sledovaný obraz zobrazí. Oko je však mnohem složitější a v podstatě nenahraditelné. Fotoaparát nebo videokamera totiž pouze obraz zaznamenává na filmový pás nebo do kombinace nul a jedniček, ale lidé i zvířata mohou vnímat smysl zobrazených informací, reagovat na ně a měnit v závislosti na nich svoje chování.

2.2 Fyziologie lidského oka

Jak vlastně lidské oko funguje? Složení oka je vidět na obr. 1. Světelný paprsek, světlo, vstupuje do oka přes rohovku. Je to vlastně první čočka, kterou paprsky procházejí. Zde se paprsky lámou ke kolmici. Jako čočka má rohovka pevné ohnisko, její tvar ani poloha je neměnná. Pod rohovkou se nachází duhovka. Je to v podstatě sval, který řídí množství světla, jež proniká zornicí. Pokud je veliká intenzita světla, duhovka se stáhne, zornice, otvor uprostřed duhovky, se značně zmenší a do oka proniká jen velmi málo světla. Při šeru se duhovka uvolní, zornice se zvětší a propouští tak více světla. Zornice se může zvětšovat, či zmenšovat také při prožívání silných emocí, jako jsou láska nebo strach, nebo jako následek používání omamných látek. Za duhovkou se nachází druhá čočka, je však pružnější než rohovka. Čočka má schopnost akomodace – může měnit svou optickou mohutnost pomocí řasnatých vláken, dokáže se vyklenout, zaostřit dle potřeby, stát se více lomivou. Světelné paprsky se zde zaostří, tak aby sbíhaly přesně na sítnici. Na sítnici se nachází asi 140 miliónů buněk, fotoreceptorů, a dělíme je na tyčinky a čípky. Jsou to buňky citlivé na viditelné záření spektra elektromagnetického vlnění, které má vlnovou délku přibližně od 400nm do 760nm. Tyčinek je přibližně 130 miliónů, reagují na intenzitu světla, zajišťují však pouze černobílé vidění. Barvy vnímáme pomocí čípků, kterých je ve srovnání s tyčinkami méně, přibližně 7 miliónů.

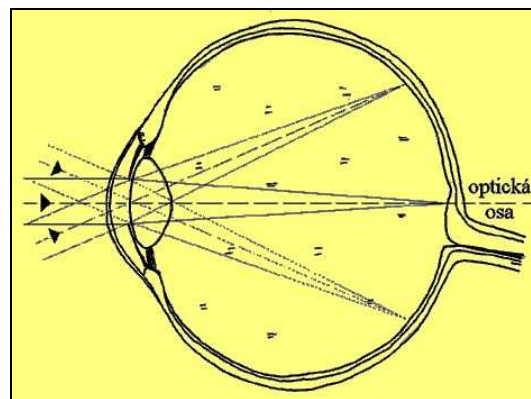
Světlo-citlivé buňky pak přemění světelný signál na elektrický. Tyčinky obsahují zrakový pigment, rodopsin. Ten se při dopadu fotonu na sítnici rozkládá na jiné látky a vznikne akční potenciál v očním nervu. Vzruch je pak veden zrakovým nervem do zrakového centra v mozku a ten už výsledný obraz poskládá dohromady. Nejvíce fotoreceptorů je nahuštěno blízko žluté skvrny, místě nejostřejšího vidění. Opakem žluté skvrny je slepá skvrna, kde nejsou žádné fotoreceptory. Je dobré dodat, že na sítnici se díky čočce vykreslí převrácený obraz, ale mozkové centrum díky zkušenosti výsledný obraz převrátí zpátky.



Obr. 1 – Řez okem

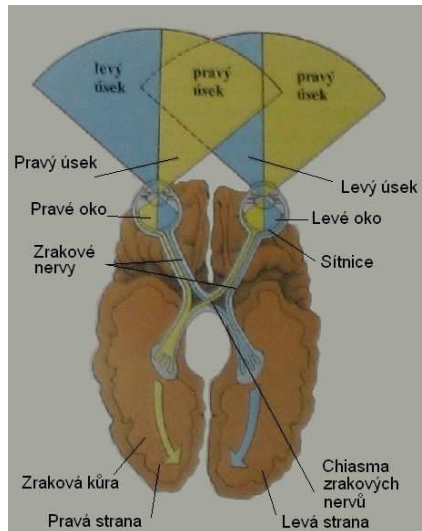
2.3 Zpracování obrazu

Zachycení obrazu na sítnici a jeho následná přeměna na nervový signál je pouze jednou částí z procesu vidění. To druhou částí je zpracování signálu v mozku, abychom skutečně mohli „vidět“. Na sítnici je obraz zmenšenou kopií, toho co vidíme, ale zároveň je převrácený vzhůru nohama a ještě převrácený stranově. Světlo, přicházející z pravého zorného pole se zobrazí na levou část sítnice, světlo z levého pole na pravou část. A zároveň signál z horní části zorného pole je zobrazován na sítnici dole a naopak (obr. 2).



Obr. 2 – Křížení os

Zrakový nerv je ještě rozdělen na dvě části, jedna vede vjemy z vnitřní strany sítnice (obr. 3 – modře zbarvená polovina v pravém oku), druhá z vnější. Zrakové nervy se po chvíli částečně kříží na místě zvaném chiasma a následně směřují k opačným hemisférám mozku. Výsledkem tohoto křížení je, že levá hemisféra (polovina mozku) dostává signály z pravých zorných polí očí a pravá hemisféra z levých polí (obr.3). Mozek si tento obraz upraví tak, že ho spojí dohromady a ještě si ho převrátí. Toto křížení je jeden z faktorů proč vidíme trojrozměrně.



Obr. 3 – Chiasma zrakových nervů z pohledu zespoda

Pravda, je ovšem taková, že člověk v okamžiku narození nemá schopnost binokulárního vidění. Vývoj vidění trvá na rozdíl od ostatních smyslů podstatně déle. V podstatě můžeme říci, že vidíme mozkiem, jehož předsunutou částí je sítnice oka. Dítě se musí naučit vidět. Stabilní binokulární vidění je komplexní a komplikovaný proces, který trvá zdravému dítě více než 6 let.

2.4 Fyziologický vývoj vidění

Novorozenecké období

Zrak se ze všech smyslů vyvíjí nejdéle. Zralý novorozenec má nedokončený vývoj oka jako takového. Na sítnici ještě není dokončen vývoj místa nejostřejšího vidění. Čípky zde nejsou ještě správně uspořádané a nejsou v požadovaném tvaru. Z tohoto důvodu je převažující periferní vidění nad centrálním vidění. V tomto období dítě neumí sledovat ani fixovat zrakové podmínky. Na ně reaguje pouze skénováním prostoru (stejnoseměrné, pátrací pohyby očí). K vyrovnání funkce periferního a centrálního vidění dochází zhruba ve druhém týdnu života. Začátek prvního měsíce života novorozence je považován za počátek nepravidelné, monokulární fixace neboli primitivní sensorické fixace. Je přítomno simultánní vidění, sítnice obou očí spolu nekomunikují, oči se chovají jako dvě samostatné jednotky, dítě fixuje každým okem zvlášť, trhavě a nepravidelně. Vyvíjí se pohledový reflex.

Kojenecké období

Ve druhém měsíci je sensorická pasivní monokulární fixace aktivní a objevuje se krátkodobá binokulární fixace, dítě používá obě oči současně.

Od 3. měsíce se, díky dozrávání fovey, mění centrální fixace na nepravidelnou foveolární. Dítě začíná nastavovat osy pohledu očí k předmětu, je to začátek protisměrných, disjungovaných pohybů očí.

4. měsíc je důležitý pro vývoj binokulárního vidění. Dítě je schopno akomodovat. Vzniká tak základ akomodačně konvergenčního reflexu, snaha o zobrazení blízkých předmětů do oblasti žluté skvrny sítnice.

V 6. měsíci je vývoj fovey, foveoly ukončen a začíná se vyvíjet fúzní reflex. Dochází ke komunikaci center. Fúze umožňuje spojit obrazy obou očí v jeden prostorový vjem. Je přítomno prostorové stenoskopické vidění – jednoduché binokulární vidění.

Po další měsíce se binokulární reflexy upevňují a zdokonalují v souvislosti s tím, jak dítě ochmatává věci kolem sebe, jak poznává první odhady vzdálenosti předmětů a se vzpřimováním dítěte.

Období batolete

Do dvou let je upevněna souhra akomodace a konvergence. Do tří let je ukončen vývoj všech reflexů.

Předškolní věk (období do 6 let)

Do pěti šesti let se vyvinuté vidění stabilizuje, upevňují se nepodmíněné reflexy.

Tab. 1 – Fyziologický vývoj vidění

Po porodu	Skotopické vidění, skenování prostoru
Dva týdny	Počátek fotopického vidění
1. měsíc	Simultánní vidění, počátek monokulární fixace
2. měsíc	Počátek binokulární fixace
3. měsíc	Počátek centrální fixace a disjungovaných pohybů očí
4. měsíc	Schopnost akomodace, akomodační konvergenční reflex
5. měsíc	Trvalá centrální fixace
6. měsíc	Přítomné binokulární vidění, počátek fúze
6-12. měsíc	Upevnění binokulárních reflexů
3 roky	Dokončení akomodačně konvergenčního reflexu
6 let	Stabilizace reflexů

2.5 Stabilní binokulární vidění

Binokulární vidění (z lat. *binocularis* – týkající se obou očí) je schopnost získat oběma očima jeden prostorový vjem.

Zrakové funkce se vyvíjí se základní zrakové zkušenosti. Tyto zkušenosti získáváme od narození do 5 – 8 let, přičemž období do 6 let je nejvíce důležité. Vývoj zrakových funkcí lze ovlivnit jen v tomto ranném období člověka. Abychom měli stabilní binokulární vidění, které vychází z jednoduchého binokulárního vidění, musíme mít pro něj nějaké předpoklady.

2.5.1 Předpoklady jednoduchého binokulárního vidění

Předpoklady jednoduchého binokulárního vidění (JBV) můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin, motorickou a senzorickou.

Motorická:

Motorická složka: paralelní postavení očí, schopnost akomodace a konvergence

Do motorické složky také řadíme okohybné svaly, jejich nervy a inervační centra. Spolupráce obou očí musí být koordinována, pohyby musí být párové (současně oběma očima). Impuls pro pohyb musí vycházet z motorických center současně a ve stejné intenzitě pro příslušné svaly obou očí. Pokud je pozorován vzdálený předmět, oční osy jsou rovnoběžné, při pozorování blízkého předmětu se osy sbíhají a protínají v předmětu.

Senzorická:

Senzorická složka: optický systém oka, sítnice, zraková dráha, týlní kůra, normální retinální korespondence, schopnost fúze.

Důležité je dobré vidění obou očí s centrální fixací, obrazy na sítnicích identické, či alespoň téměř identické, co se týče velikosti, zřetelnosti, intenzity. Měla by být současně drážděna odpovídající místa obou sítnic a periferně stejně vzdálené okrsky. Povinností pro dokonalý prostorový vjem musí být neporušené vedení vzruchů zrakovými nervy do centrální nervové soustavy (CNS) a neporušené funkce korových zrakových oblastí.

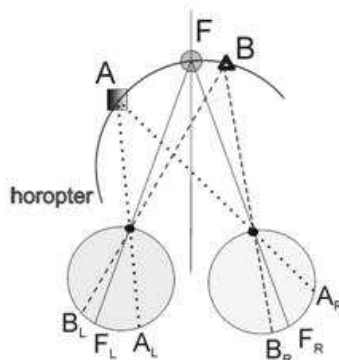
Rozlišují se tři základní stupně JBV – současné simultánní vidění (superpozice), fúze a stereopse.

2.6 Prostorové vidění z lékařského hlediska

Binokulární vidění je dáno většinou zdravých lidí. Prostorové, či stereoskopické vidění nám umožňuje rozeznat hloubku z dvourozměrných obrazů, které jsou promítány na sítnice našich očí. Vnímání prostoru můžeme díky několika důležitým aspektům.

Horoptyer, Panumova oblast

Horoptyer (z řec. slov *horos* – hranice a *opter* – pozorovatel) je množina korespondujících bodů obou sítnic kam dopadá světelný obraz. Při zaostření oka na určitý předmět je předmět zobrazován do tzv. žluté skvrny, nejcitlivějšího místa na sítnici. Mozek díky korespondenci sítnic (pokud bychom sítnice obou očí přeložili na sebe, místa kam je zobrazován předmět, by se překrývala) dokáže spojit oba obrazy do jednoho. Sítnice však není hladká a díky tomu existují ještě podobná korespondující místa. Množina všech bodů v prostoru, jejichž obrazy dopadají na korespondující místa při určitém postavení očí se nazývá horoptyer. Je to vyklenutá plocha, procházející fixovaným bodem a je tvarově závislá na vzdálenosti fixovaného bodu. Má tvar konkávy. Její tvar je závislý na vzdálenosti pozorovaného bodu, při bližším pozorování je její tvar plošnější. Podívejme se blíže na obr. 4. Body F, respektive F_L a F_R jsou místa nejostřejšího vidění, body A, B (A_R , A_L , B_L , B_R) jsou korespondující místa. Body, které leží mimo horoptyer, se nepromítají na identická místa. Jejich obrazy na sítnicích mají příčnou disparitu. Pokud jsou body dále od horoptyeru, disparita je větší. Jestliže jejich disparita je větší než 20 úhlových minut, mozek nedokáže pro tyto obrazy dopočítat třetí rozměr (hloubku) a nastane dvojitě vidění. O bodech, jejichž disparita je menší než 20 úhlových minut, můžeme říci, že leží v Panumově oblasti. Zde nedochází k diplopii.



Obr. 4 – Horoptyer

Schopnost akomodace

Akomodace je hlavní funkce čočky. Upravuje ohniskovou vzdálenost oka tak, aby bylo schopné zaostřit na předměty různě vzdálené. Pracuje tak, že mění svoji velikost pro potřebu oka, aby světelný paprsek dopadal do místa nejostřejšího vidění. Velikost mění pomocí soustavy očních svalů, tzv. ciliárních svalů, které se stahují, či povolují. Při pozorování na krátkou vzdálenost jsou ciliární svaly ochablé a čočka je tlustší, díky tomu je paprsek světla více lámán. Při delší vzdálenosti (přibližně více než 6m) je čočka napínána do stran a index lomu je menší, paprsky vcházejí do oka skoro rovnoběžně. Čočka má tehdy nejmenší optickou mohutnost. Je dobré dodat, že u každého jedince je schopnost a možnost akomodace rozdílná.

Konvergence

Konvergence je současné vychýlení očních os z rovnovážného postavení směrem dovnitř tak, aby se osy sbíhaly na blízkém předmětu. Je to automatický reflex, který se snaží udržet centrální vidění i při pohledu nablízko. Při sledování předmětu, který se pohybuje, se oči natáčejí směrem k předmětu a sledují jeho pohyb současně. Na blízké předměty konvergují a na daleké jsou v téměř paralelním postavení. Akomodace a konvergence spolu úzce souvisí a svaly zajišťující jejich činnost pracují téměř současně.

Schopnost Fúze

Fúze je schopnost splynutí dvou samostatných obrazů (stejných) z levého a pravého oka do jednoho prostorového vjemu. Je to jeden z hlavních předpokladů JBV. Fúzi můžeme členit na senzoryckou a motorickou. Senzorická fúze spojuje dva monokulární vjemy v jediný a probíhá bez pohybů očí. Motorická fúze řídí osy očí tak, aby se protínaly na fixovaném předmětu. Při náhodném zobrazení předmětu na nějakém bodu sítnice, které by vedlo ke dvojitému vidění, dochází k popudu ke korekčnímu fúznímu pohybu. Ten nepodléhá vůli, je řízen vjemy z centrální oblasti nebo podměty z periferie. Motorická fúze je hlavní příčinou senzomotorické koordinace očí.

Poloha očí a jejich vzájemná vzdálenost

Pro binokulární vidění je zásadní poloha dvou očí. Oči musejí být na jedné straně hlavy tak, že se obrazy očí překrývají. Pokud tomu tak není, mluvíme o monokulárním vidění. Lze si pomoci příkladem v živočišné říši. Ti, kteří jsou spíše loveni než lovci, potřebují mít o prostoru kolem sebe velký přehled tak, aby se případně stihli stáhnout do bezpečí. Disponují monokulárním viděním. Naopak predátoři, či některé druhy všežravců potřebují mít přesný odhad vzdálenosti od kořisti, vědět, kde se nachází a včas reagovat na její pohyb. Vzdálenost očí je definována jako vzdálenost jejich optických os. U každého člověka je tato vzdálenost jiná a pohybuje se v rozmezí od 5cm do 8cm. V této bakalářské práci pracuji se vzdáleností 63,5mm. V bakalářské práci o ní mluvím jako o přirozené základně.

Zraková ostrost

Hlavní parametrem, která určuje zrakovou ostrost, je rozlišovací schopnost oka (*vizus*). Je to schopnost oka rozlišit dva co nejbližší ležící body jako dva naprosto odlišné objekty. Zdravé lidské oko má za optimálních podmínek rozlišovací schopnost 0,5' (asi 30 úhlových vteřin). To přibližně odpovídá rozteči 2,5mm na vzdálenost asi 10 metrů. Zraková ostrost je ovlivňována mnoha fyzikálními, psychologickými i fyziologickými vlivy. Ostrost vyšetřujeme např. pomocí Snellenova optotypu (známá skleněná tabule u doktora s různě velkými písmeny v řádcích řazené dle velikosti sestupně).

3 Analýza prostorového vjemu

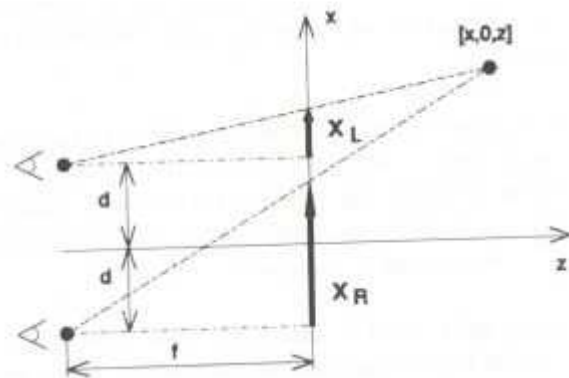
Bylo řečeno, že jedna z hlavních podmínek binokulárního vidění je mít dvě oči na stejné straně hlavy. Pravda je však i taková, že člověk disponující pouze jedním zdravým okem je schopen vnímat prostorový vjem. Jak je to tedy možné? Nejen díky fyziologickým aspektům můžeme totiž vnímat prostor jako trojrozměrný. Je to možné i díky zkušenostem nabytých během dospívání i během samotného života.

Stereo vidění

Svět, ve kterém žijeme můžeme popsat jako trojrozměrný, lze jej popsat třemi rozměry v souřadnicích kartézské soustavy. Představme si, že pozorujeme nějaký dům. Dům je zobrazen v souřadnicích xy , šířka domu leží na ose x , výška na ose y . Pro získání „3D“ vjemu je třeba znát třetí souřadnici z . Vzdálenost mezi námi a pozorovaný objektem je požadovaná vzdálenost z .

Pro získání třetího rozměru potřebujeme znát tedy rozměr z . Je však patrné a zřejmé, že rozměr z bude pouze odhad vzdálenosti. Mozek tento odhad získává pomocí techniky stereo vidění, či chceme-li díky matematické operaci, zvané triangulace. Princip je stejný a je patrný z obr. 7. Sledujeme-li objekt ze dvou míst, kamer, vzdálených od sebe o určitou známou délku, s určitou ohniskovou vzdáleností a známe-li hodnoty souřadnic x_R a x_L , lze jedním z mnoha trigonometrických výpočtů zjistit hloubku objektu od pozorovatele, čili souřadnici z .

$$z = \frac{-2df}{x_L - x_R} - f \quad (1)$$



Obr. 5 – Princip trigonometrie

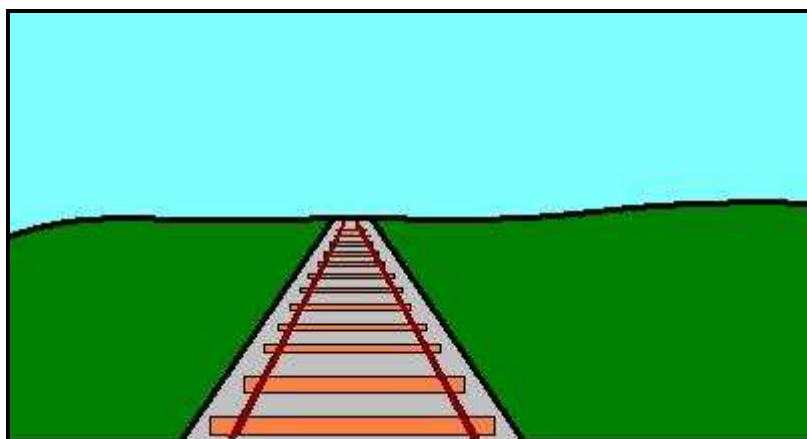
Hlavním prvkem stereo vidění je najít v obrazech levé a pravé kamery odpovídající body, korespondující body. Tyto body nám posléze pomáhají při fúzi dvou obrazů v jeden.

Tento výpočet se děje v mozku automaticky a bleskově a souvisí ze získáváním zkušeností vidění v průběhu dětství.

Metoda techniky stereo vidění má jednu velké omezení. Lidské oko není schopno rozeznávat vzdálené předměty stejně ostře jako předměty blízké. Čím je předmět vzdálenější, tím rozeznává méně detailů a předměty ve velké vzdálenosti vidí jen v hrubých obrysech. Stejně tak nerozeznává ostře předměty velmi blízké. Ideální vzdálenost pro nejostřejší vidění je pro lidské oko přibližně 25-30cm.

Perspektiva

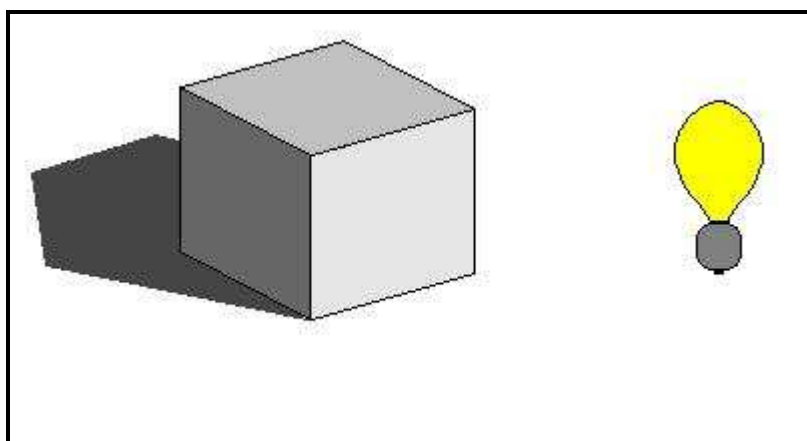
Perspektiva je optický jev, který způsobuje, že vzdálené objekty se jeví menší než objekty blízké. Také má za důsledek vnímání, že pokud pozorujeme objekty, jenž jsou řazeny za sebou a mají mezi sebou stejnou vzdálenost, vzdálenější objekty nám budou připadat více blízko sebe. Perspektiva způsobuje i to, že rovnoměrné brázdy na polích, koleje, široké dálnice se budou směrem k horizontu zužovat. Je to jeden z nejdůležitějších podmětů hloubky a pokud ho využíváme při snímání scény za účelem výroby anaglyfického obrázku, lze tím umocnit výsledný trojrozměrný efekt.



Obr. 6 – Perspektiva

Jasová informace

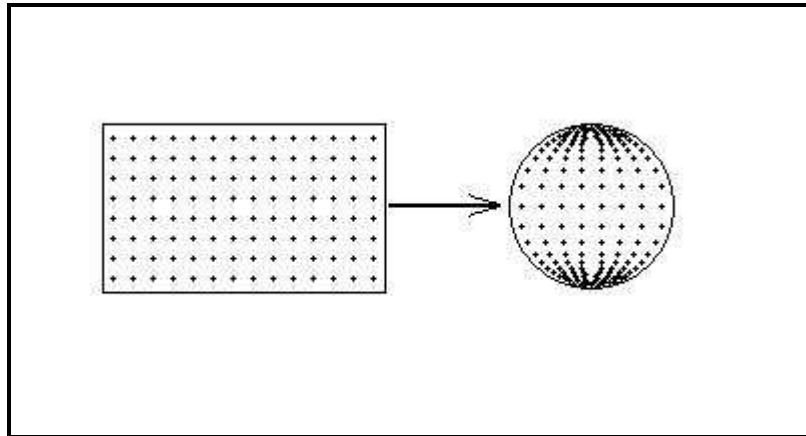
Člověk z jasu velmi dobře dokáže rozeznávat tvar. Jas v obraze totiž závisí na odrazivosti povrchu, 3D orientaci povrchu, poloze objektu a pozorovatele, či poloze světelných zdrojů. Při pohledu na černobílý portrét lze například velmi dobře odečíst hloubku obličeje. Při pohledu na krychli (viz. obr. 7) lze rozeznat hranice čtverců za pomoci různě vystínovaných ploch. Díky příslušnému stínu lze odvodit pozici světelného zdroje, v přírodě např. Slunce.



Obr. 7 – Jasová informace

Informace z textury

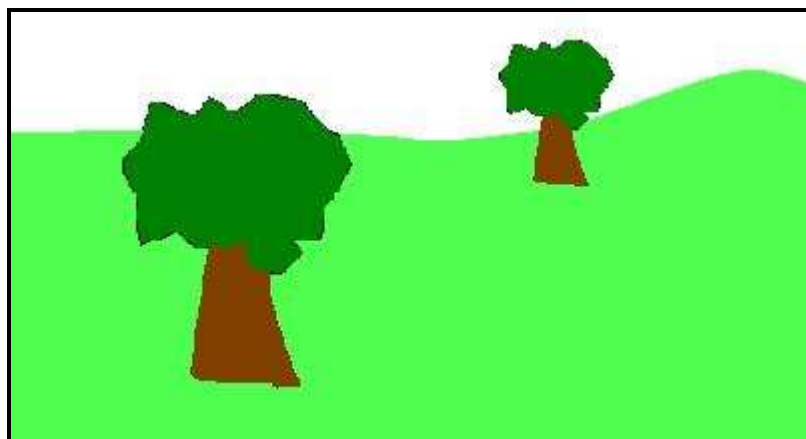
Tvar z textury je další zdroj informace o 3D objektu. Pro zjednodušení si můžeme představit texturu jako malé body, či značky na objektu, které vykazují jistou pravidelnost v rozmístění. Při rozmístění na jednoduchou plochu (obdélník), získáme pravidelnou síť s pravidelnými vzdálenostmi mezi body. Po transformaci plochy na objem koule se vzdálenosti změní v závislosti na tvaru koule. Na části, která je k nám více skloněná, jsou body více nahuštěny a jsou blízko sebe, na části více kolmé jsou vzdálenosti mezi body větší.



Obr. 8 – Informace z textury

Relativní velikost

Jsme schopni přibližně odhadnout vzdálenost stromu, který pozorujeme v dálce, ze známé zkušenosti, jak je strom velký. Toho jsme schopni i pro objekty, které neznáme, ale nevědomky je porovnáváme se známým okolím. Vychází z perspektivy, vzdálené objekty jsou relativně menší, ale protože známe jejich přibližnou a reálnou velikost, jsme schopni odhadnout jeho vzdálenost. Tohoto jevu v hojné míře využívají filmaři pro své filmové triky. Jako nejjednodušší trik lze považovat to, když se na plátno namaluje například malé městečko se zámkem a kolem pole, louky a lesy, a pokud se před toto plátno postaví člověk a okolí se dobře zaranžuje, máme hotovou krajinu a pochoduujícího krajánka, jak jde do města.



Obr. 9 – Relativní velikost

Informace z pohybu, pohybová paralaxa

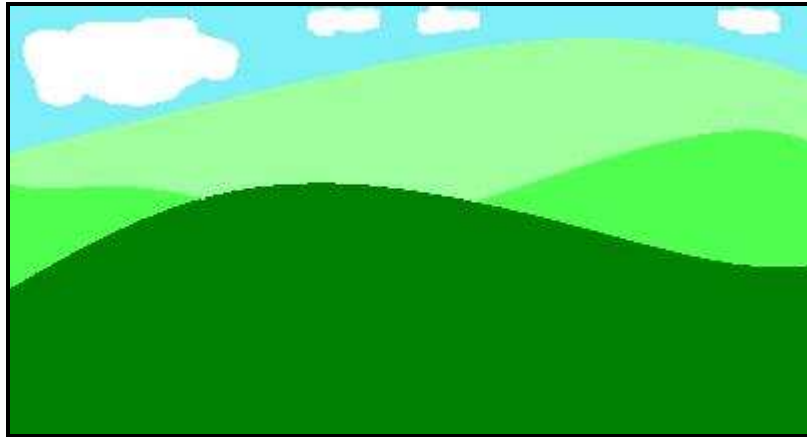
Tvar z pohybu je významným zdrojem informace o 3D scéně. Vzájemný pohyb objektů, pohyb vzhledem k pozorovateli je nedílnou součástí vnímání prostoru jako trojrozměrného. Nazýváme to pohybovou paralaxí. Při pozorování jedoucího auta po krajině si lze všimnout rozdílné změny polohy v závislosti na vzdálenosti auta od různých bodů. Například stromy, lemující silnici, se budou kolem auta míhat relativně rychle, zatímco vrcholky hor, či rádiové vysílače na horizontu, budou vzhledem ke stromům připadat statictější.

Vzájemná poloha

Při pozorování scény se dvěma objekty, z nichž jeden překrývá druhý, metodou zkušeností víme, že překrývaný předmět bude od nás více vzdálenější než předmět, jenž ho překrývá.

Atmosférické jevy

S odhadem vzdálenosti si lze pomoci i díky atmosférickým jevům v přírodě. Přispívá k tomu rozdílná propustnost vzduchu pro jednotlivé vlnové délky, smog, či mlha. Vzdálené objekty nejsou tak jasné jako blízké objekty.



Obr. 10 – Rozdílná propustnost vzduchu

4 Stereoskopie

Stereoskopie je technika, která má vytvořit iluzi hloubky ve fotografii, filmu nebo ve dvojrozměrném obraze tím, že pro každé oko je použit jiný obraz.

Způsobů jak docílit stereoskopie je velice mnoho, přičemž každý způsob má svá specifika a vyžaduje odlišné prostředky. Lze ji rozdělit na dvě skupiny, co se týče způsobu prohlížení. Na pasivní prohlížení, kdy lze docílit vjemu pouze pomocí stereofotografií a jednoduché pomůcky a aktivní, kdy musíme použít nějaký přístroj, většinou monitor, počítač, či projektor.

Stereofotografie byla vynalezena kolem roku 1835. Princip tkví v tom, že se vytvoří dvě fotografie ze dvou míst, které jsou umístěny na vzdálenost očí. Při prohlížení (každým okem na jednu fotografii) pak pozorovatelův mozek rekonstruuje obraz do trojrozměrné reality.

V přelomu 19. a 20. století byla stereofotografie běžnou záležitostí a velmi oblíbenou zábavou vyšších společenských vrstev. Existovaly jednoduché prohlížečky, ale i velké prohlížecí skříně, stereopohlednice, stereoprohlížečky. V průběhu 20.století se prodávaly i speciální fotoaparáty s dvěma čočkami.

4.1 Anaglyf – stereoskopická technika

Anaglyf je stereoskopická technika, umožňující uživateli vnímat prostorově obraz, fotografie, filmy. Je to metoda využívající barevné propustnosti různých barevných filtrů. Barevné filtry mají tu vlastnost, že propouštějí pouze světlo určité vlnové délky. Jestliže sledovaný obraz nedisponuje barvou s vlnovou délkou v rozsahu, který filtr propouští, bude se jevit jako černý. Naopak bílá barva se bude jevit jako barva filtru.

Princip tedy spočívá v pořízení dvou snímků stejného místa, ovšem s rozdílem, že snímání bude vždy z trochu odlišného úhlu. Tím zajistíme dvě fotografie odlišné podobně jako dva obrazy, které jednotlivé oči posílají do mozku. Díky tomu vzniká prostorový vjem.

Snímání scény

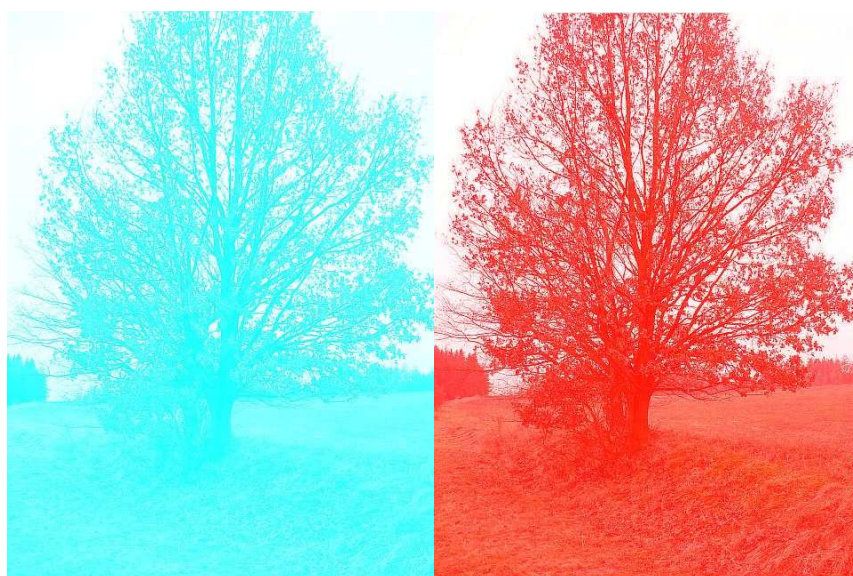
Při snímání scény za účelem tvorby anaglyfu je zapotřebí dbát určitých postupů. Základ je napodobit fyziologické vidění lidskýma očima. Snímané snímky musí být blízké, či nejlépe totožné s těmi, které mozek získává z našich očí. Jedině tak lze zachovat kontinuitu stereoskopie a získat náš cílený vjem. Lze fotit pomocí jednoho přístroje a při snímání mezi obrazy musíme posunout přístroj o vzdálenost, podobné vzdálenosti mezi očima, lze fotit pomocí jednoho speciálního přístroje, který má dva objektivy a je speciálně vyroben pro tyto účely. Nejjednodušší způsob záznamu takové scény je vyfotit snímek, přesunout se o mezní vzdálenost – taková vzdálenost, která odpovídá vzdálenosti mezi zornicemi očí, a vyfotit druhý snímek. Zásadou při přemístění přístroje je posun vodorovný doprava. Vzdálenost mezi očima je různá u každého člověka a odpovídá přibližně 5 až 6,5cm. Je zajímavé, že trojrozměrně vidíme pouze blízké předměty, vzdálenější nám připadají méně plastické. Proto je třeba při focení s tímto jevem počítat, pokud chceme zdůraznit plastičnost objektů více vzdálených od objektivu (např. pohoří). Velikost posuvu by měla být větší než obvyklých 6cm. Při posuvu může docházet k nepatrným výchyilkám v osách, proto je dobré použít speciální nástavec, který je proto určený.



Obr. 11– 2 pohledy(levý a pravý) na jednu scénu

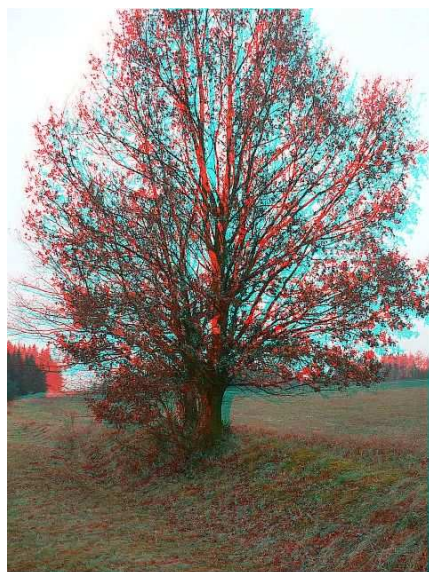
Tvorba anaglyfu

V příslušných snímcích oddělíme barevné složky, např.: jestliže máme brýle typu **red-cyan**, tedy červené sklíčko pro levé oko a azurové sklíčko pro pravé oko, obraz vyfocený z pozice levého oka bude mít modrozelený nádech, bude mít potlačen červený kanál a obraz z pozice pravého oka bude mít červený nádech, potlačeny jsou modrý a zelený kanál (obr. 12). Pokud by jsme to udělali naopak, výsledný obraz uvidíme dvojitě.



Obr. 12 - Fotografie v barevných složkách (red-cyan)

Výsledný anaglyf je složením dvou předchozích obrázků. Pro jeho prohlížení použijeme brýle s barevnými filtry v našem případě typu red-cyan.



Obr. 13 – Výsledný anaglyf

Výhody a nevýhody anaglyfu

Výhody

- Jednoduché a levné pomůcky
- Použitelné i pro video
- Snadné přehrávání nebo prohlížení 3D scén
- Snadná přenositelnost (tisk, PC, média)

Nevýhody

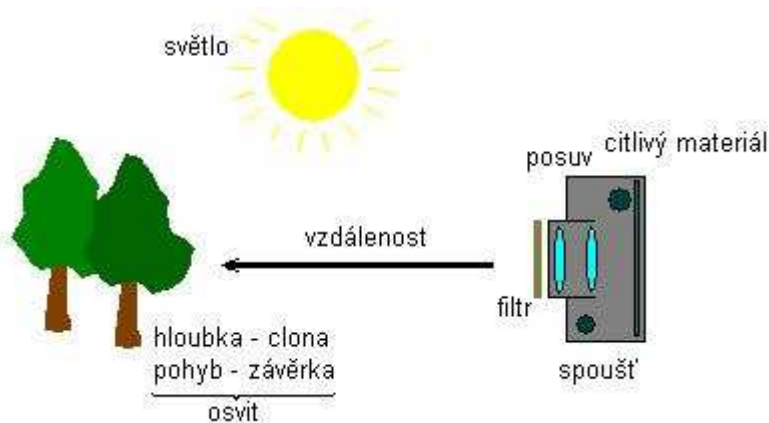
- Scéna je barevně deformována, posun barev, barevná ztráta
- Výsledný vjem není dokonalý
- Závisí na mnoha faktorech – kvalita filtrů, barevná kvalita monitorů, či tisku

Podrobněji o snímání anaglyfu, jeho tvorbě a prohlížení si povíme v kapitole 4.3.

4.2 Základy fotografování

Fotograf ovládá fotoaparát a nastavuje světlo-citlivý materiál světlu. Tím vzniká obraz, zvaný fotografie. Při expozici, procesu vystavení světla, se hledí na mnohá kritéria.

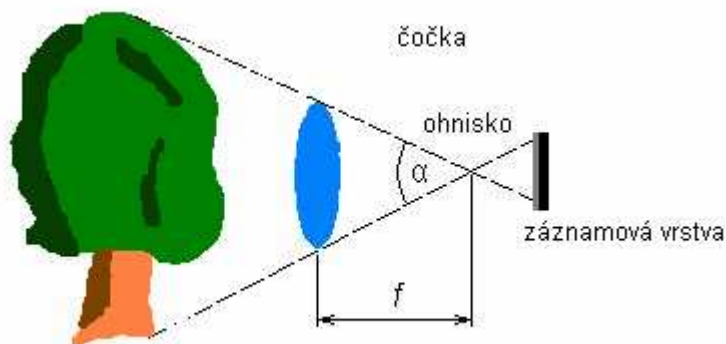
- Samotná expozice
- Zaostření
- Ohnisková vzdálenost objektivu
- Clona
- Citlivost média
- Různé filtry, nástavce, samotný přístroj apod.



Obr. 14 – Faktory snímku

Jedním z nejdůležitějších pojmů, které budeme využívat při tvorbě stereoskopické fotografie, je ohnisková vzdálenost objektivu.

Ohnisková vzdálenost objektivu je vzdálenost čočky od jejího ohniska. Značíme ji f a její základní jednotka je m , definici lze určit z obr. 16.



Obr. 15 – Ohnisková vzdálenost a zorný úhel

S ohniskovou vzdáleností úzce souvisí zorný úhel α . Určuje poměr ohniskové vzdálenosti a velikosti filmového políčka, či aktivní oblasti záznamové vrstvy. Jak lze vidět na obrázku, je to úhel, pod kterým jsou definovány okraje filmového políčka s okraji scény. Zorný úhel je vyjádřením zorného pole, tj část prostoru, který jsme schopni zachytit.

Zorné pole u průměrného zdravého člověka je přibližně 45° , což odpovídá objektivu s ohniskovou vzdáleností 50mm. Je dobré si uvědomit, že toto je pouze informativní hodnota, zorný úhel se může u každého člověka mírně lišit a závisí na mnoha okolnostech, např. intenzitě osvětlení. Objektivy s malou ohniskovou vzdáleností se nazývají širokoúhlé a s velkou ohniskovou vzdáleností teleobjektivy.

Lidské oko má tedy zorné pole okolo 45° , a zároveň má rozlišovací schopnost přibližně $0,5' - 1'$. To odpovídá rozteči bodů asi 2,5mm na vzdálenost 10 metrů. Lidské oko takto zaměřuje zcela nevědomky a instinktivně. U fotografii mluvíme o hloubce ostrosti. Jednoduše je to rozsah vzdáleností, uvnitř kterých jsou pro pozorovatele přijatelně ostré. Upozorňuje pozorovatele na to, co považuje za důležité.

Pro zajímavost: při pozorování fotografie 8x12 (cca formát A4) ze vzdálenosti 38cm je rozlišovací schopnosti oka 0,25mm. Menší detaily už oko nedokáže rozeznat. Hloubka ostrosti je při snímání stereoskopického obrazu velmi důležitá. Ve většině případů se snažíme, aby celá nasnímaná scéna byla ostrá, a zároveň abychom byli schopni vidět prostorový vjem. **Hloubku ostrosti** ovlivňují 3 parametry:

Clona

Zavíráme-li clonu (zvyšujeme clonové číslo), zvyšujeme zároveň hloubku ostrosti, a naopak, při otevření clony snižujeme hloubku ostrosti. V principu clona nahrazuje ve fotoaparátu funkci zornice, zavírá se a otevírá, a v závislosti na ní regulujeme množství světla, které prochází objektivem a dopadá na fotocitlivou vrstvu.

Vzdálenost objektu

Hloubka ostrosti klesá s tím, jak se k objektu přibližujeme a tím ho zvětšujeme. Pro velmi vzdálené objekty je tedy hloubka ostrosti největší.

Ohnisková vzdálenost

Přiblížíme-li objekt např. zoomem, hloubka ostrosti se zmenší. Proto širokoúhlé objektivy mají hloubku ostrosti poměrně velikou, zatímco teleobjektivy mají malou hloubku ostrosti.

4.3 Snímání stereofotografie – anaglyfu

Při snímání scény za účelem stereoskopické fotografie je třeba dbát mnoha doporučení a zásad. Při jejich nedodržování také můžeme vytvořit stereofotografii, ale riskujeme nízkou kvalitou stereoskopie a také bolesti očí, či hlavy.

4.3.1 Hloubka prostoru

Pro správné provedení stereoskopického snímku je dobré stanovit rozsah prostoru, který budeme fotit. Snažíme se nepřekročit přijatelnou míru prostorovosti, tak abychom zbytečně nezatěžovali oči. Nachází-li se v obraze mnoho bodů, které mají velký hloubkový posun, oči mohou mít problém se zaostřením na tyto body, protože při prohlížení stereofotografie jsou oči zaostřeny na rovinu obrazu, a dochází k nepřirozeným pohybům očí.

O míře hloubce ostrosti by měl fotograf rozhodovat hlavně na základě svých zkušeností nebo například na vzdálenosti očí, je ovlivněna i např.: pomocí zorného úhlu. Obecně lze říci, že snímek s velkou hloubkou prostoru, či až s přehnanou prostorovostí může se zdát nevhodný a nevynikne na něm prostorový efekt. Lze míru hloubky prostoru vypočítat pomocí vzorců maximální deviace, avšak pro praktické použití je nereálné měřit každou vzdálenost při pořizování snímků. Vezmeme-li v úvahu, že fotíme objektivem s ohniskovou vzdáleností 37,5mm a přirozenou základnou cca 60mm, můžeme si pomoci tabulkou, která nám pomůže s focením scény. Tabulka je však použitelná i pro normální nastavení s běžnými objektivy. Zbývá jen dodat, že obecné pravidlo velí pro nejbližší objekt mít vzdálenost minimálně 30-krát až 50-krát větší než je přirozená základna, tedy vzdálenost mezi očima. Pro cca 60mm vychází, že nejbližší objekt by měl být od nás vzdálen více než dva metry.

Tab. 2 – Vztah mezi nejbližším a nejvzdálenějším bodem scény

bod [m]	
nejbližší	nejvzdálenější
0,70	1,08
0,80	1,33
0,90	1,64
1,00	2,00
1,20	3,00
1,50	6,00
1,90	38,00
2,00	∞

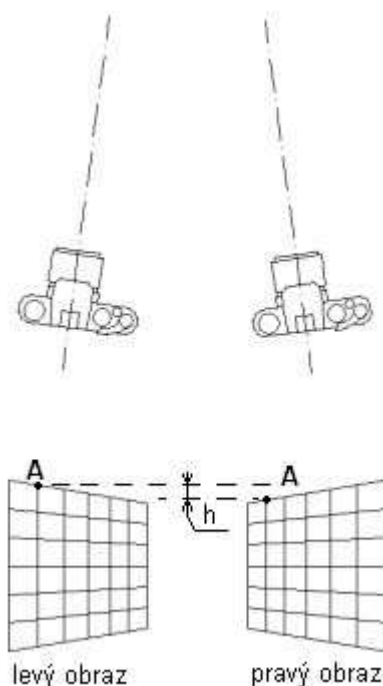
4.3.2 Hloubka ostrosti

Protože lidské oko zaostřuje na rovinu obrazu, snažíme se, abychom celou scénu vyfotili zcela ostře. V praxi vybíráme scénu s co největší hloubkou ostrosti. Může se stát, že máme zaostřeno na blízký objekt a pozadí je rozostřené. Naše oči se v tomto případě budou snažit instinktivně zaostřit i na rozostřené pozadí, což však nepovede ke kýženému efektu, ale obraz bude stále rozmazaný, což může vést k bolestem v očích a výjimečně i k nevolnosti. Výsledný stereoskopický vjem je tak samozřejmě zničený.

4.3.3 Natočení objektivů při pořizování scény

Častým problémem u snímání stereo – fotografie je, zda mají být osy objektivů kamer rovnoběžné, či se mají sbíhat do určitého bodu. Zde si vysvětlíme klady, či spíše zápory obou metod.

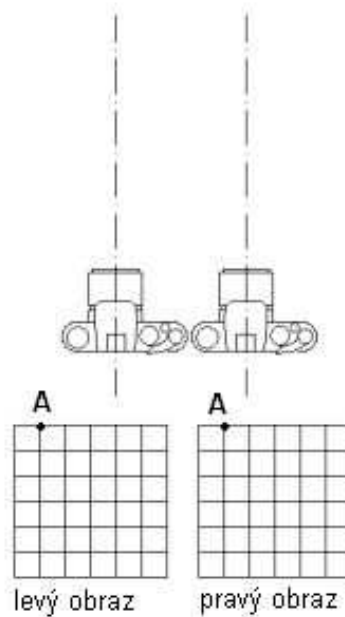
Osy kamer sbíhavé



Obr. 16 – Metoda „sbíhavé osy kamer“ - vykreslení bodu do roviny

Lidské oči, respektive osy očí jsou při zaostření na nějaký předmět sbíhavé. Náš rozum by nám tedy měl velet zachovat tuto podmínku i při snímání stereo – fotografie a ponechat osy kamer sbíhavé. Musíme si však všimnout obr 16. Lidské oči totiž snímají scénu na sítnici oka, která je z fyziologického hlediska zaoblená, kdežto objektiv kamery snímá scénu na rovinu (film, či jiný senzor). Na obrázku je znázorněna situace, kdy je vyfocen bod A v levém horním rohu. Z důvodu natočení os a snímání na průmět roviny nastane vzájemný vertikální posuv bodu A mezi oběma(levým a pravým) snímky. Tomuto jevu se říká vertikální paralaxa. Vertikální paralaxa je u snímání a následném prohlížení problematická a roste se zvětšujícím úhlem natočení.

Osy kamer rovnoběžné



Obr. 17 – Metoda „rovnoběžné osy kamer“ – vykreslení bodu do roviny

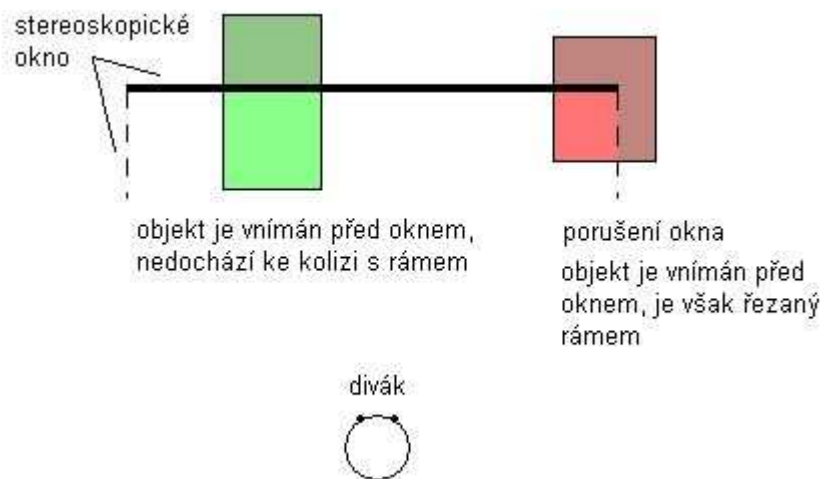
Osy kamer jsou paralelně k sobě rovnoběžné a jsou od sebe vzdáleny o mezní vzdálenost (stereoskopická základna). Obrazy jsou snímány na rovinu snímače a nedochází k vertikální paralaxi (body A jsou ve stejné horizontální rovině). Tato metoda snímání je z hlediska prostorového vnímání nejlepší a nejpoužívanější. Je důležité říci, že o výsledném stereoskopickém jevu nerozhoduje natočení kamery, ale velikost stereoskopické základny, tedy vzdálenost mezi objektivy fotoaparátů nebo kamer.

Pokud fotíme makrofotografii (velmi blízké objekty) je lepší použít první metodu, tedy osy mírně sbíhavé.

4.4 Zpracování, zobrazení a prohlížení stereofotografie – anaglyfu

Pokud jsme fotili metodou rovnoběžných os objektivů, musíme výsledné fotografie ještě upravit. Budu se tu věnovat pouze úpravě týkající se tzv. stereoskopického okna. Je to velmi důležitý koncept.

4.4.1 Stereoskopické okno



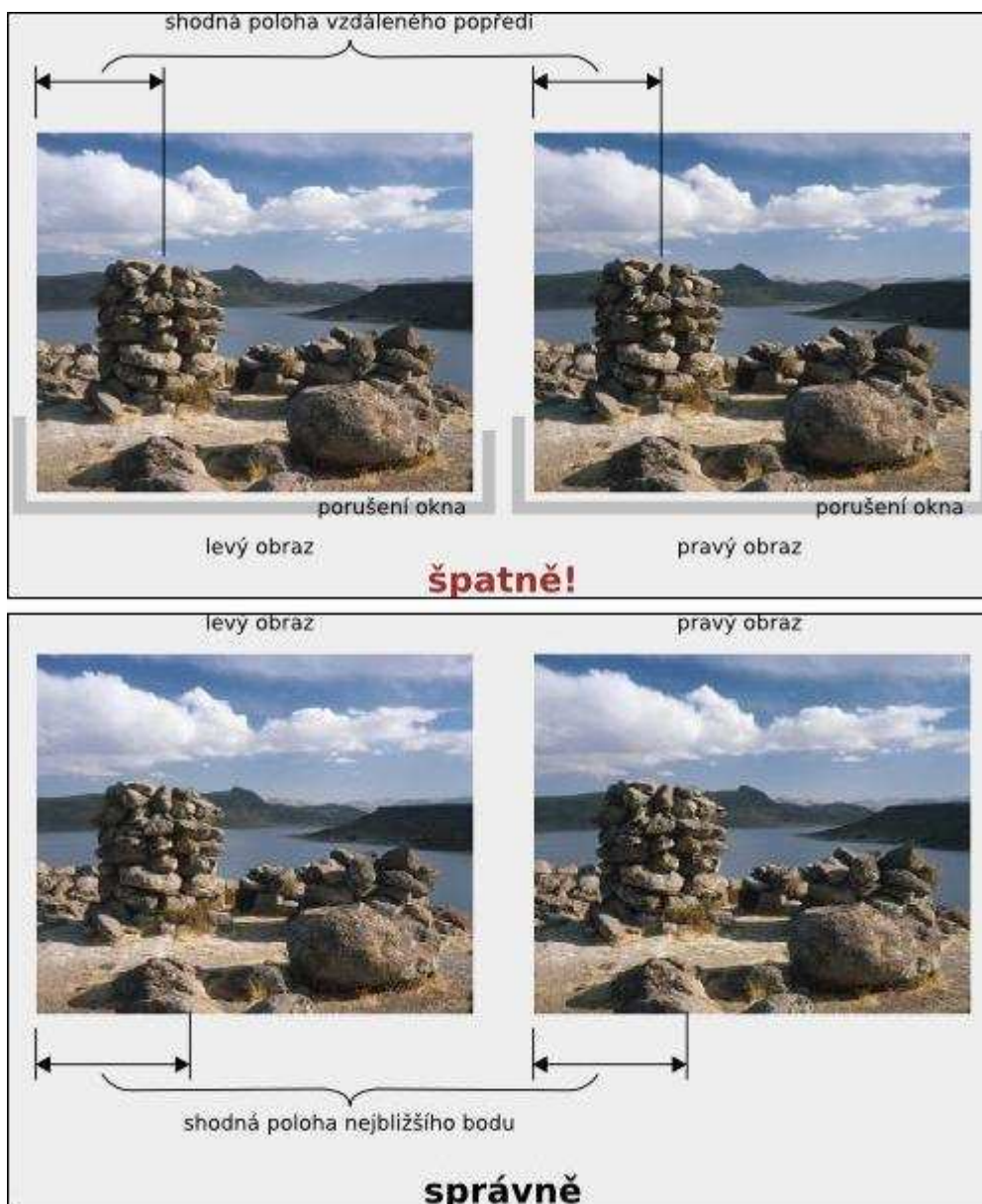
Obr.18 – Stereoskopické okno

Stereoskopickým oknem nazýváme rovinu displeje. Stereoskopickým rámem jsou vnímány horizontální a vertikální okraje displeje. Je dobré pochopit, že stereoskopický rámec má vůči scéně také svoji definovanou polohu od pozorovatele. Tato poloha je dána vzájemným vodorovným posunem snímků k jejich ohraničení. Pokud tedy snímky ořízneme tak, aby poloha jednoho objektu byla na obou snímcích stejně vzdálená od kraje snímku, stereoskopické okno leží ve stejné vzdálenosti od diváka jako tento objekt. Jaká tedy musí být poloha stereoskopického okna?

Poloha stereoskopického okna

Snímek bychom měli zarámovat tak, aby rovina okna ležela před všemi objekty ve snímku. Ze zkušenosti víme, že objekt, který je zakrývaný, nemůže být před objektem, který ho zakrývá. Tím, že může dojít k situaci jako na obr. 18 (červený objekt), dochází ke kolizi v prostorovém vnímání snímku v mozku. Jediná výjimka platí pouze v případě zeleného objektu, který sice vystupuje z roviny okna, ale nezasahuje do rámu.

Pro správnou polohu okna musíme tedy na snímku najít nejbližší bod. Ve většině případů jsou blízko okraje snímku a představují například stébla trávy, větve stromu, část chodníku. Správný ořez musíme provést tak, aby poloha tohoto objektu byla od kraje snímku v obou snímcích stejná. Měli bychom však dávat pozor, abychom stereoskopické okno neumístili příliš blízko, vztahují se na něj stejná pravidla, jako jsou používána při snímání scény (hloubka prostoru). Protože budeme používat ve většině případů rovnoběžné snímání, budeme levý snímek řezat zleva a pravý snímek ořezeme na pravé straně. Na dalších obrázcích si ukážeme správný a špatný ořez. Na obr. 19, špatné provedení, je vidět, že jako poloha bodu byla zvolena malá kamenná mohyla. Tím se jsme nastavili rovinu fotografie na vzdálenost, jakou je od nás vzdálena mohyla. Avšak kameny, které se nachází před mohylou, vystupují skrz stereoskopické okno a tím ho porušuje. Opravíme to přesunutím polohy bodu do jiné, bližší pozice, jak je uvedeno na druhé části obrázku.



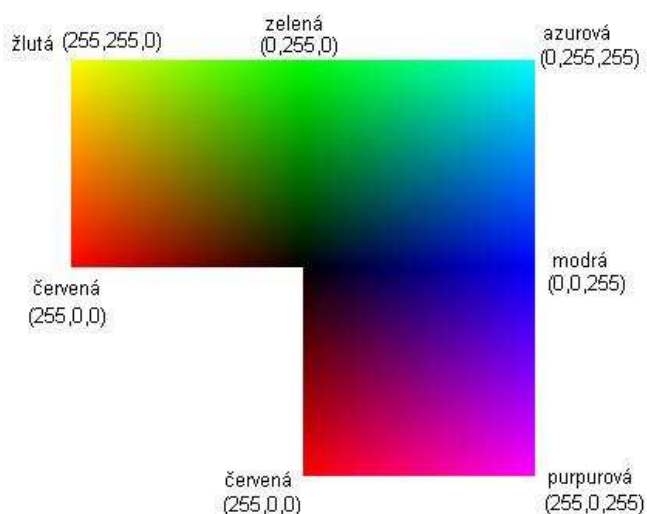
Obr. 19 – Špatné a správné rozložení polohy bodů

Teď když máme dvě upravené fotografie, můžeme postoupit k dalšímu kroku, odebrání barevných složek.

4.4.2 Odebrání barevných složek

Funguje zde aditivní model RGB. Princip spočívá, že každé oko vnímá jiný obraz. Toho dosáhneme, že obrazy budou v inverzních barvách, které pak pomocí brýlí odfiltrujeme. Pokud zvolíme jako výchozí barvu červenou, jeho doplňkovou barvou, inverzní, je barva azurová(modro-zelená). Jako pomůcku můžeme použít číselný model RGB mapovaný do krychle. Hodnoty se zvětšují podél osy x(červená), osy y(zelená) a osy z(modrá). Barva je zastoupena třemi hodnotami, přičemž nejvyšší hodnota ukazuje na maximální intenzitu barvy. Všechny barvy na minimu značí černou, barvy na maximu značí bílou barvu. Barvy mohou být značeny několika způsoby. Ukážeme si způsob, kdy hodnoty barev jsou dány číselně od 0 do 255.

Na obrázku si všimneme inverzních barev. K červené sedí azurová, k zelené purpurová atd.



Obr.20 – Číselný model RGB

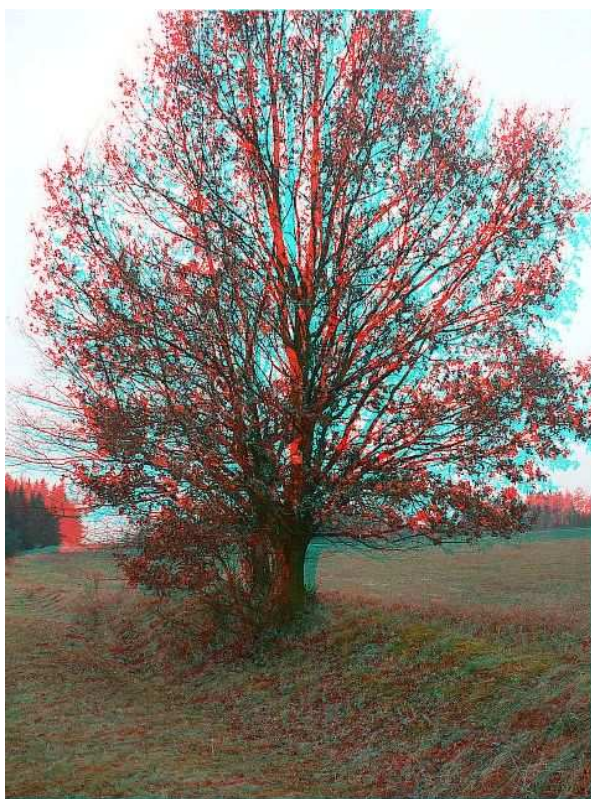
Před tím než vytvoříme dva různě barevné snímky, musíme počítat s tím, jaké brýle budeme používat při prohlížení. Jestliže máme brýle typu **red-cyan**, tedy červené sklíčko pro levé oko a azurové sklíčko pro pravé oko, obraz vyfocený z pozice levého oka bude mít modrozelený nádech, bude mít potlačen červený kanál a obraz z pozice pravého oka bude mít červený nádech, potlačeny jsou modrý a zelený kanál (obr. 21). Pokud by jsme to udělali naopak, výsledný obraz uvidíme dvojitě.



Obr. 21 - Fotografie v barevných složkách

4.4.3 Prolnutí snímků

Oba snímky spasujeme do sebe, aditivně smícháme. Výsledkem je jeden snímek, zdánlivě rozmazaný, s barevnými obrysy.



Obr. 22 – Anaglyf

4.4.4 Prohlížení anaglyfu

Abychom snímek, „rozmazaný, s barevným nádechem“, viděli jako trojrozměrný, potřebujeme tzv. 3D brýle.

Brýle mají dvě sklíčka, většinou z fólií, z barev k sobě inverzních stejných z takových, z jakých se skládá anaglyf samotný. Je důležité, zachovat podmínku, že pokud původní snímek z levé pozice objektivu nahradíme snímkem laděným do modrozelené, musíme mít na levém sklíčku filtr červený, a naopak.

Řekli jsme si, že filtry propouští pouze barvy nebo vlnovou délku, pro kterou jsou vytvořeny. Co to znamená? Pokud se díváme skrz červený filtr na bílý papír s červenou kresbou, tak nám kresba vymizí, protože filtr propouští pouze červený kanál obrazu a bílý papír bude zbarven červenou barvou filtru. Příklad filtru je na obr. 23.

Oči poté dostanou „svě“ obrazy, ale zbarvené barvou filtru. Snímek, který byl vyfocen v levé pozici objektivu, dostane levé oko a naopak. Teoreticky by měla barva filtru nahradit chybějící kanál v jednotlivém snímku, tak že výsledek je totožný s originálem. Ve skutečnosti však dochází k barevným ztrátám způsobených odfiltrováním kanálů a nedokonalostí filtrů.

Hlavní nevýhoda anaglyfu tkví právě v té „barevnosti“ obrazu. Výsledný obraz má ve větší části barevný nádech filtru, jenž posílá obraz pro dominantní oko. Většina lidí má dominantní oko pravé, to je možný důvod toho, že kombinace brýlí je nejčastější red-cyan, tedy pro pravé oko je filtr cyan. Protože obraz v tomto barevném nádechu je pro lidský mozek přijatelnější než sytě rudý. Pravděpodobně to souvisí i s vlnovou délkou.



Obr. 23 – Filtrace barev

4.4.5 Výhody a nevýhody anaglyfu

Výhody

- Jednoduché a levné pomůcky
- Použitelné i pro video
- Snadné přehrávání nebo prohlížení 3D scén
- Snadná přenositelnost (tisk, PC, média)

Nevýhody

- Scéna je barevně deformována, posun barev, barevná ztráta
- Výsledný vjem není dokonalý
- Závisí na mnoha faktorech – kvalita filtrů, barevná kvalita monitorů, či tisku

4.5 Moderní stereoskopická technika – polarizace světla

Anaglyf je díky svým vlastnostem (jednoduchá, snadno reprodukovatelná) široce oblíbená mezi vyznavači stereoskopie, avšak díky svým dalším vlastnostem, jako jsou deformace a ztráta barevné informace, či nedokonalost výsledného vjemu, pro oko náročného diváka nepoužitelná. Existuje mnoho různých stereoskopických technik, lišících se od sebe výslednou kvalitou zobrazení, avšak jedna technika v poslední době nabírá na oblíbenosti, technika polarizace světla.

Vychází z teorie o polarizovaném světle. Pokud je polarizováno kolmo k polarizační rovině polarizačního filtru, tak tímto filtrem neprochází. Na promítací plochu se díváme speciálními polarizačními brýlemi, které mají každé sklo jinak lineárně polarizované. Obraz je pak promítán dvěma promítačkami přes stejně polarizované filtry na promítací plochu, která musí zachovávat polarizaci světla. Může se zdát, že je zde „přepolarizováno“, ale tato metoda je velmi kvalitní a efektivní. Princip používají kina IMAX. Extrémně velký obraz s vynikajícím rozlišením je dán díky použití velkoformátového negativu (70mm), který je promítán na speciálním projekčním zařízení (dvě kamery nebo jedna speciální) s vertikálním pohybem políček.

Při použití velkého plátna (20x25m), kvalitních brýlí, 3D audio systému (šestikanálový záznam) se jedná o velmi realistický zážitek prostorového vjemu.



Obr. 24 – Schéma stereoskopické projekce (ilustrační obrázky)

5 Snímání statické scény

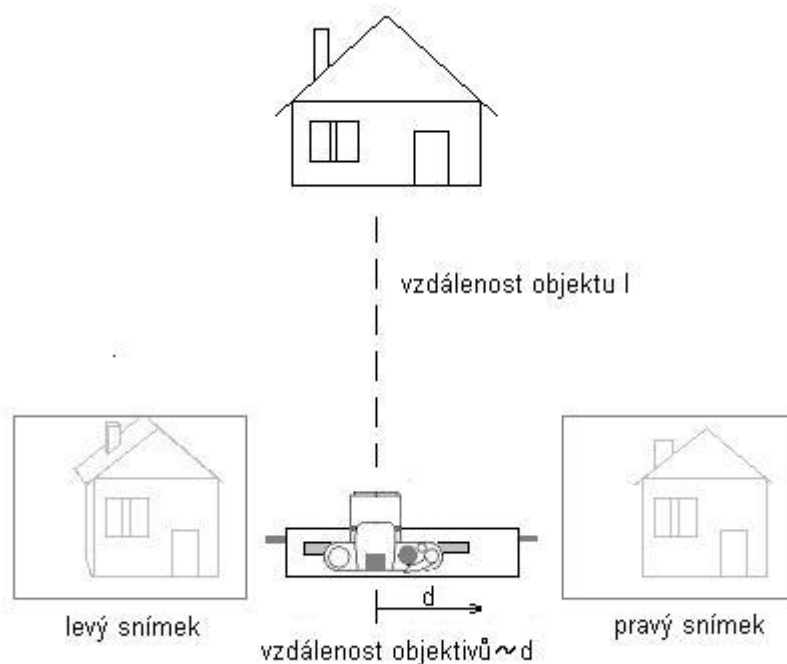
Protože jsme snímali pouze statickou scénu a nehrozí nám, že se při přesunu fotoaparátu scéna změní, rozhodli jsme se místo dvojice identických digitálních fotoaparátů použít jeden kvalitní digitální fotoaparát. Abychom získali přirozenou základnu, rozteč mezi objektivy cca 65mm, museli bychom použít buď přístroje menších rozměrů, a zároveň nastavit přístroje do vertikální polohy. Tímto použijeme jeden kvalitní digitální fotoaparát zn. Panasonic, typ DMC-FZ5. Přístroj má ohniskovou vzdálenost 35mm. Tento přístroj nasadíme na speciální nástavec, stereo sánky s posuvem až 120mm. Tyto sánky nám umožňují horizontální pohyb bez jakéhokoli ostatního natočení do jiných směrů. Sánky lze snadno nasadit na teleskopický stativ. Tímto děkuji panu Fedrovi a vedení školy za zapůjčení stativu a stereoskopického nástavce.



Obr. 25 – Stereo sánky

5.1 Návrh snímání a samotná realizace

V projektu jsem se spíše soustředil na fotografování scény, kdy nejbližší objekt je od objektivu vzdálen nejméně 2m. Tedy použijeme pravidlo, že při ohniskové vzdálenosti přístroje 35mm a přirozené základně asi 65mm bude objekt vzdálen přibližně 30-50x, tedy cca 2-3m. Při vzdálenějších objektech pro větší pocit prostorovosti lze zvětšit přirozenou základnu, ovšem s citem a rozumně. Zde se vyplatí experimentovat a experimentovat se vzdáleností a konečný výsledek si prohlédnout doma v klidu. Jak praví teorie, dodržíme základní pravidlo – posun musí být pouze vodorovný po ose x . Držet se tohoto pravidla nám velmi pomohly posuvné saně a stativ.



Obr. 26 – Realizace snímání

Experimenty

Fotil jsem různé scény tak, abych si osvojil tuto stereoskopickou techniku, a zároveň abych zjistil, jaké scény se jeví jako nejvhodnější pro anaglyf. Technika focení je daná, posun může být zleva doprava, či zprávné strany doleva, avšak nesmíme zapomenout si poznamenat, která fotka je pravý snímek, či levá. Kamery objektivu jsem zachovával v paralelním postavení, což se mi osvědčilo. Osvědčila se mi taktéž teorie o přirozené základně přibližně 65mm, přičemž nejbližší objekt byl vzdálen od 1,5m a více. Je však dobré experimentovat. Největší prostorovost při této základně jsem však získal od blízkých objektů v rozmezí 1 – 5m. Při vzdálenějších objektech je lepší zvětšit přirozenou základnu (objekt je vzdálen přibližně 30 až 50-ti násobek této hodnoty). To znamená, že například při objektu vzdáleném 50 metrů si posuneme objektiv fotoaparátu o cca 1,2m.

Fotíme takové scény, kde vynikne plastičnost prostoru. Osamocený strom, vzdálen od nás 50 metrů, který má zároveň za sebou panorama hustého černého lesa, nevynikne jistě tak, jak bychom si přáli. Naproti tomu malá budova v blízkém sousedství stromu, auta a malé zahrádky, na pozadí modré oblohy bez mráčků, bude vystupovat z obrazovky a s chutí budeme chtít otevřít dveře.

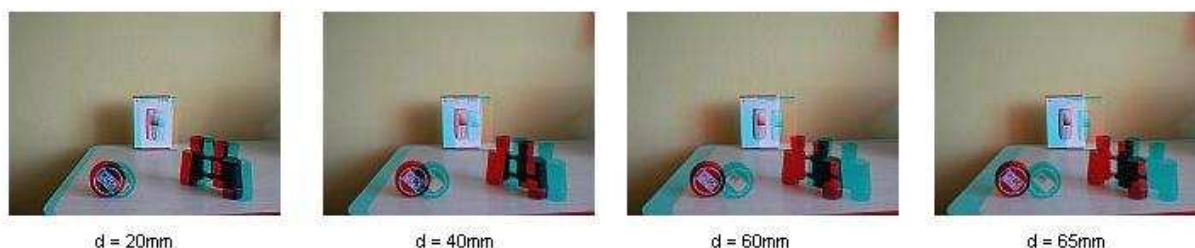
Vybíráme takové objekty, jejichž velikost a tvar předčí ostatní objekty ve scéně a už instinktivně vnímáme jeho dominanci. Objekty, jenž se při prvním snímku navzájem překrývají a při druhém snímku taktéž, avšak s jistou změnou vzájemné orientace vůči pozorovateli.

Je dobré si všimnout barevné škály snímané scény. Plastičnost výsledného anaglyfu nevynikne, pokud dominantní objekt má podobné barevné podání jako jeho pozadí. Zde jsem si ověřil, že tmavé barvy (černá, hnědá) na dominantním objektu, a zároveň na pozadí, výslednému anaglyfu spíše škodí. Naopak výrazné barvy na objektu, jež ho výrazně rozlišují od ostatních, pomáhá k lepšímu subjektivnímu posouzení plastičnosti.

Samozřejmě však lze fotit i složité snímky, výsledný prostorový vjem je přeci jen dán subjektivním posouzením každého jedince a každému se může líbit něco jiného.

Zde uvádím jeden příklad snímání zaměřený na délku přirozené vzdálenosti. Objekty byly v přibližné vzdálenosti 60-130cm od objektivu. Pokud bychom se chtěli držet teorie, přirozená základna by musela být něco kolem 20 až 40mm. Fotil jsem pro 4 různé vzdálenosti – 20,40, 60, 65mm. Dle teorie by měla být nejlepší stereofotografie pro posun o 20mm nebo 40mm. Vytvořil jsem 8 různých anaglyfů, které lze rozdělit do dvou skupin po čtyřech. V první skupině byly anaglyfy vygenerované pouze tak, že se spojili dva obrazy, tak jak byly vyfoceny. Tedy levý snímek a pravý snímek pro posun o 20mm, 40mm, 60mm a 65mm. Ve druhé skupině jsem použil teorii stereoskopického okna a snímky prošly malou úpravou. Byly ořezány tak, aby splňovaly poučku o stereoskopickém okně (viz. obr. 19). Následně jsem vytvořil jejich anaglyfy. Grafické srovnání těchto dvou skupin lze vidět na obr. 26.

Anaglyfy bez použití stereoskopického okna



Anaglyfy s použitím stereoskopického okna



Obr. 27 – Použití techniky „stereoskopické okno“

Při prohlížení první skupiny se pozorovatel neubrání dojmům „duchů“. Přestože by posun měl odpovídat normovaným vzdálenostem, při prohlížení fotografií dochází k rozmazání obrazu, které je více patrné při větším posunu. Důsledkem je špatná kvalita obrazu, palčivá bolest očí přecházející k bolestem hlavy.

Naopak ve druhé skupině při použití stereoskopického okna je výsledkem lépe čitelný obraz, který nepůsobí chaotickým dojmem a plastičnost lépe vynikne, protože divák není nucen nevědomky retušovat duchy v obraze a soustředí se jenom na samotnou expozici. Proto doporučuji používat stereoskopické okno, lépe se vypořádají s tzv. „duchy“, které jsou více patrné, pokud je větší posun mezi oběma snímky.

Nakonec jsem si provedl menší průzkum na nevelkém počtu diváků, který anaglyf je pro ně nejplastičtější, resp. ověřit si teorii, jaká vzdálenost přirozené základny je nejvhodnější. Z tohoto průzkumu relativně nejlépe vyšel anaglyf s posunem $d = 40\text{mm}$. Všechny ostatní snímky také byly plastické, ovšem při větší vzdálenosti ($d = 60, 65\text{mm}$) spíše docházelo k rozdvojenému vidění, či divák měl pocit, jakoby koukal skrz obraz.

Tímto malým pokusem jsme si tedy ověřili léta zavedenou praxi (objekt je vzdálen přibližně 30 až 50-ti násobek hodnoty přirozené základny).

Co lze říci nakonec? Pokud se k focení anaglyfu dostaneme jako začátečník, měli bychom dodržovat několikrát výše uvedené pravidlo o přirozené základně. Jeho použitím určitě nic nepokazíme a výsledek se nám bude jistě líbit. Pokud chceme získat něco více, mít z výsledku lepší pocit a to víceméně chtějí všichni, doporučuji si s nastavením přístroje vyhrát a experimentovat. Anaglyf je subjektivní technika, každý na stejnou fotografii může mít jiný názor. Po čase však do ruky získáme tzv. „grif“ a už instinktivně budeme vyhledávat a rozlišovat potenciálně nejlepší scény pro stereofotografii a rozhodnout jak velký bude posun objektivu, bude pro nás rutinní záležitost.



a)



b)

Obr. 28 a) Jednoduchá scéna
b) Anaglyf pro $d = 40\text{mm}$

6 Program Anaglyf – Matlab

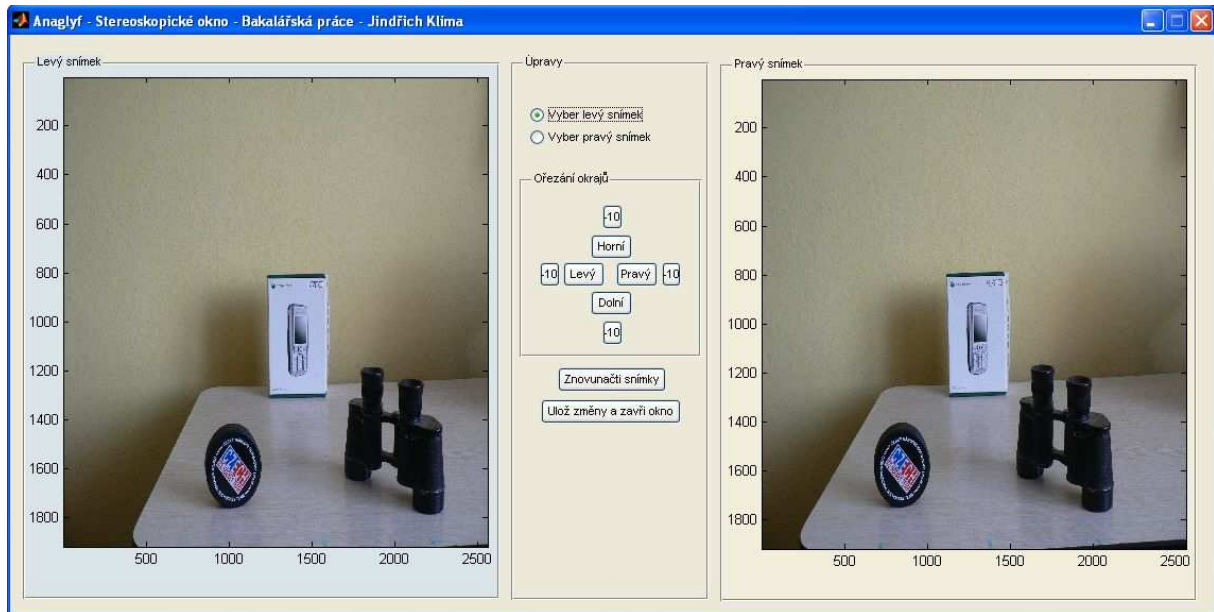
Dle zadání bakalářské práce jsem vytvořil jednoduchý program pro tvorbu anaglyfu. Program jsem napsal v prostředí Matlab Guide pomocí Matlab 7.5.0(R2007b). Program má jednoduché grafické podání a je programován tak, aby neznalý uživatel byl schopen vytvořit krok po kroku svoji stereofotografii.

Na obr. 28 je vidět program ihned po spuštění. Spouštění se provádí zapsáním slova *anaglyf* do příkazové řádky Matlabu(zároveň mít správně nastavenou cestu v adresáři).



Obr. 29 – Grafické prostředí programu Anaglyf

Při spuštění jsou aktivní pouze dvě tlačítka - *Levý snímek* a *Pravý snímek* - v poli s názvem Načti obrázky. Uživatel kliknutím na příslušné tlačítko načte do paměti příslušné snímky, fotografie. Na výběr jsou k dispozici dva formáty, jpg a bmp, které v základní úpravě splňují třívrstvé podání barev(modrá, zelená, červená). Pokud jsou načteny oba snímky, aktivují se dvě přepínací tlačítka pro typ anaglyfu. První volba (*Brýle: red - cyan*) se zahrne v případě, pokud máme typ brýlí s červeným sklíčkem na levém oku a s modrým sklíčkem na pravém oku. V opačném případě volíme volbu cyan – red. Protože na trhu je drtivá většina brýlí s těmito komplementárními barvami a ostatní barvy jen okrajově, rozhodl jsem se do programu dát volbu jen mezi těmito dvěma typy brýlí. Po rozhodnutí, který typ brýlí máme, a zároveň jaký anaglyf vytvoříme, jsou aktivována další dvě tlačítka, *Nastav stereoskopické okno* a *Vytvoř anaglyf*. Jak již bylo řečeno, program je vytvořen tak, aby uživatel postupoval krok po kroku. V této fázi může uživatel už vytvořit výsledný anaglyf, který se zobrazí v pravé části okna. Nebo má na výběr kliknout na nastavení stereoskopického okna, čímžlepší výslednou kvalitu stereofotografie. Toto tlačítko pomáhá jak nastavit stereoskopické okno (viz. kapitola 4.41), tak upravit oba snímky. Tato úprava je taktéž velmi důležitá, protože se mohlo stát, že při focení snímků došlo k nechtěnému posunu do stran a bylo vyfoceno to, co jsme si nepřáli. K úpravě dochází v okně, které je vyfoceno na obr. 30.

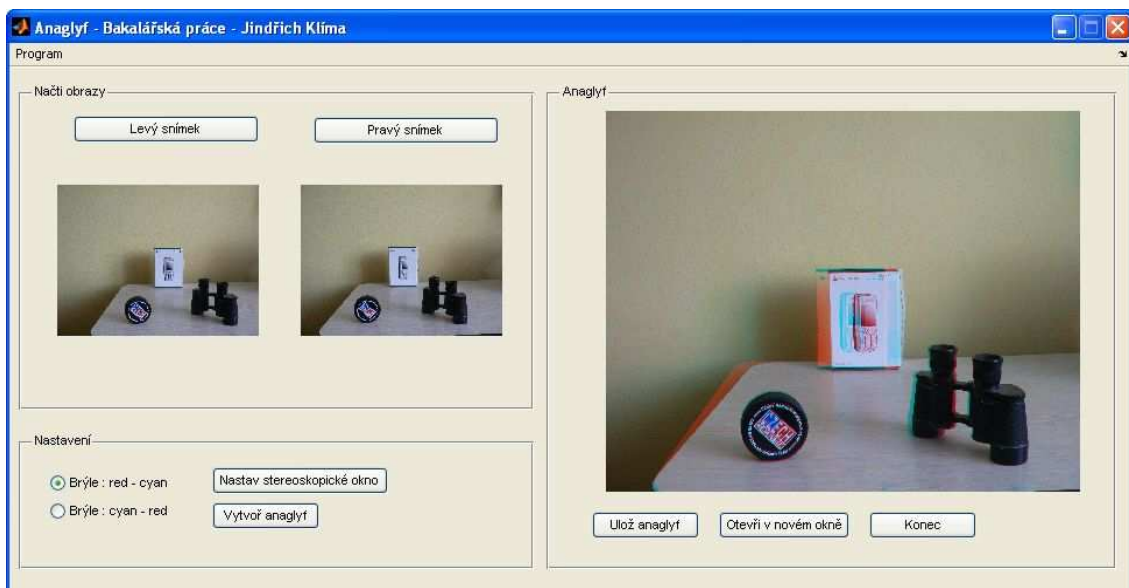


Obr. 30 – Úprava snímků, použití stereoskopického okna

Uživatel zvolí znovunačení snímků, které se načtou po obou stranách. Pro toto okno je důležitý středový panel *Úpravy*. V tomto okně upravujeme obrázky tak, že odebíráme řádky, či sloupce obrázku. Po zvolení snímku, který chceme upravit, můžeme odebrat pouze jeden řádek, či sloupec stisknutím na tlačítka *Horní*, *Dolní*, *Pravý*, *Levý*. Pokud máme snímek o větších rozměrech, volíme tlačítka *-10*, která odeberou 10 řádků, či 10 sloupců. K lepší orientaci jsou k dispozici popisky os u snímků. Aby byly zachovány rozměry matic, úprava nastává i u druhého snímku, čímž je taktéž zaručeno laické pravidlo stereoskopického okna.

Pokud je uživatel s úpravou spokojen, uloží změny, které vykonal a zavře okno.

Uživatel je tedy vrácen zpět do hlavního programu. Aby se mu anaglyf vykreslil, je třeba použít tlačítko *Vytvoř anaglyf*. Poté je vykreslen do pravé části programu. Je zde možnost výsledný snímek uložit ve formátu jpg, znovu zobrazit snímek ve větší velikosti do samostatného okna, či ukončit program. Možnost vytisknout program umožňuje samotný Matlab ikonkou, která je k dispozici v pracovním panelu, pokud si zobrazíme snímek do větší velikosti. Výsledný program vypadá takto.



Obr. 32 – Program Anaglyf

7 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo prostudovat fyziologii binokulárního vidění pro získání prostorového vjemu z dvourozměrných obrázků pomocí brýlí s barevnými filtry. Samotná fyziologie binokulárního vidění byla sepsána ve druhé kapitole. Je zde věnována pozornost vývoji vidění, jeho předpokladům, či fyziologickým procesům, které probíhají nezávisle v našem mozku. Protože stabilní binokulární vidění získáváme až v průběhu 6.roku, tedy získáváme ho na základě zkušeností, je třetí kapitola věnována pouze analýze prostoru, jako trojrozměrného. Jsou zde vypsány jednoduché zákonitosti, umožňující nám i například z dvourozměrné scény vydedukovat třetí prostor. Právě binokulární vidění je však jen dílem okamžiku, trojrozměrně vnímáme pouze přítomnost. Odpradávná si lidé zaznamenávali uplynulé děje, tak aby se je v budoucnu mohli zpětně připomenout. Výsledný záznam (obraz, kresba, fotografie, film) však byl jen zobrazením na plochu, postrádal třetí rozměr. Třetího rozměru se snaží dosáhnout stereoskopická technika zvaná anaglyf, kterou jsem popsal v kapitole číslo 4. Je to technika, jenž dociluje trojrozměrného vjemu pomocí brýlí s barevnými filtry. Je zde popsán samotný princip anaglyfu, techniky snímání(natočení objektivů, vzdálenost objektů od objektivu), pravidla, kterých bychom se měli držet při snímání stereofotografie – anaglyfu. V páté kapitole je uveden návrh snímání a samotná realizace, tak jak jsem postupoval při mém fotografování. Jsou zde vypsány malé poznatky a rady, které mohou zlepšit prostorový vjem ze stereoskopických fotografií. V poslední kapitole je popsán program, který byl vytvořen v prostředí Matlab Guide. Je to program, který vytvoří ze dvou odlišných snímků jeden výstupní, anaglyf. V příloze je ukázka několika anaglyfů, které byly vytvořeny v tomto programu a je zde uvedena také ukázka zdrojového kódu programu. Snímky byly vyfotografovány autorem.

8 Použité informační zdroje

- [1] KLÍMA, J. *Binokulární vidění a výroba anaglyfů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 24 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Petr Fedra.
- [2] HLAVÁČ, Miloslav. *Zaostření – exposice, základy dobrého obrázku*. Praha, Nakladatelství Jaroslav Spousta, 1946. 64s.
- [3] ZAPLATÍLEK, Karel; DOŇAR, BOHUSLAV. *MATLAB pro začátečníky*. 2.vydání, BEN – technická literatura, Praha, 2007, 152 s, ISBN – 80-7300-175-6.
- [4] ZAPLATÍLEK, Karel; DOŇAR, BOHUSLAV. *MATLAB – tvorba uživatelských aplikací*. 1.vydání, BEN – technická literatura, Praha, 2004, 216 s, ISBN – 80-7300-133-0.
- [5] ČÍŽEK, P. *Prostorové zobrazování*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra informatiky a výpočetní techniky, 2005. 56 s. Vedoucí diplomové práce Petr Lobaz.
- [5] ŠVEC, M. *Binokulární vidění a výroba anaglyfů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 20 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Petr Fedra.
- [6] DUBOIS, Eric; *A projection method to generate anaglyph stereo images*. Ottawa: Univesity of Ottawa, School of Information Technolohy and Engineering. [pdf verze].
- [7] SIGMON, Kermit. *Matlab Primer CZ*. [online] 2002 [cit. 11. února 2002]. Dostupné na WWW: < <http://artax.karlin.mff.cuni.cz/~beda/cz/matlab/primercz/matlab-primer.html> >
- [8] PÍHAN, Roman. *Fotoškola – 4.díl: Clona a vše kolem ní*. *Digimanie.cz* [online]. [cit. 3. dubna 2006]. Dostupné na WWW: < http://www.digimanie.cz/art_doc-73C2184FD265A7C1C1257144003195D8.html >
- [9] Klub stereoskopické fotografie. [online] 2009. Dostupné na WWW: < <http://klub.stereofotograf.eu/index.php> >
- [10] QUACH, Quan. *Matlab Gui Tutorial – Plotting Data to Axes*. *Blinkdagger*. [online]. [cit. 31. října 2007]. Dostupné na WWW: < <http://blinkdagger.com/matlab/matlab-gui-tutorial-plotting-data-axes/2> >
- [11] MATLAB® CENTRAL. *An open exchange for the Matlab and Simulink user community* [online]. 2009. Dostupné na WWW: < <http://www.mathworks.com/matlabcentral/index.html> >
- [12] WIKIPEDIE. *Imax*. [online]. 2008 [cit. 8. prosince 2008]. Dostupné na WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Imax> >.

- [13] GALI – 3D. Pasivní stereoskopie. [online]. 2005 – 2009. Dostupné na WWW: <
<http://www.gali-3d.com/cz/techno-passive-stereo/techno-passive-stereo.php> >.

9 Seznam zkratk a symbolů

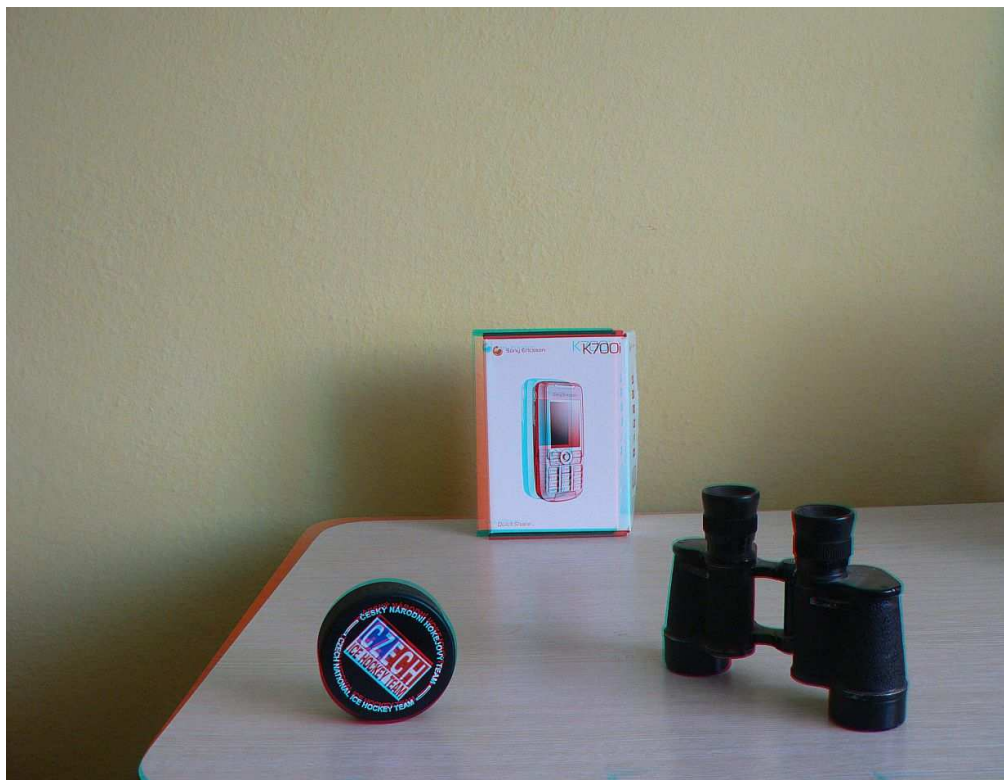
JBV	Jednoduché binokulární vidění
BV	Binokulární vidění
CNS	Centrální nervový systém
LO	Levé oko
PO	Pravé oko
3D	Třírozměrná
LCD	Displej z tekutých krystalů
IMAX	Formát velkorozměrového kinematografického systému
RGB	Barevný prostor složený ze tří barev (červená,zelená,modrá)
RED	Anglické slovo pro „červený“
CYAN	Anglické slovo pro „modrozelený(azurový)“

10 Seznam příloh

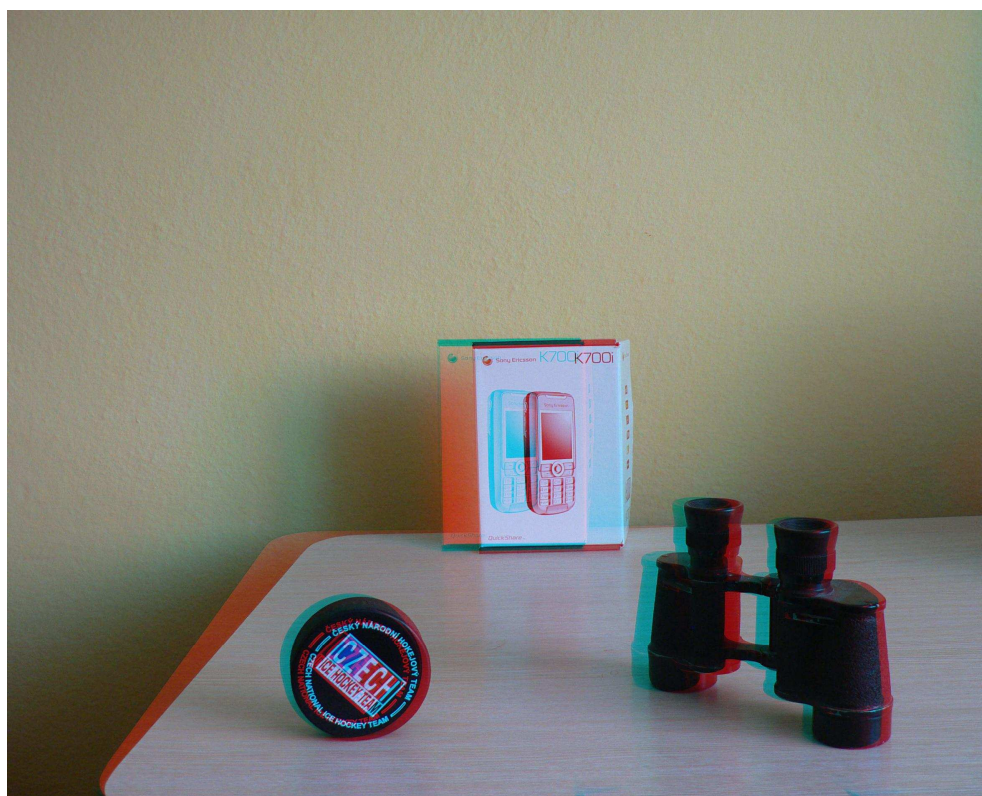
PŘÍLOHA 1. UKÁZKY ANAGLYFU

PŘÍLOHA 2. PŘÍKLAD ZDROJOVÉHO KÓDU PROGRAMU

Příloha 1. Ukázky anaglyfu



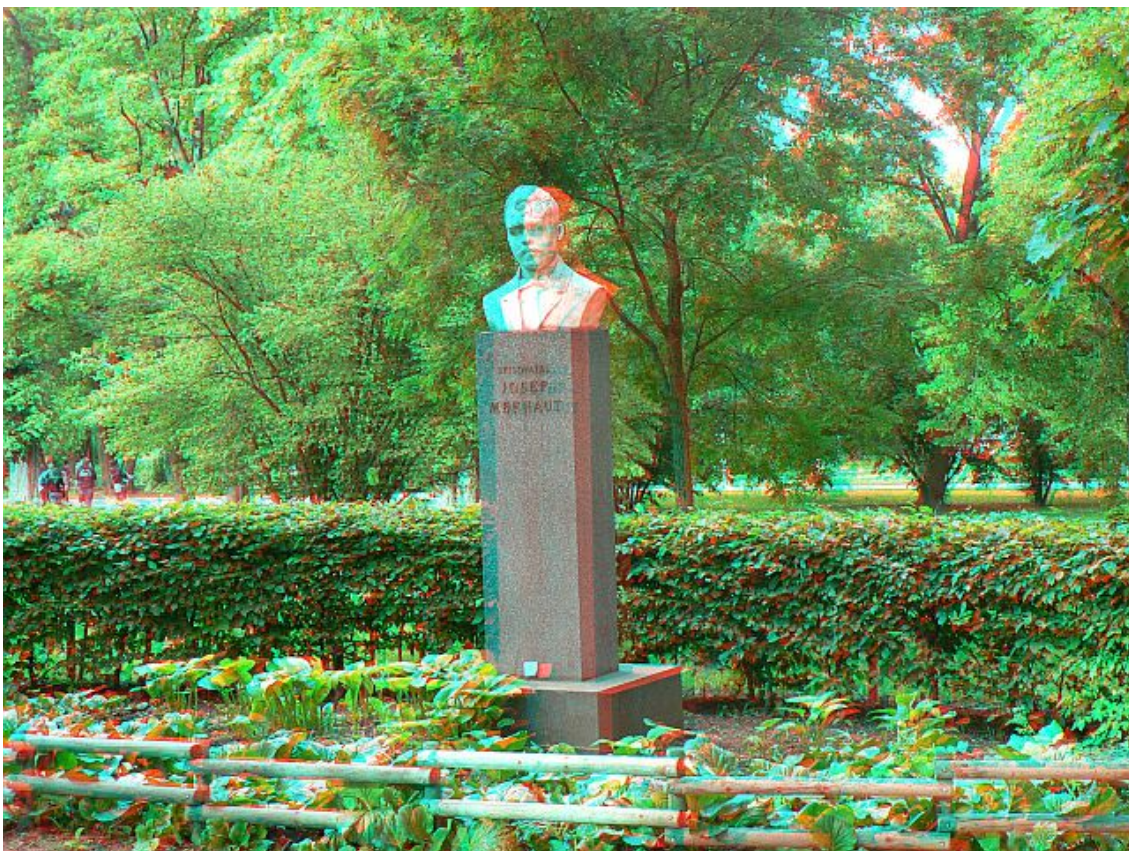
a) scéna 1 – posun objektivů $d = 20\text{mm}$



b) scéna 1 – posun objektivů $d = 40\text{mm}$



c) scéna 1 – posun objektivů $d = 60\text{mm}$



d) Busta v parku Lužánky



d) Stromy



d) Jan Žižka - pohled



e) Jan Žižka

Příloha 2. Příklad zdrojového kódu programu

Zdrojový kód programu Anaglyf

```
function plotAxes1_pushbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)

global input_image1 levy_on pravy_on %definice globalnich promennych
[FileName,PathName] = uigetfile('*.jpg;*.bmp','Vyberte levý snímek',
    'MultiSelect','off');
    if FileName == 0 % možnost stlačení tlačítka storno, či zrušení, návrat
        do programu
            return
        else
            end
input_image1=imread([PathName,FileName]); % nacte snímek
axes(handles.axes1) %definice axes pro vykreslení
axes1 = imshow(input_image1); %vykreslení snímku do axes
levy_on = 1; %nastavení parametru
    if ((pravy_on==1) & (levy_on==1)) %nastavení podmínky, zda jsou nacteny
        oba snímky
            set(handles.radiobutton1,'enable','on')
            set(handles.radiobutton2,'enable','on') %povolení, zobrazení tlačítek
            radiol = 1; % nastavení parametru
        else
            end
pravy_on=0;
-----

function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

global radiol radio2
set(handles.radiobutton1,'value',1) %nastavení radiobutton na hodnotu 1
set(handles.radiobutton2,'value',0)
radiol = 1;
radio2 = 0;
set(handles.pushbutton8,'enable','on')
set(handles.pushbutton9,'enable','on')
-----

function pushbutton9_Callback(hObject, eventdata, handles)

global radiol radio2 radiol input_image1 input_image2 output_image
    if (radiol==1) %pokud je zatrženo radiobutton1, vytvoří anaglyf typu red-
        cyan
        cerveny = ones(size(input_image1));
        cerveny(:, :, 1) = double(input_image1(:, :, 1));
        modrozeleny = ones(size(input_image2));
        modrozeleny(:, :, 2:3) = double(input_image2(:, :, 2:3));
    else %jinak nic
        end
    if (radio2==1) %pokud je zatrženo radiobutton2, vytvoří anaglyf typu
        cyan-red
        cerveny = ones(size(input_image2));
        cerveny(:, :, 1) = double(input_image2(:, :, 1));
        modrozeleny = ones(size(input_image1));
        modrozeleny(:, :, 2:3) = double(input_image1(:, :, 2:3));
    else %jinak nic
        end
output_image=uint8(modrozeleny+cerveny); % aditivní smíchání dvou snímků v
    jeden anaglyf
```

```
axes(handles.axes5)
axes5 = imshow(output_image);
set(handles.pushbutton4, 'enable', 'on')
set(handles.pushbutton11, 'enable', 'on')
set(handles.pushbutton10, 'enable', 'on')
```

Zdrojový kód části programu - Stereoskopické okno

```
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

global radio12 input_image10 input_image20
if (radio12==1) % zatržena uprava leveho snimku
    input_image10(1,:,:)=[]; % odebrani prvnioho radku matice, snimku
    input_image20(end,:,:)=[]; % odebrani posledního radku matice, snimku
    axes(handles.axes1)
    axes1 = image(uint8(input_image10));
    axes(handles.axes2)
    axes2 = image(uint8(input_image20));
else
    input_image20(1,:,:)=[];
    input_image10(end,:,:)=[];
    axes(handles.axes1)
    axes1 = image(uint8(input_image10));
    axes(handles.axes2)
    axes2 = image(uint8(input_image20));
end
```

Vysvětlivky:

plotAxes1_pushbutton_Callback - zpětné volání na tlačítko *Levý snímek*
radiobutton1_Callback - zpětné volání na radiobutton - *red-cyan*
pushbutton9_Callback - zpětné volání na tlačítko *Vytvoř anaglyf*
pushbutton2_Callback - zpětné volání na tlačítko *Horní*