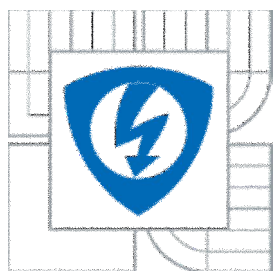


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

BINOKULÁRNÍ VIDĚNÍ

BINOCLULAR VISION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN AMBROS

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR FEDRA

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Martin Ambros
Ročník: 3

ID: 120590
Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Binokulární vidění

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

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 MATLABu s ohledem na promítání stereoskopického videa v temné místnosti pomocí dataprojektoru / dataprojektorů. Proveďte subjektivní hodnocení ve skupině pozorovatelů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GANONG, William F. Přehled lékařské fyziologie. Praha: Nakladatelství a vydavatelství H&H, 1995.
[2] HLAVÁČ, Václav, ŠONKA, Milan. 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. 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá fyziologií binokulárního vidění pro získání prostorového vjemu z dvourozměrných obrázků pasivními a aktivními technologiemi. Na počátku je popsána fyziologie lidského zraku a binokulárního vidění i s jeho vývojem v dětství. Navazující kapitola je věnována historii a hlavním technologiím stereoskopického zobrazování jako je anaglyf, INFITEC, technologie využívající polarizace světla, stmívací brýle, head mounted display, autostereoskopické displeje a jejich kombinace. Dále popisuje postup při návrhu snímání dynamické scény pomocí dvou identických videorekordérů. V poslední části práce je popsána realizace snímání dynamické scény, zpracování v programu Matlab a výsledky subjektivního hodnocení skupinou pozorovatelů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Binokulární vidění, stereoskopická paralaxa, horopter, stereoskopie, anaglyf, INFITEC polarizační projekce, autostereoskopický displej.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the physiology of binocular vision for the acquisition of spatial effect from two-dimensional images passive and active technologies. At the beginning is described physiology of the human sight and binocular vision with his ontogeny in childhood. Next section is devoted to history and main stereoscopic technology like anaglyph, INFITEC, technology using polarization light, shutter glasses, head mounted display, autostereoscopic displays and their combination. Further it describes procedure by proposal of scanning dynamic scene by the help of two identic videorecorders. In the last part of this work is described implementation of scanning dynamic scene, processing in a program Matlab and results of subjective classification by group of observers.

KEYWORDS

Binocular vision, stereoscopic parallax, horopter, stereoscopy, anaglyph, INFITEC, polarization projection, autostereoscopic display.

AMBROS, M. *Binokulární vidění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 34 s, 2 přílohy. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Petr Fedra.

PROHLÁŠENÍ

Jako autor bakalářské práce na téma Binokulární vidění 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 27. května 2011

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petr Fedra 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

OBSAH	VI
SEZNAM OBRÁZKŮ	VIII
SEZNAM TABULEK	VIII
1 ÚVOD	1
2 FYZIOLOGIE VIDĚNÍ	2
2.1 ZRAK	2
2.2 ANATOMIE OKA	2
2.3 VZNIK OBRAZU	3
2.3.1 <i>Optický aparát oka</i>	3
2.3.2 <i>Obraz na sítnici</i>	4
2.3.3 <i>Běžné oční vady</i>	4
3 FYZIOLOGIE BINOKULÁRNÍHO VIDĚNÍ	5
3.1 ZORNÉ POLE	5
3.1.1 <i>Výpadky zorného pole</i>	5
3.2 BINOKULÁRNÍ VIDĚNÍ	6
3.2.1 <i>Stereoskopická paralaxa</i>	7
3.2.2 <i>Horoptyer</i>	8
3.3 VÝVOJ BINOKULÁRNÍHO VIDĚNÍ	8
3.3.1 <i>Podmínky normálního vývoje binokulárního vidění</i>	9
3.3.2 <i>Stupně jednoduchého binokulárního vidění</i>	9
4 STEREOSKOPIE	10
4.1 HISTORIE.....	10
4.2 PASIVNÍ STEREOSKOPICKÉ TECHNOLOGIE	10
4.2.1 <i>Anaglyf</i>	10
4.2.2 <i>INFITEC</i>	12
4.2.3 <i>Polarizace světla</i>	13
4.3 AKTIVNÍ STEREOSKOPICKÉ TECHNOLOGIE.....	14
4.3.1 <i>Brýle s tekutými krystaly</i>	14
4.3.2 <i>Head mounted display</i>	15
4.4 SMÍŠENÉ STEREOSKOPICKÉ TECHNOLOGIE	15
4.5 AUTOSTEREOSKOPICKÉ DISPLEJE	16
4.6 SROVNÁNÍ	17
5 NÁVRH SNÍMÁNÍ DYNAMICKÉ SCÉNY	18
5.1 POLOHA VIDEOREKORDÉRŮ	18
5.2 POSTAVENÍ OS VIDEOREKORDÉRŮ	19
5.3 VZÁJEMNÁ ROZTEČ OBJEKTIVŮ	20
5.4 HLoubKA OSTROSTI	21
5.5 SYNCHRONIZACE VIDEOREKORDÉRŮ	21
5.6 DYNAMICKÁ SCÉNA	22
5.7 SHRnutí NÁVRHU	22
6 REALIZACE SNÍMÁNÍ DYNAMICKÉ SCÉNY	24
6.1 EXPERIMENTY	24
6.2 ZPRACOVÁNÍ	25
6.2.1 <i>Program stereovideo</i>	25
6.2.2 <i>Technologie zpracování</i>	26
6.3 PROJEKCE.....	27
6.3.1 <i>Anaglyfická projekce</i>	27
6.3.2 <i>Polarizační projekce</i>	28

6.4	SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ SKUPINOU POZOROVATELŮ	28
7	ZÁVĚR	31
	LITERATURA.....	32
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	34
	SEZNAM PŘÍLOH.....	34

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1:	HORIZONTÁLNÍ ŘEZ PRAVÝM OKEM. AP - PŘEDNÍ PÓL; PP – ZADNÍ PÓL; VA – OPTICKÁ OSA (PŘEVZATO Z [1]).	2
OBR. 2:	LOM SPOJNOU ČOČKOU: A) ROVNOBĚŽNÝ PAPERSEK; B) ROZBÍHAVÝ PAPERSEK A AKOMODACE (PŘEVZATO Z [1]).	3
OBR. 3:	OBRAZ NA SÍTNICI (PŘEVZATO Z [1]).	4
OBR. 4:	MONOKULÁRNÍ (MODŘE VYBARVENÁ ČÁST) A BINOKULÁRNÍ ZORNÉ POLE (PROSTŘEDNÍ NEVYBARVENÁ ČÁST) (PŘEVZATO Z [1]).	5
OBR. 5:	NÁSLEDKY POŠKOZENÍ ZRAKOVÝCH DRAH (PŘEVZATO Z [3]).	6
OBR. 6:	STEREOSKOPICKÁ PARALAXA PŘI POZOROVÁNÍ BODU P (PŘEVZATO Z [4]).	7
OBR. 7:	TEORETICKÝ HOROPTER, EMPIRICKÝ HOROPTER A PANUMOVA OBLAST.	8
OBR. 8:	SOUČTOVÝ BAREVNÝ MODEL RGB (PŘEVZATO Z [23]).	10
OBR. 9:	SCHÉMA STEREOSKOPICKÉHO PROJEKCE TECHNOLOGIÍ ANAGLYF (PŘEVZATO Z [10]).	11
OBR. 10:	TECHNOLOGIE INFITEC (PŘEVZATO Z [12]).	12
OBR. 11:	SCHÉMA STEREOSKOPICKÉ PROJEKCE TECHNOLOGIÍ POLARIZACE SVĚTLA (PŘEVZATO Z [10]).	13
OBR. 12:	SCHÉMA STEREOSKOPICKÉ PROJEKCE TECHNOLOGIÍ BRÝLÍ S TEKUTÝMI KRYSTALY (PŘEVZATO Z [10]).	14
OBR. 13:	HEAD MOUNTED DISPLAY.	15
OBR. 14:	POLARIZAČNÍ MODULÁTOR (PŘEVZATO Z [16]).	15
OBR. 15:	PRINCIP AUTOSTEREOSKOPIE: A) PARALAXNÍ BARIÉRA; B) LENTIKULÁRNÍ ČOČKY (PŘEVZATO Z [13]).	16
OBR. 16:	VZÁJEMNÉ POZICE A NATOČENÍ VIDEOREKORDÉRŮ (PŘEVZATO Z [19]).	18
OBR. 17:	POSTAVENÍ OS OBJEKTIVŮ: A) OSY PARALELNÍ; B) OSY KONVERGUJÍCÍ; C) OSY DIVERGUJÍCÍ.	19
OBR. 18:	URČENÍ STEREOSKOPICKÉ BÁZE (PŘEVZATO Z [22]).	20
OBR. 19:	NÁVRH DYNAMICKÉ SCÉNY.	22
OBR. 20:	DŮLEŽITÉ PARAMETRY PŘI SNÍMÁNÍ (PŘEVZATO Z [19]).	23
OBR. 21:	NAVRŽENÁ SNÍMACÍ APARATURA.	23
OBR. 22:	NÁHLED PROGRAMU STEREOVIDEO.	25
OBR. 23:	NÁHLED VYTVOŘENÝCH ANAGLYFŮ: A) „RED-CYAN,“ B) „CYAN-RED.“	26
OBR. 24:	NÁHLED FORMÁTŮ PRO POLARIZAČNÍ PROJEKCI: A) „SIDE BY SIDE,“ B) „TOP AND BOTTOM.“	27
OBR. 25:	SNÍMEK PRO SYNCHRONIZACI PROJEKTORŮ.	28
OBR. 26:	VÝSLEDKY ANAGLYFICKÉ PROJEKCE.	29
OBR. 27:	VÝSLEDKY POLARIZAČNÍ PROJEKCE.	30

SEZNAM TABULEK

TAB. 1:	VÝVOJ BINOKULÁRNÍCH REFLEXŮ.	9
TAB. 2:	SROVNÁNÍ STEREOSKOPICKÝCH TECHNOLOGIÍ [10].	17
TAB. 3:	ZÁKLADNÍ PARAMETRY VIDEOREKORDÉRU PANASONIC NV-GS55.	18

1 ÚVOD

Binokulární vidění je mechanismus, který umožňuje člověku vnímat okolní svět prostorově. Tedy vnímat vzdálenost předmětů. Obecně vidění je velmi složitý fyziologický proces skládající se z mnoha dalších dílčích procesů. Od samotné funkce pravého a levého oka přes jejich vzájemnou spolupráci až po výsledné zpracování v mozku. Tento mechanismus však není vrozený a je nutný jeho vývoj, který probíhá v dětství. Právě na zkušenostech z dětství poté staví náš mozek při vnímání prostoru. Hlavně pokud vnímá prostor monokulárně jedním okem nebo při vnímání prostoru z dvojrozměrných obrázků.

Cílem této bakalářské práce je rozebrat možnost získání prostorového vjemu z dvourozměrných obrázků za pomoci aktivních a pasivních brýlí, navrhnout snímání dynamické scény pomocí dvou identických videorekordérů, realizovat snímání, získaná data zpracovat v MATLABu a provést subjektivní hodnocení ve skupině pozorovatelů. Druhá kapitola práce je věnována samotnému oku, vzniku obrazu a běžným očním vadám, které narušují vjem obrazu okem. Protože pro správný vjem prostoru binokulárním viděním je nutný i správný vjem jednotlivých očí.

Následující třetí kapitola popisuje samotné binokulární vidění. Jeho zorné pole a možné formy výpadků zorného pole při přerušení jednotlivých drah zrakového nervu do mozku. Základní pojmy jako stereoskopická paralaxa a horopter, které jsou důležité pro vjem hloubky a vzdálenosti objektů. Dále vývoj probíhající od narození až do ustálení všech binokulárních reflexů. A nakonec podmínky normálního vývoje binokulárního vidění společně se stupni jednoduchého binokulárního vidění.

Čtvrtá kapitola pojednává o základních možnostech prezentace stereoskopického materiálu. Jsou zde popsány nejfrekventovanější pasivní a aktivní technologie, které se využívají v praxi. Z pasivních je to anaglyf, na podobném principu pracující INFITEC a polarizace světla. Z aktivních technologií, které zakládají svou funkci na tekutých krystalech, jsou to stmívací brýle s tekutými krystaly a „head mounted display.“ Dále také jejich možné vzájemné kombinace, např. využití polarizačního modulátoru.

V páté kapitole je rozebrán návrh snímání dynamické scény, tedy jak vzájemně umístit videorekordéry, jak zajistit jejich synchronizaci a jaké nastavit parametry. Je zde také uveden návrh snímané dynamické scény a konečný vzhled navržené snímací aparatury.

Poslední kapitola je věnována realizaci praktické části řešení bakalářské práce. Popisuje experimentování při snímání dynamické scény, program stereovideo vytvořený pro zpracování nasnímaných videosekvencí do různých formátů, anaglyfickou a polarizační projekci a nakonec také uvádí výsledky subjektivního hodnocení ve skupině pozorovatelů.

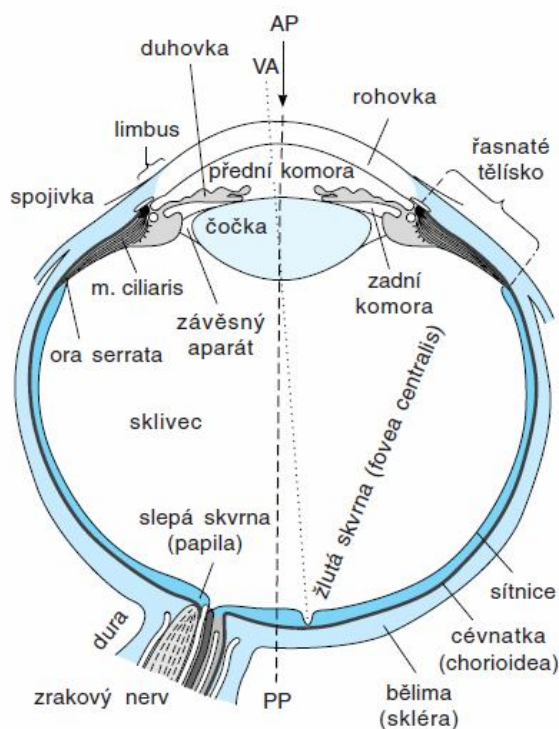
2 FYZIOLOGIE VIDĚNÍ

2.1 Zrak

Zrak je nejdůležitější lidský smysl, který nám dává možnost vizuálního poznání okolního světa, tedy světla, barev a tvarů, což je asi 80% všech vnímaných informací. Významně se také podílí na orientaci v prostoru a určování vzdálenosti. Z technického hlediska je možné představit si zrak jako senzor či kameru (oko), která posílá data po datové lince (zrakový nerv) do počítače (mozek), který je schopen z přijatého signálu vyvozovat různé závěry, například překážku či hrozící nebezpečí. Počítač však nedovede zpracovat daný signál tak jako mozek.

2.2 Anatomie oka

Světlo vstupuje do oka přes vnější ochrannou vrstvu bulbu (oční koule), tzv. skléru (bělma) postupně přecházející přes cévnatku v průhlednou rohovku. Cévnatka je pigmentová vrstva obsahující mnoho cév, které vyživují veškeré struktury oka. Množství světla procházejícího přes rohovku do čočky reguluje duhovka. Je to neprůhledná barevná (určuje barvu oka) pigmentová vrstva obsahující cirkulární a radiální svalová vlákna, která mohou zužovat nebo rozšiřovat zornici a tím tedy až pětinasobně měnit množství procházejícího světla. Mezi rohovkou a čočkou se nachází přední komora vyplněná komorovou vodou, která se tvoří v řasnatém tělísku.



Obr. 1: Horizontální řez pravým okem. AP - přední pól; PP – zadní pól; VA – optická osa (převzato z [1]).

Čočka je průhledný útvar, který umožňuje akomodaci (zaostření) oka. Je zavěšená na vláknecích kruhového závěsného aparátu, tvořeného kruhovými i podélnými svalovými vlákny. Při pohledu do dálky se vlákna závěsného aparátu napnou a čočka se sploští, hlavně její přední strana. Při pohledu do blízka se vlákna závěsného aparátu uvolní a čočka se díky své pružnosti vrátí do původního stavu. Po průchodu čočkou přes čirou rosolovitou hmotu zvanou sklivce končí světlo svou cestu dopadem na sítnici.

Sítnice pokrývá vnitřní stranu bulbu až k řasnatému tělísku mimo místo, kde zrakový nerv opouští bulbus, tzv. slepá skvrna. Na povrchu sítnice se těsně pod krycí epitelovou vrstvou nachází fotoreceptory, které tvoří synaptická spojení s bipolárními buňkami. Ty se napojují na buňky gangliové a jejich axony se sbíhají ve zrakový nerv ústící do mozku. Fotoreceptory sítnice tvoří asi 6 milionů čípků a asi 120 milionů tyčinek. Tyčinky jsou citlivé na světlo a slouží pro vidění za šera (skotopické vidění). Nejsou tedy schopné rozlišovat detaily, obrysy ani barvy. Naopak čípky mají mnohem větší citlivost. Jejich systém má mnohem větší ostrost, tudíž zajišťuje vidění za jasného denního světla (fotopické vidění) a rozeznávání barev.

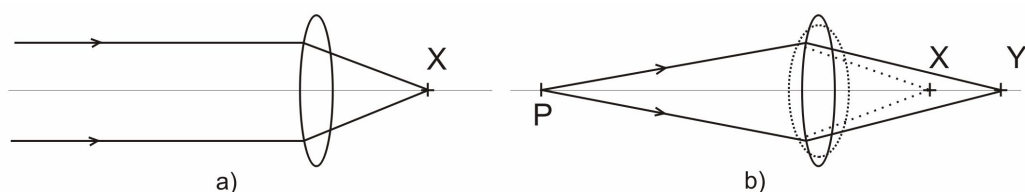
V místě, kde optická osa protíná sítnici (viz. Obr. 1), je světle žlutě pigmentovaná skvrna (žlutá skvrna). Zde je sítnice ztenčená a zcela bez tyčinek. Velká hustota čípků, které jsou synapticky spojeny jen s jednou bipolární buňkou a dále jednou gangliovou buňkou tvoří přímou dráhu až do mozku. Je to místo největší zrakové ostrosti. Pokud je tedy pozornost zaměřena na nějaký předmět, pohybuje se oko tak, aby světelné paprsky z něho vyzařované dopadaly právě na žlutou skvrnu [1, 2].

2.3 Vznik obrazu

Mechanismus vzniku obrazu je založen na přeměně okem viditelné světelné energie, v rozmezí vlnových délek přibližně 400-720nm, na akční potenciály vláken zrakového nervu, které jsou vybudeny receptorovými potenciály v tyčinkách a čípcích. Tyto vzruchy putují zrakovým nervem do mozku, kde vyvolají zrakový vjem.

2.3.1 Optický aparát oka

Na rozhraní dvou prostředí s různou hustotou dochází k ohybu (lomu) dopadajících světelných paprsků, pokud nedopadají na rozhraní kolmo. Optický aparát oka se skládá z několika rozhraní, je to složený optický systém. Je možné ho zjednodušit na jednoduchý optický systém (tzv. redukované oko). Paprsky světla odražené od předmětů vzdálenějších než 6 metrů, které lze z praktických důvodů považovat za rovnoběžné, se při dopadu na bikonvexní čočku (spojná čočka) lámou do hlavního ohniska (v našem případě sítnice). Hlavní ohnisko leží na hlavní ose (viz. Obr. 2), tedy na přímce spojující středy křivosti obou ploch čočky.

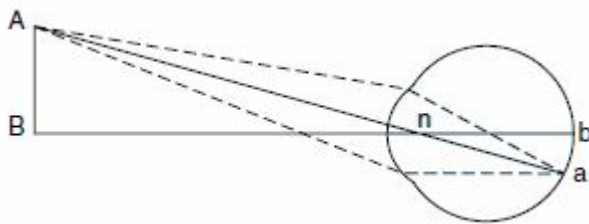


Obr. 2: Lom spojnou čočkou: a) rovnoběžný paprsek; b) rozbíhavý paprsek a akomodace (převzato z [1]).

Naopak paprsky odražené od předmětů bližších jak 6 metrů se rozbíhají, tudíž se lámou do bodu na hlavní ose dále, než je hlavní ohnisko. Tyto předměty jsou neostře, proto je nutné zvětšit zakřivení čočky. Proces změny zakřivení čočky se nazývá akomodace. Při akomodaci je oko u mladých jedinců schopné zvětšit svou optickou mohutnost až o 12 dioptrií [1, 2].

2.3.2 Obraz na sítnici

Ve skutečnosti se světlo v oku láme na přední ploše rohovky a na přední a zadní ploše čočky. Ovšem podobně jako v minulém případě je možné tuto soustavu zjednodušit a to na lom na přední ploše rohovky, bez velkého vlivu na výsledek. Rohovka funguje díky svému vypouklému tvaru také jako čočka, ale s neměnnou velikostí své mohutnosti.



Obr. 3: Obraz na sítnici (převzato z [1]).

Jak je vidět na Obr. 3, obraz předmětu na sítnici je převrácený a zmenšený. Ovšem spojení receptorů sítnice je uspořádáno takovým způsobem, že všechny tyto obrácené obrazy se od narození vnímají jako přímé a promítají se do opačné strany zorného pole [1, 2].

2.3.3 Běžné oční vady

Hypermetropie, neboli dalekozrakost je vada u lidí, kteří mají kratší bulbus a rovnoběžné paprsky světla se jim lámou za sítnici. Vada se kompenzuje brýlemi se spjnými čočkami, které zvýší optickou mohutnost oka a tím zkrátí ohniskovou vzdálenost.

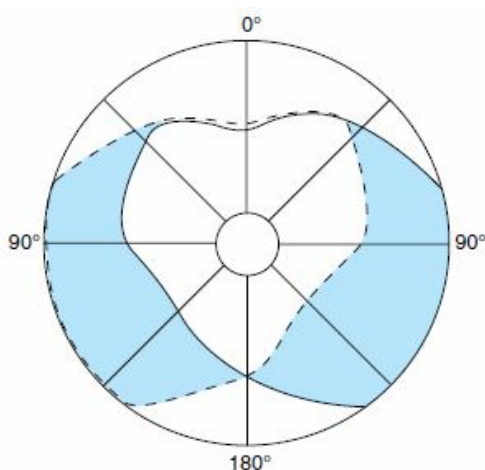
Myopie, neboli krátkozrakost je vada, kde lidé jí postiženou mají bulbus delší a rovnoběžné paprsky se jim lámou před sítnici. Tato se kompenzuje také brýlemi, ale s rozptylnými čočkami, které rovnoběžné paprsky vstupující do oka mírně rozptýlí.

Astigmatismus je vada, při které není rohovka rovnoměrně zakřivená. Znamená to tedy, že obrazy lámající se na různě zakřivené rohovce se nestkají ve stejném ohnisku na sítnici a výsledný obraz je rozmazaný. Tato vada se koriguje brýlemi s válcovými čočkami, které jsou umístěné tak, aby zajistily stejnou refrakci na celé rohovce [1, 2, 4].

3 FYZIOLOGIE BINOKULÁRNÍHO VIDĚNÍ

3.1 Zorné pole

Zorné pole oka je výseč okolního světa, které daným fixovaným okem vidíme. Teoreticky by měl jeho tvar být kruhový, prakticky je však omezen na straně nosem a nahoře nadočnicovým obloukem. Zorné pole jednoho oka je přibližně 130° ve svislém a 160° ve vodorovném směru. U obou očí je velikost zorného pole ve vodorovném směru přibližně 200° .

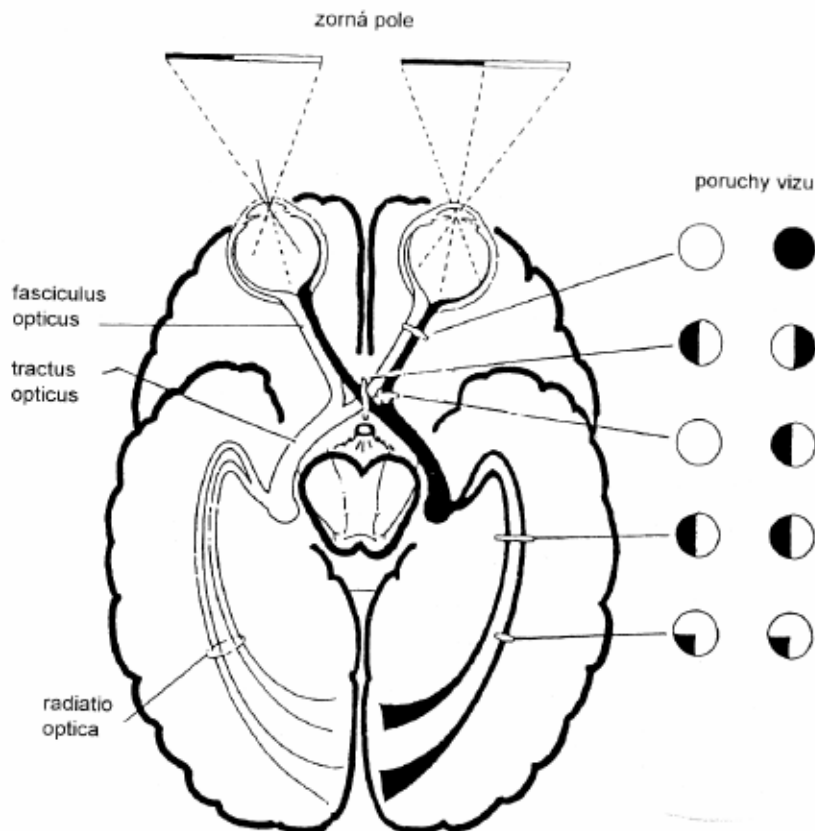


Obr. 4: Monokulární (modře vybarvená část) a binokulární zorné pole (prostřední nevybarvená část) (převzato z [1]).

Spojené zorné pole obou očí má dvě základní oblasti (viz. Obr. 4). První oblast je uprostřed zorného pole, v této oblasti člověk vidí binokulárně. V úplném středu binokulárního zorného pole navíc vidíme nejostřeji, protože paprsky odrážející se do oka od předmětů umístěné v této oblasti dopadají do žluté skvrny. Druhá oblast navazuje na oblast první a je to zorné pole monokulární. Periferní (okrajové) části zorného pole se zjišťují pomocí perimetru metodou zvanou perimetrie [1, 2].

3.1.1 Výpadky zorného pole

K výpadkům zorného pole může dojít z mnoha příčin (šilhání, zelený zákal, šedý zákal,...), některé ovlivňují pouze binokulární vidění, některé i vidění monokulární. Jednou z příčin může být i přerušení zrakových cest z oka do mozkové kůry. Důsledky přerušení zrakového nervu a výsledná podoba zorného pole je zobrazena na Obr. 5 [1, 2, 3].



Obr. 5: Následky poškození zrakových drah (převzato z [3]).

3.2 Binokulární vidění

Binokulární vidění nebo také vidění prostorové je především závislé na součinnosti obou očí, proto je oblast prostorového vidění omezena pouze na binokulární zorné pole (viz. Obr. 4). Při vnímání vzdálenosti (hloubky obrazu) se důležitá úloha připisuje právě binokulárnímu vidění, ovšem vzdálenost je vnímána i monokulárně, a to na základě relativní velikosti předmětů (perspektiva), jejich stínech a i na jejich vzájemném pohybu, pokud se pohybují. I přesto binokulární vidění přispívá k lepšímu uvědomění si hloubky prostoru a proporcí.

Při pozorování předmětu se osy obou očí natáčejí tak, aby se v předmětu protnuly. Je to tzv. konvergence očních os. Při pohledu do dálky jsou osy obou očí teoreticky rovnoběžné. Konvergence očních os musí být koordinována s akomodací a také s okohybnými svaly aby bylo možné sledovat i pohybující se předměty.

Vzruchy na sítnici vyvolané dopadem paprsků sledovaného předmětu, splývají v jediný obraz (fúze). V obou očích vznikají obrazy na sdružených místech (korespondující body), která se na sítnici vytvořila zkušeností z dětství. Aby sledovaný obraz mohl být vnímán binokulárně jako jediný předmět, musí paprsky dopadnout právě do korespondujících bodů.

Obrazy splývající z obou očí v jeden zrakový vjem se od sebe z důvodu různé polohy očí poněkud liší. Středů očních zornic jsou od sebe vzdáleny 56 až 72 mm (průměrně 65 mm). Odlišnost obrazů je příčinou stereoskopického (prostorového) vidění [1, 2, 4].

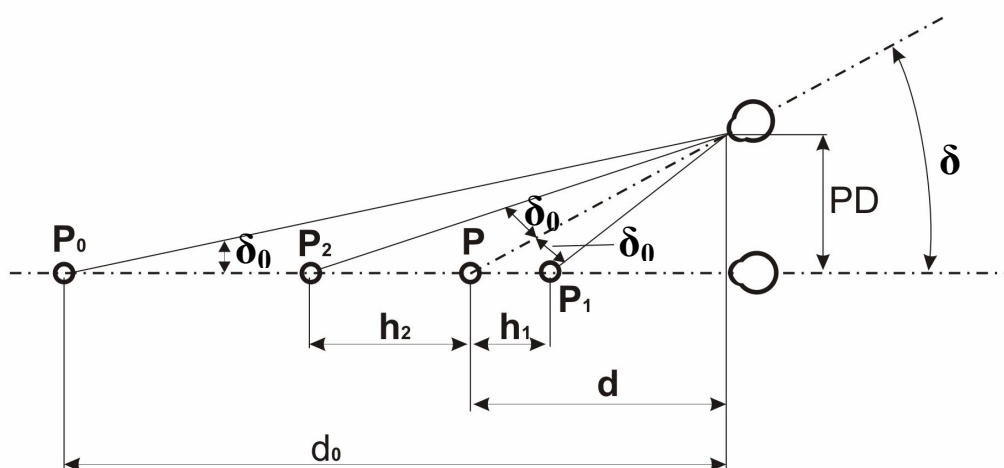
3.2.1 Stereoskopická paralaxa

Stereoskopická paralaxa (paralaktický úhel) je úhel, který svírají oční osy při pozorování předmětu (viz . úhel δ v Obr. 6). Je určena vztahem [4]:

$$\operatorname{tg}(\delta) = \frac{PD}{d}, \quad (1)$$

kde d je vzdálenost předmětu a PD je vzájemná vzdálenost očí.

Pokud je absolutní hodnota rozdílu stereoskopických paralax $|\delta - \delta_1|$ větší nebo rovna než mez stereoskopického vidění, která se pohybuje v intervalu $\delta_0 \in \langle 10; 30 \rangle''$, jsou dva předměty P, P_1 vnímány v různé vzdálenosti.



Obr. 6: Stereoskopická paralaxa při pozorování bodu P (převzato z [4]).

Při pozorování předmětu, který je dále než bod P_0 přestáváme rozlišovat jeho vzdálenost od nekonečna. Vzdálenost d_0 určuje poloměr stereoskopického vidění a lze ji určit ze vztahu [4].

$$d_0 = \frac{PD}{\operatorname{tg}(\delta_0)}. \quad (2)$$

U průměrného člověka s rozstupem očí $PD = 65\text{mm}$ a s mezí stereoskopického vidění $\delta_0 = 20''$ činí poloměr stereoskopického vidění zhruba 650 m. V nejpříznivější kombinaci PD a δ_0 může být poloměr stereoskopického vidění až 1,5 km.

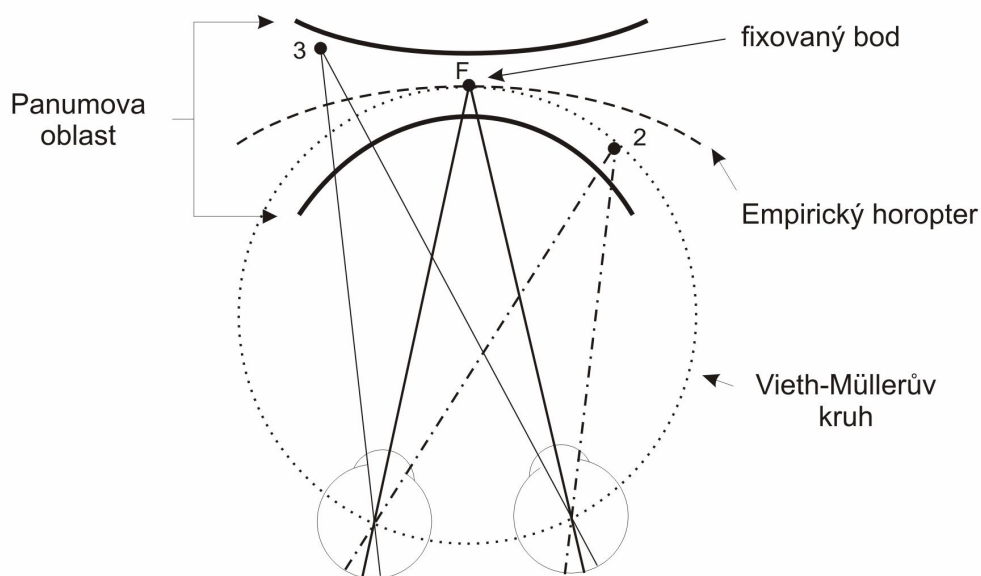
Pokud pozorujeme předmět ve vzdálenosti d , jsou ostatní předměty vnímány jako bližší, jsou-li skutečně vzdáleny o vzdálenost h_1 a jako vzdálenější, jsou-li skutečně vzdáleny o vzdálenost h_2 [4].

$$h_1 \geq \frac{d^2}{d_0 + d} ; h_2 \geq \frac{d^2}{d_0 - d} \quad (3)$$

3.2.2 Horopter

Horopter je souhrn všech bodů v prostoru, které jsou oběma očima zobrazovány v korespondujících bodech obou sítnic, tudíž je vidíme jednoduše. Paprsky, které vycházejí z bodů mimo horopter jsou vidět dvojitě (diplopie).

Vieth-Müllerův kruh určující teoretický horopter je zobrazen na Obr. 7. Na základě pokusů však bylo zjištěno, že navzájem korespondující si body sítnice nemusí ležet pouze přesně na kružnici teoretického horopteru, vznikl empirický horopter. Kolem horopteru je tzv. Panumova oblast. Je to oblast, ve které je oko ještě schopné vnímat předměty binokulárně. Mimo tuto oblast jsou již předměty vnímány diplopicky (dvojitě) [1, 2].



Obr. 7: Teoretický horopter, empirický horopter a Panumova oblast.

3.3 Vývoj binokulárního vidění

Binokulární vidění není vrozené a jeho vývoj u člověka probíhá v období od narození do 6 let věku a je stručně popsán v Tab. 1. Tento vývoj je velmi důležitý, protože člověk získává praktické zkušenosti, díky kterým je pak schopen vnímat hloubku i monokulárně.

Dojde-li však při vývoji binokulárního vidění k nějaké poruše, přeruší se normální vývoj a pokračuje dále patologicky (s vadou). Nejčastější vady jsou strabismus (šilhání – nerovnováha očních svalů), suprese (potlačení vnímání z šilhajícího oka), amblyopie (tupozrakost – snížená zraková ostrost) a anomální retinální korespondence (vytvoření špatných korespondujících bodů na sítnici při šilhání). Z preventivních a léčebných důvodů je nutné léčit tyto vady co nejdříve po jejich zjištění, protože lze obnovit pouze to binokulární vidění, které se již stihlo vyvinout [5, 6].

Tab. 1: Vývoj binokulárních reflexů.

Stáří dítěte	Vývoj reflexů	Praktický význam
Do 2. měsíců	Monokulární fixační reflex	Dítě se dívá střídavě jen jedním okem
2. měsíc	Binokulární fixační reflex	Dítě se začíná dívat společně oběma očima
3. měsíc	Reflexy konvergence a divergence	Dítě již dovede sledovat bližší a vzdálenější předměty
4. měsíc	Reflex akomodace	Dítě dovede zaostřovat bližší a vzdálenější předměty
6. měsíc	Reflex fúze	Centrální schopnost dítěte spojovat obrazy obou očí v jeden smyslový vjem
6.-12. měsíc	Zlepšení binokulárních reflexů na základě dotykových reflexů	U dítěte se začíná vyvíjet prostorové a hloubkové vidění
Do 6 let věku	Získávání zkušeností	Binokulární reflexy se zdokonalují a stabilizují

3.3.1 Podmínky normálního vývoje binokulárního vidění

Podmínky tvoří dvě složky a to senzorické a motorické. Mezi senzorické složky patří normální vidění obou očí, přibližně stejně velké sítnicové obrazy, centrální fixace obou očí, normální retinální korespondence, schopnost fúze a normální funkce zrakových drah a center.

Součástí motorické složky je přibližně paralelní postavení očí při pohledu do dálky, volná pohyblivost očí ve všech směrech, normální funkce motorických drah a center a koordinace akomodace a konvergence [5, 6].

3.3.2 Stupně jednoduchého binokulárního vidění

Jednoduché binokulární vidění je schopnost koordinované senzorické spolupráce obou očí, která zajišťuje vytvoření jednoduchého obrazu pozorovaného předmětu. Dělíme ho na tři stupně. Prvním stupněm je schopnost superpozice, tedy vidět současně oběma očima.

Druhý stupeň je fúze, schopnost spojit oba obrazy v jeden smyslový vjem. Fúze může být senzorická (psychický a fyziologický děj) a motorická (protnutí zrakových os v pozorovaném předmětu). Třetím stupněm je tzv. stereopse, jde o schopnost vytvořit vjem hloubky spojením obrazů [6].

4 STEREOSKOPIE

4.1 Historie

Stereoskopie se v praxi využívá zhruba od 30. let 19. století, kdy Charles Wheatstone zkonstruoval první přístroj pro pozorování stereoskopických dvojic kreslených obrázků. Zájem o stereofotografii se dočkal dvou největších vln. První byla v šedesátých letech 19. století a způsobil jí vynález komory se dvěma objektivy a vnitřní přepážkou. Druhá vlna přišla na přelomu 19. a 20. století, kdy se začala využívat stereofotografie tištěná.

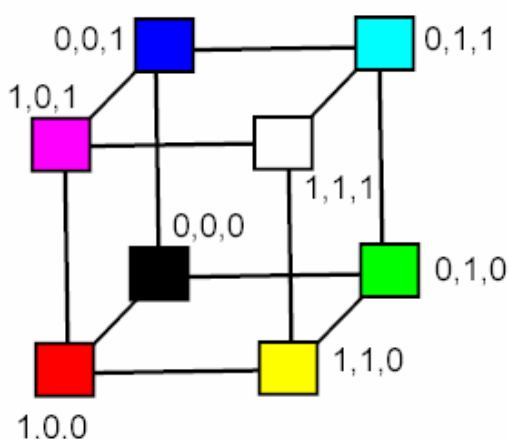
První stereoskopické filmy se datují na přelom 19. a 20. století. Ve 20. letech 20. století proběhla také první veřejná projekce stereoskopického filmu. Promítalo se na principu anaglyfu s červeným a zeleným filtrem. V 50. letech přišel další boom, ale když se začaly stereoskopické filmy hojně natáčet po celém světě, zájem lidí brzy opadl. K dalšímu rozvoji stereoskopických filmů došlo až s příchodem kin IMAX [8, 9].

4.2 Pasivní stereoskopické technologie

U pasivních technologií dochází k oddělení obrazů pro jednotlivé oči tím, že si divák nasadí brýle, které nejsou žádným způsobem propojeny s promítací aparaturou. Tyto brýle pracují na principu barevných filtrů nebo využívají polarizaci světla.

4.2.1 Anaglyf

Aby bylo možné využít plného rozlišení promítacího zařízení musí se levý a pravý obraz zobrazit na celou plochu. Obrazy se na ploše překrývají, což znamená ztrátu prostorové informace. Proto je nutné jednotlivé obrazy pro levé a pravé oko od sebe oddělit. U anaglyfu k tomuto oddělení dochází pomocí barevných filtrů na principu doplňkových barev.



Obr. 8: Součtový barevný model RGB (převzato z [23]).

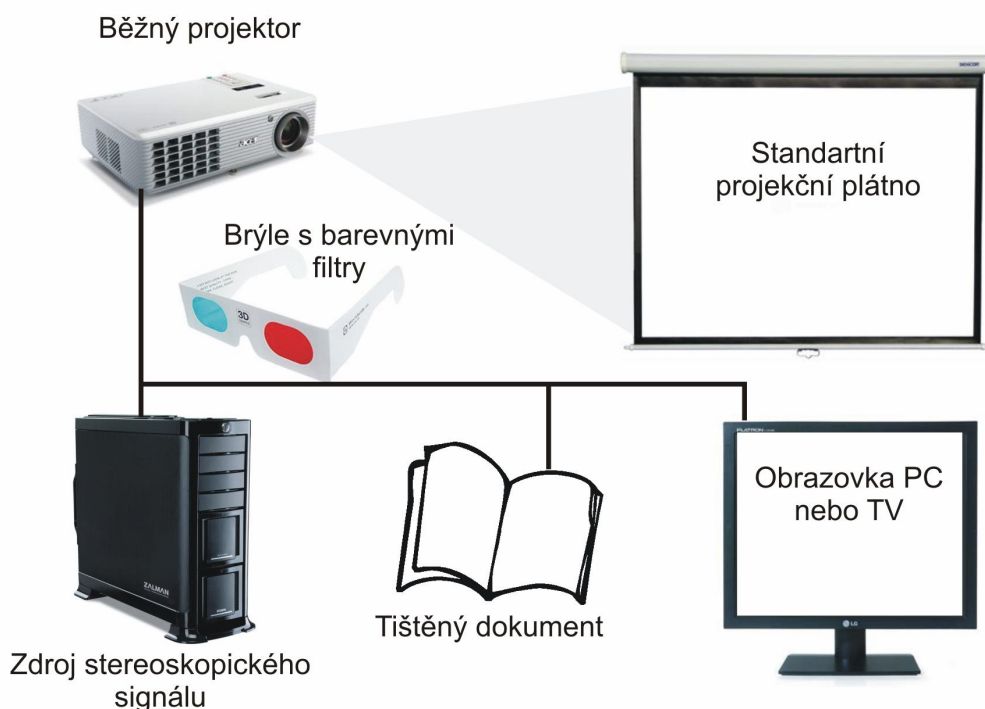
Doplňkové (komplementární) barvy jsou barvy, jejichž součtem získáme bílou barvu. Tyto barvy jsou umístěny naproti sobě v součtovém RGB barevném modelu na Obr. 8, jež lze

vyjádřit pomocí jednotkové krychle, v jejímž počátku leží černá barva (0,0,0) a v protilehlém vrcholu barva bílá (1,1,1)[23]. Základní doplňkové barvy jsou červená s azurovou, zelená s purpurovou a modrá se žlutou. Pro anaglyf jsou nejčastěji využívané kombinace červené a azurové barvy. Existuje nepsané pravidlo, že červený filtr je pro levé oko a azurový pro oko pravé.

Podle tohoto nepsaného pravidla se tedy ze snímku určeného pro levé oko odfiltruje červená (azurový/zelený filtr) složka a ze snímku určeného pro pravé oko se odfiltruje složka azurová/zelená (červený filtr) a výsledné obrazy přeložíme jeden přes druhý.

Výhodou této technologie je její lehká dostupnost. Brýle je možné si bez větších problémů vyrobit doma a pro fotografie existuje spousta volně šiřitelných programů, v kterých si lze svým digitálním fotoaparátem vyfocené snímky převést do anaglyfického zobrazení. Obrovskou výhodou anaglyfu je jeho jednoduché přehrávání nebo prohlížení obrázků, animací či videa všemi možnými způsoby bez nutnosti speciální techniky. Je možné pozorovat je na monitoru počítače (LCD i CRT), na televizní obrazovce, promítat je pomocí obyčejného projektoru na standardní projekční plátno a je možné je vydávat i v tištěné podobě. Stačí mít k dispozici brýle s barevnými filtry (viz. Obr. 9).

Nevýhodou anaglyfického zobrazení je citelná barevná ztráta způsobená tím, že každé oko vidí scénu odlišně zabarveně. Mozek se sice snaží tyto ruchy co nejvíce eliminovat, ale barevné podání a výsledný stereoskopický vjem není tak dokonalý jako u ostatních technologií [10, 11].



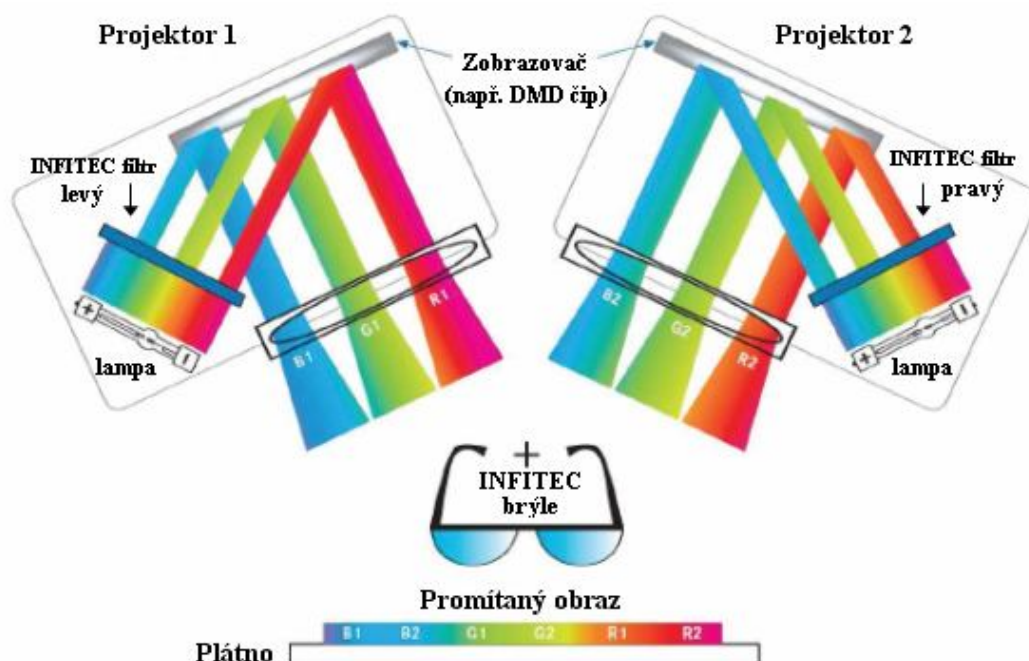
Obr. 9: Schéma stereoskopické projekce technologií anaglyf (převzato z [10]).

4.2.2 INFITEC

Systém Infitec (Interferenz filter technology) pracuje na podobném principu jako anaglyf, ale místo jedné barvy pro levé oko a druhé barvy pro pravé oko využívá pro každé oko tři základní barvy (RGB) na mírně posunutých vlnových délkách, je to tzv. vlnový multiplex. Např. pro levé oko R1 629 nm, G1 532 nm, B1 446 nm a pro pravé oko R2 615 nm, G2 518 nm, B2 432 nm. V systému Infitec, jak již napovídá význam zkratky, se využívá úzkopásmových interferenčních filtrů s velkou hodnotou činitele jakosti Q, který zajišťuje vysokou selektivitu filtrů.

Využívá se dvou obyčejných projektorů (viz.Obr. 10), které jsou doplněny o úzkopásmové interferenční filtry umístěné buď uvnitř (mezi lampou a zobrazovačem), nebo vně přichycené před objektivem. Při pozorování scény má divák před očima umístěné brýle, jejichž skleněný substrát je opatřen několika dielektrickými vrstvami, které také plní funkci úzkopásmových interferenčních filtrů. Pro ty, kteří potřebují brýle s korekcí nějaké oční vady, mohou být vrstvy filtru nanесeny i na skleněném substrátu s korekcí. Nutností je použití stejně laděných filtrů jak u brýlí, tak u projektoru. Pro projekci se nepoužívá žádná speciální plocha, jedinou podmínkou je, aby zachovávala spektrální složení rozptýleného světla.

Výhodou systému Infitec je plně barevná schopnost odlišení kanálů levého a pravého oka (standardně 1:1000), kompatibilita s bílou projekční plochou (pro mobilní a přenosné prezentace) a standardními filmovými plátny. Což je velmi výhodné pro využití v kinech, kdy je možné na jednom plátně a s jedním typem projektoru kombinovat 2D a 3D filmy. Lze využít přední i zadní projekce [12, 14].



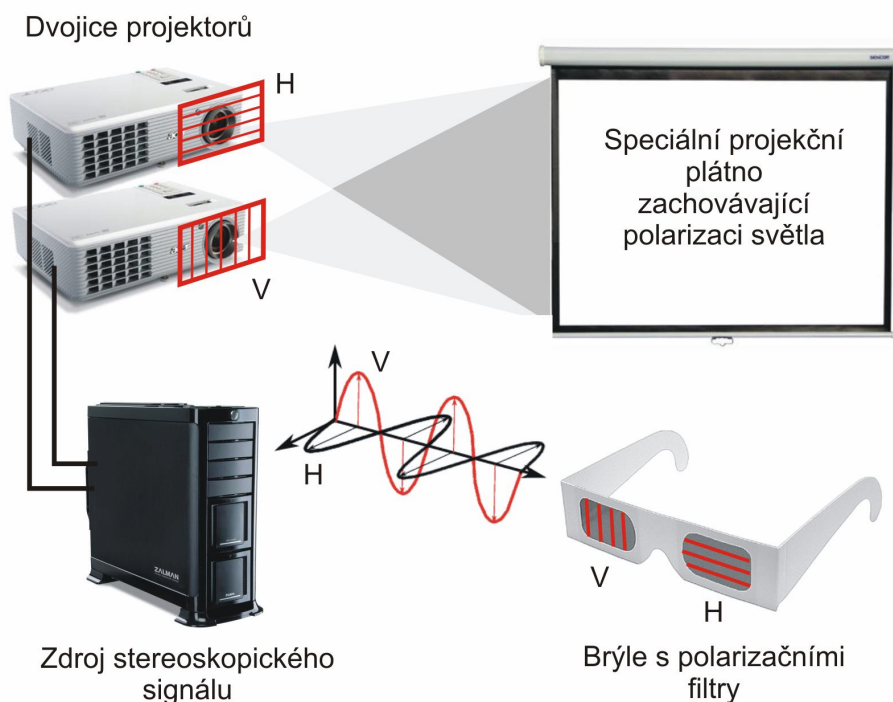
Obr. 10: Technologie INFITEC (převzato z [12]).

4.2.3 Polarizace světla

Světlo vyzářené projektorom (mimo projektorů s LCD zobrazovačem), není nijak polarizované, to znamená, že elektromagnetické vlny nejsou stejně orientovány. Přidáním polarizačních filtrů lze tedy dosáhnout rozlišení obrazu pro pravé a levé oko. A tohoto principu se také využívá. Brýle, kterými divák sleduje danou scénu jsou opatřeny polarizačními filtry tím způsobem, že například levá očníce má při využití lineární polarizace filtr orientovaný horizontálně a pravá očníce má filtr oproti levé očníci pootočen o 90° a jeho polarizace je tedy vertikální. Stejně orientované musí být i filtry použité u dvou projektorů (jeden pro levý obraz a druhý pro pravý obraz), aby obraz určený pro levé oko prošel levou očnící brýlí do levého oka a obraz určený pravému oku prošel pravou očnící brýlí do pravého oka a mohlo dojít k prostorovému vjemu pozorované scény (viz Obr. 11). U této technologie je též nutné použití speciálního projekčního plátna, které je vyrobeno ze speciálního materiálu a opatřeno povrchem zachovávajícím polarizaci světla (např. s postříbeným povrchem). Nelze také použít již výše zmiňované projektory s LCD zobrazovačem, protože ty již polarizované světlo vyzářují.

Při využití lineární polarizace je nutné, aby pozorovatel scénu pozoroval vždy kolmo k promítací ploše, protože při velkém vychýlení hlavy neprojde polarizované světlo odražené od projekční plochy přes polarizační filtry v brýlích tak, jak by mělo a nedojde k prostorovému vjemu. Tomuto problému se lze vyhnout použitím kruhové polarizace.

Výhodou této technologie je kvalitní a stabilní obraz ve vysokém rozlišení, je tedy vhodná pro promítání pro větší počet lidí. Proto se této technologii využívá ve standardních kinech IMAX 3D. Nevýhodou je však nutnost použití dvou projektorů, využití speciálního plátna zachovávajícího polarizaci světla a také to, že nelze touto technologií zobrazovat na monitoru PC nebo TV a nelze ji tedy využívat ani v tištěné formě [10, 11, 24].



Obr. 11: Schéma stereoskopické projekce technologií polarizace světla (převzato z [10]).

4.3 Aktivní stereoskopické technologie

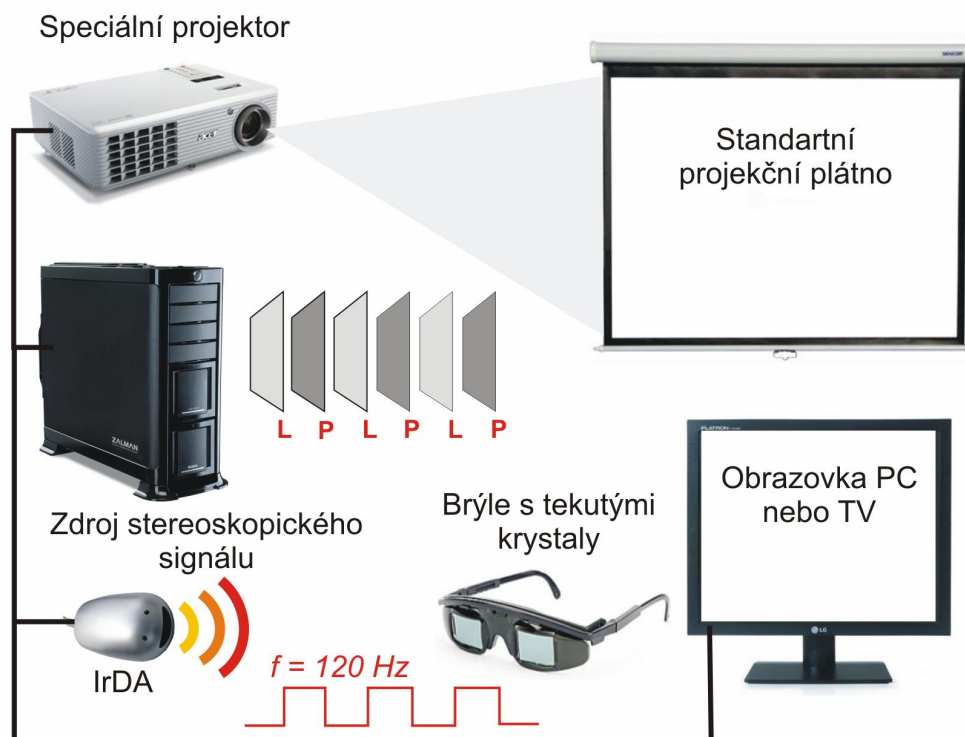
V případě aktivních technologií mohou být brýle synchronizovány se zobrazovačem nebo mohou být přímo zdrojem signálu. Využívá se zde vlastností tekutých krystalů.

4.3.1 Brýle s tekutými krystaly

Principem této technologie (viz. Obr. 12) je spolupráce brýlí, které mají místo skel LCD panely s promítací aparaturou. Důležitá je jejich společná synchronizace, která se zajišťuje pomocí infračerveného paprsku (IrDA) nebo kabelem. V očních brýlích nejsou použity klasické LCD panely, které známe např. z obrazovek televizorů, ale panely v podobě tenkých skel, které se v závislosti na synchronizačním impulsu jednotlivě zatmívají. Pokud tedy zařízení vysílá obraz pro levé oko, dá signál brýlím, aby zatemnily pravé oko a naopak. Tím je zajištěno, že obraz určený pro levé oko se dostane pouze do levého oka a obraz určený pro pravé oko pouze do pravého oka. Pro správný prostorový vjem je nutné, aby k tomuto přepínání docházelo dostatečně rychle a oko nebylo schopné blikání rozeznat. Proto promítací aparatura řadí snímky pro pravé a levé oko proloženě za sebou s frekvencí 100-120 Hz (tzv. časový multiplex).

U této technologie není potřeba používat žádné speciální plátno nebo monitor, je pouze nutné, aby zařízení bylo schopné vysílat obrazy s frekvencí 120 Hz. Na výstupu je poté kvalitní plnobarevné zobrazení s možností i vysokého rozlišení. Výhodou je také její dostupnost, s využitím obrazovky TV nebo PC je možné i její domácí využití.

Nevýhodou však je, že každý pozorovatel musí mít poměrně složité elektronické brýle. Technologie není vhodná pro velký počet pozorovatelů. Pro promítání je navíc potřeba nestandardní specializovaný projektor [10, 13].



Obr. 12: Schéma stereoskopické projekce technologií brýlí s tekutými krystaly (převzato z [10]).

4.3.2 Head mounted display

Head mounted display (v překladu na hlavě nasazený displej) jsou takové brýle, které mají místo skel malé LCD displeje (viz Obr. 13). Protože by oko nebylo schopné na tak malou vzdálenost zaostřit, je před každým displejem optická soustava, která zajistí stejný vjem, jako při sledování velké stereoskopické projekce z větší vzdálenosti. Prostorový vjem je u této technologie velice silný, protože brýle mají pro každé oko zvláštní LCD displej a tím je zaručeno, že se obraz dostane přesně do toho oka, do kterého byl směřován.

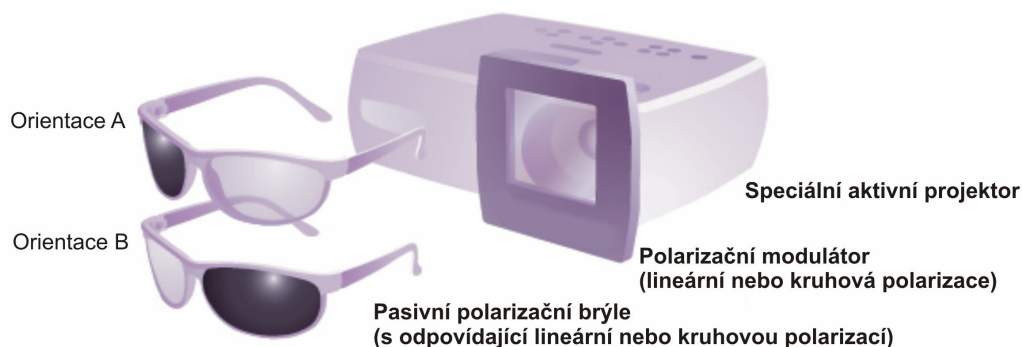


Obr. 13: Head mounted display.

Velice často jsou tyto brýle spojeny se snímačem pohybu, který snímá polohu hlavy nebo celé postavy a příslušný software umožní změnu sledované scény v závislosti na získané informaci o poloze či pohybu. Vytváří také v kombinaci s 3D zvukem dojem tzv. virtuální reality. Tato technologie může být využita pro nejrůznější aplikace včetně her, sportu, techniky, stejně jako v medicíně, vědě a armádě [11, 13, 15].

4.4 Smíšené stereoskopické technologie

Z důvodu využití výhodných vlastností pasivních a aktivních technologií vznikla kombinace pasivních polarizačních brýlí s jedním aktivním projektorem a polarizačním modulátorem. Polarizační modulátor je synchronně propojen s projektorem a umístěn před jeho objektivem. Projektor musí být, stejně jako při využití brýlí s tekutými krystaly, schopen pracovat s frekvencí snímků 120 Hz. Pokud projektor vysílá obraz pro levé oko, je polarizační modulátor přepnut do jedné polarizační roviny a když vysílá projektor obraz pro pravé oko, je modulátor přepnut do druhé polarizační roviny (Obr. 14). Výhodou je také jednodušší instalace, protože není nutné mechanicky seřizovat dva projektory.



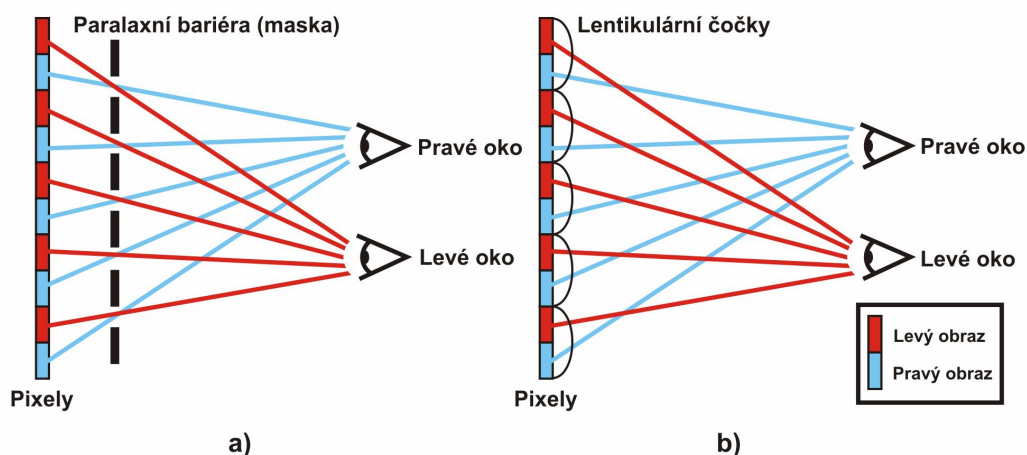
Obr. 14: Polarizační modulátor (převzato z [16]).

Ovšem s kombinací výhod se kombinují i nevýhody, a to jak použití speciálního plátna zachovávajícího polarizaci dopadajícího světla, tak nutnost aktivního projektoru zvládajícího frekvenci 120 Hz. Tuto smíšenou technologii také nelze použít pro zobrazení na monitoru.

Obdobně jako u výše uvedené kombinace lze zkombinovat také systém Infitec s aktivním projektorom, a to tak, že využijeme jednoho aktivního projektoru s dvěma interferenčními filtry, které se pro obrazy levého a pravého oka střídají a brýlí Infitec s odpovídajícími interferenčními filtry [10, 11, 12, 14, 16].

4.5 Autostereoskopické displeje

Pro získání prostorového vjemu ze zobrazované scény bez použití brýlí slouží autostereoskopické displeje, které vysílají obrazy pro levé a pravé oko odděleně do prostoru. Pokud je pozorovatel ve správné poloze před obrazovkou, může vnímat hloubku obrazu. U autostereoskopických obrazovek se využívá dvou technologií a to paralaxní bariéry a lentikulárních čoček (viz. Obr. 15). U obou technologií je využito metody prostorového multiplexu (rozlišení displeje je rozděleno do několika náhledů). Jako displej se nejčastěji používá panel LCD, jehož horizontální rozlišení je rozděleno do dvou skupin pixelů. Jedna skupina jsou liché sloupce pixelů a druhá skupina sudé sloupce pixelů. Z těchto skupin se šíří do prostoru dva obrazy (pro levé a pravé oko) tak, aby dopadaly do odpovídajícího oka diváka.



Obr. 15: Princip autostereoskopie: a) paralaxní bariéra; b) lentikulární čočky (převzato z [13]).

U paralaxní bariéry je před displejem umístěna maska, která jednomu oku brání vidět obraz pro druhé oko a povoluje mu vidět obraz určený pro něj. Tato bariéra může být konstruována jako vrstva tekutých krystalů, kterou lze zprůhlednit a díky tomu je možné libovolně přecházet z 2D na 3D zobrazení a naopak. Protože stereoskopický obraz je možné vnímat pouze z jednoho úhlu pohledu a z určité vzdálenosti, může být displej s maskou z tekutých krystalů doplněn o kameru, která snímá polohu hlavy a obrazovka tak může v závislosti na její poloze masku upravovat a umožnit iluzi hloubky i při horizontální změně náhledu.

Při použití lentikulárních čoček je před obrazovkou umístěna soustava cylindrických čoček, které směřují obrazy pro jednotlivé oči do specifikované pozorovací zóny, takže v optimální vzdálenosti uvidí každé oko pro sebe určený obraz. Tyto displeje jsou však trvale

v módu 3D a nelze je přepnout do 2D zobrazení.

Autostereoskopické displeje se dělí do dvou skupin v závislosti na počtu náhledů na displej. První skupinu tvoří Dvounáhledové displeje, které mají pouze jedno pozorovací okno a může je sledovat pouze jeden pozorovatel, který navíc, když změní náhled, přijde o iluzi hloubky. Tuto skutečnost lze kompenzovat snímáním polohy hlavy. Druhou skupinou jsou vícenáhledové displeje, které mají pozorovacích oken více. U těchto displejů je možné měnit náhledy na scénu a může ji pozorovat i několik diváků současně (každý ze svého úhlu pohledu) [10, 11, 13, 17].

4.6 Srovnání

Jednotlivé stereoskopické technologie se využívají v různých odvětvích a každá z nich za jiných podmínek. Některé jsou využívány v různých modifikacích v systémech 3D kin (Dolby 3-D – systém Infitec s aktivním projektořem; Masterimage – kruhová polarizace za využití polarizačního modulátoru; Real-D – kruhová polarizace světla pomocí dvou projektořů; XPanD – aktivní projektor a brýle s tekutými krystaly). Dále pro reklamní účely (autostereoskopické displeje), firemní prezentace, tištěné 3D dokumenty (anaglyf), domácí použití, atd. [10, 18].

Tab. 2: Srovnání stereoskopických technologií [10].

	Barevná informace	Vhodné pro projekci	Zobrazení na monitoru	Tištěné dokumenty	Počet diváků	Náklady
Anaglyf	ztrátová	ano	ano	ano	vysoký	velmi nízké
INFITEC	plná	ano	ne	ne	vysoký	vyšší
Polarizace světla	plná	ano	ne	ne	vysoký	střední
Stmívací brýle	plná	ano	ano	ne	omezený	vyšší
HMD	plná	ne	ne	ne	jeden	vyšší
Autostereoskopický displej	plná	ne	ano	ne	velmi omezený	vyšší
Smíšené (aktivní projektor + pasivní brýle)	plná	ano	ne	ne	vysoký	střední

5 NÁVRH SNÍMÁNÍ DYNAMICKÉ SCÉNY

Při snímání dynamické scény jsou důležité hlavně dvě věci a to jak snímat a co snímat, aby při výsledném zpracování bylo dosaženo požadovaného kvalitního prostorového vjemu. Pro návrh a následnou realizaci snímání dynamické scény jsem měl k dispozici dva identické videorekordéry Panasonic NV-GS55, jejichž základní parametry jsou uvedené v Tab. 3.

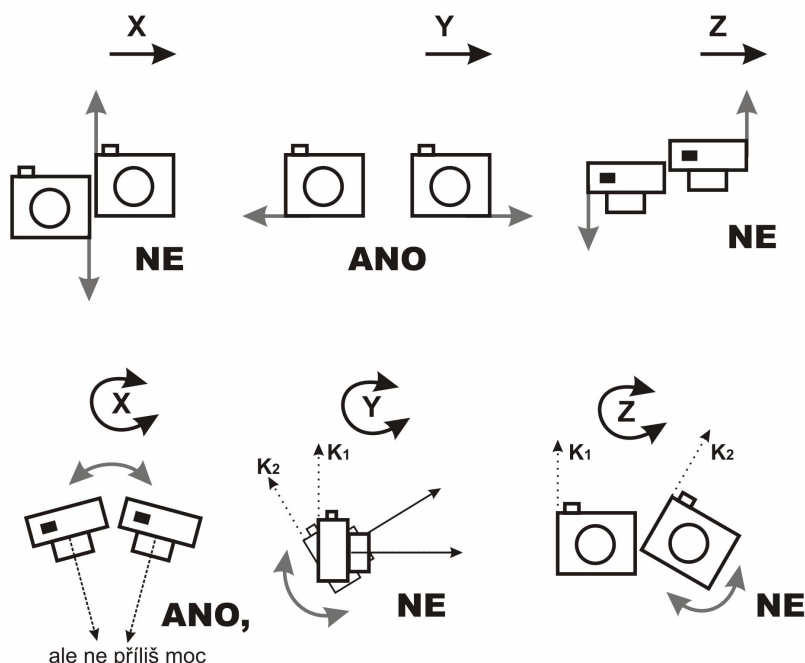
Tab. 3: Základní parametry videorekordéru Panasonic NV-GS55

Rozměry (Š x V x D)	[mm]	63 x 78 x 99
Obrazový senzor		1/6" CCD (800k pixelů)
Ohnisková vzdálenost objektivu	[mm]	2,3 – 23,0

První část návrhu se zabývá snímací aparaturou. Tedy vzájemnou polohou videorekordérů, postavením os objektivů, jejich vzájemnou roztečí, hloubkou ostrosti a spouštěním. Mnou snímaná dynamická scéna bude snímána staticky, to znamená že nastavení snímací aparatury se nebude během průběhu dynamické scény měnit [19, 20, 21].

5.1 Poloha videorekordérů

Na Obr. 16 jsou zobrazeny možnosti vzájemné pozice a natočení videorekordérů umístěných na snímací aparatuře. Vzájemné polohy označené „NE“ nejsou pro získání kvalitního stereoskopického videozáznamu vhodné, vzájemné změny polohy označené „ANO“ je možné využívat, ale některé pouze do určité míry [19].

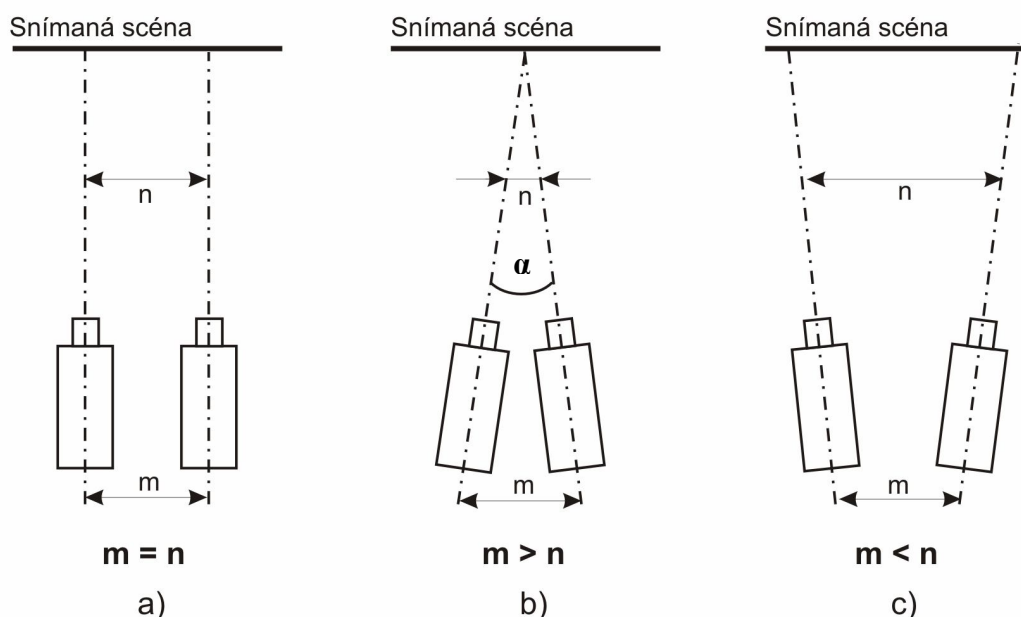


Obr. 16: Vzájemné pozice a natočení videorekordérů (převzato z [19]).

Z tohoto důvodu je vhodné umístit oba videorekordéry na stativ se stativovým nástavcem, který zaručí, že oba videorekordéry budou vzájemně umístěny tak, jak dovoluje Obr. 16. Pro tento účel jsem navrhl a vyrobil stativový nástavec s délkou 50 cm, který jsem využíval při natáčení svých videosekvencí.

5.2 Postavení os videorekordérů

Jsou celkem tři možnosti jak lze vzájemně nastavit osy objektivů videorekordérů (viz. Obr. 17). První způsob je paralelní vedení os objektivů, který je nejčastěji využívaným a doporučovaným způsobem. Výhodou této metody je, že vzniká pouze požadovaná horizontální paralaxa (rozdíl pravého a levého obrazu spočívá pouze v horizontálním posuvu).



Obr. 17: Postavení os objektivů: a) osy paralelní; b) osy konvergující; c) osy divergující.

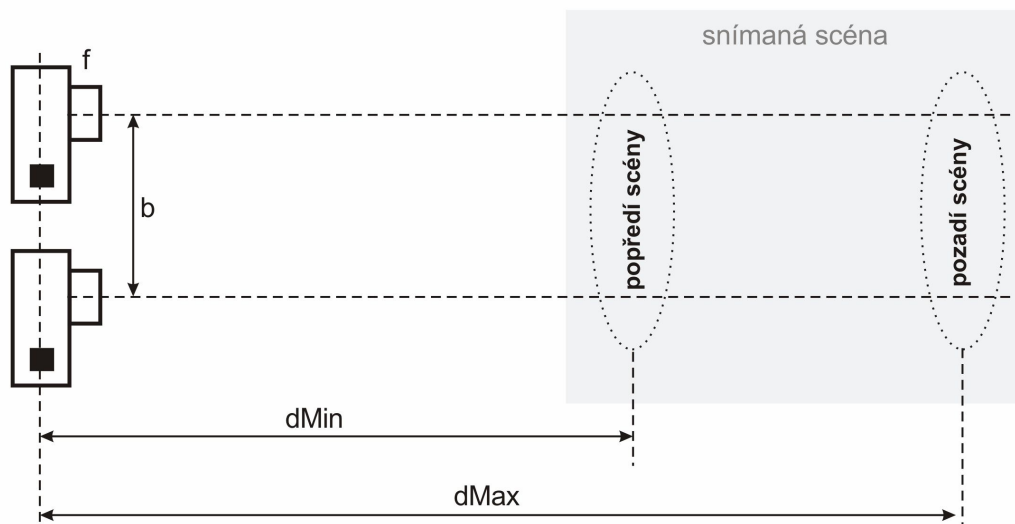
Druhou využívanou metodou je konvergující vedení os objektivů, kdy se osy protínají v pozorovaném objektu.. Tento způsob je nejvíce podobný reálnému pozorování scény očima, ale má však dvě velká úskalí. První problém nastane při prezentaci divákovi. Divák je totiž nucen sledovat pouze jeden předmět, na který je aparatura ostřena. A pro kvalitní prostorový vjem by bylo nutné zajistit zpětnou vazbu, tedy konvergovat kamery podle očí diváka, což je pro veřejnou projekci nereálné. Druhým problémem je vznik nežádoucí vertikální paralaxy (vertikální rozdíl dvou odpovídajících si bodů), která je způsobena rovinností CCD snímače a filmového pásu na rozdíl od kulovitého tvaru sítnice. Působí velice rušivě a její velikost roste s rostoucí vzdáleností videorekordérů. Metodu lze využít pro pořizování makro záběrů blízkých předmětů, kdy už nelze více přiblížit osy videorekordérů. Je ovšem nutné pamatovat na vertikální paralaxu.

Poslední možností je divergující vedení os objektivů, ovšem tato metoda se v praxi nevyužívá [19, 20, 21].

Pro své experimenty jsem volil rovnoběžné vedení os videorekordérů, protože nevzniká rušivý jev vertikální paralaxy, ale pouze požadovaná horizontální paralaxa.

5.3 Vzájemná rozteč objektivů

Vzájemná rozteč objektivů (stereoskopická báze) je velmi důležitá a velmi záleží na nastavení pozorované scény. Pro předměty, které jsou umístěny blízko objektivů videorekordérů je potřeba objektivy umístit blíže k sobě. Naopak pro předměty vzdálené je pro výsledný prostorový vjem lepší videorekordéry oddálit. Výsledná vzájemná vzdálenost obou objektivů může být i několik metrů při snímání např. vzdáleného pohoří. Toto oddálení objektivů není nutné, ovšem při pozorování nevznikne téměř žádný prostorový vjem, tedy nebude rozdíl mezi pravým a levým snímkem. Takové oddálení je však reálné pouze při snímání statických scén, vytvoření synchronní aparatury pro takový rozsah stereoskopické báze by bylo příliš nákladné [19, 20, 21, 22].



Obr. 18: Určení stereoskopické báze (převzato z [22]).

Existuje jednoduché empirické pravidlo na určení stereoskopické báze tzv. pravidlo 1:30. Pravidlo určuje poměr mezi velikostí stereoskopické báze videorekordérů a vzdáleností nejbližšího snímaného objektu. Ne vždy je však zcela přesné, protože například použitím široké pozorovací obrazovky se může poměr snížit na hodnotu až 1:100 a naopak použitím objektivu s kratší ohniskovou vzdáleností se může tento poměr zvýšit až na hodnotu 1:10 [19].

Stereoskopickou bázi b lze vypočítat také podle jednoduchého vzorečku [22]:

$$b = \frac{k}{f} \cdot \frac{d_{Max} \cdot d_{Min}}{(d_{Max} - d_{Min})}, \quad (4)$$

kde f je ohnisková vzdálenost objektivu, d_{Min} je vzdálenost k popředí scény, d_{Max} je vzdálenost k pozadí scény a k je koeficient požadované paralaxy na snímači.

Hodnota koeficientu k se odvíjí se požadované velikosti paralaxy na obrazovce či plátně, na které se bude výsledný videozáznam promítat. Maximální doporučená hodnota paralaxy je uváděna jako 4% z rozměru obrazovky či plátna. Pro výpočet koeficientu k je tedy potřeba znát velikost pozorovací obrazovky či plátna D , požadovanou velikost maximálního rozdílu mezi pravým a levým snímkem na obrazovce či plátně d a velikost snímacího zařízení

videorekordéru v (velikost snímače CCD nebo velikost kinofilmového políčka) [22]:

$$k = \frac{d}{D} \cdot v. \quad (5)$$

Z těchto skutečností jsem vycházel při návrhu snímání i při návrhu snímané scény. Při horizontálním uložení obou videorekordérů Panasonic vedle sebe byla nejmenší možná vzdálenost mezi osami objektivů 60 mm. Vycházejíce ze skutečnosti, že maximální doporučená hodnota parallaxy je 4 % (má stejný význam jako poměr d/D) a velikost CCD snímače videorekordéru (CCD snímač 1/6") je $v = 2,4\text{mm}$, určil jsem hodnotu koeficientu $k = 0,096\text{mm}$. Po dosazení do upravené rovnice (4) vyšla minimální vzdálenost při nekonečné vzdálenosti pozadí $d_{Min} = 1,44\text{m}$.

Jelikož velikost stereoskopické báze je nejdůležitějším parametrem pro získání nebo také nezískání prostorového vjemu, rozhodl jsem se zaměřit se na tento problém při subjektivním hodnocení ve skupině pozorovatelů.

5.4 Hloubka ostrosti

Hloubka ostrosti je pro stereoskopický obraz také důležitá. Je to vzdálenost mezi nejvzdálenějším a nejbližším objektem, které se můžeme pozorovat ostře při fixně zaostřeném jednom bodě. Požadavkem je co největší možná hloubka ostrosti, které lze dosáhnout. Poté oko nemá problém v pozorovaném stereoskopickém obrazu přeostršovat. Hloubka ostrosti je závislá na několika parametrech objektivu, a to na ohniskové vzdálenosti, cloně a zaostření na určitý bod scény. Při použití širokoúhlého objektivu s velkým clonovým číslem a zaostření na velkou vzdálenost lze dosáhnout největší hloubky ostrosti [19, 20, 21].

Poněvadž byly oba videorekordéry vybaveny automatickým nastavením ostření, nechal jsem z důvodu nemožnosti nastavení přesně stejného manuálního ostření nastavení ostření právě na automatické módu videorekordérů. V manuálním módu ostření nemá totiž videorekordér žádný ukazatel hodnoty ostření, proto by nebylo zcela možné zajistit stejné ostření obou videorekordérů. I při pokusech ostřit v manuálním módu pomocí dálkového ovladače nedocházelo k přesně stejnému ostření u obou přístrojů.

5.5 Synchronizace videorekordérů

Pro projekci stereoskopického materiálu je též velmi důležité, aby natočený materiál byl zcela synchronní, to znamená, že videa pravého a levého kanálu musí mít stejný počet snímků a musí začínat ve stejném okamžiku. Při komprimaci videí je nutno dávat si pozor na to, aby nedošlo k výpadku některého ze snímků videosekvence. Výsledný prostorový vjem by mohl být narušen. Synchronizace lze dosáhnout dvěma způsoby.

První způsob lze realizovat synchronním spuštěním obou videorekordérů např. aplikací, která ovládá videorekordéry z PC pomocí rozhraní IEEE 1394 nebo USB. Některé videorekordéry jsou vybaveny dálkovým ovladačem, kterým lze ovládat většinu funkcí videorekordéru a za předpokladu stejných videorekordérů je možné i tímto způsobem spouštět zařízení synchronně.

Druhým způsobem je spustit obě zařízení současně ručně a výsledný časový rozdíl pravého a levého videosignálu kompenzovat úpravou v softwaru pro střih videa. Obě

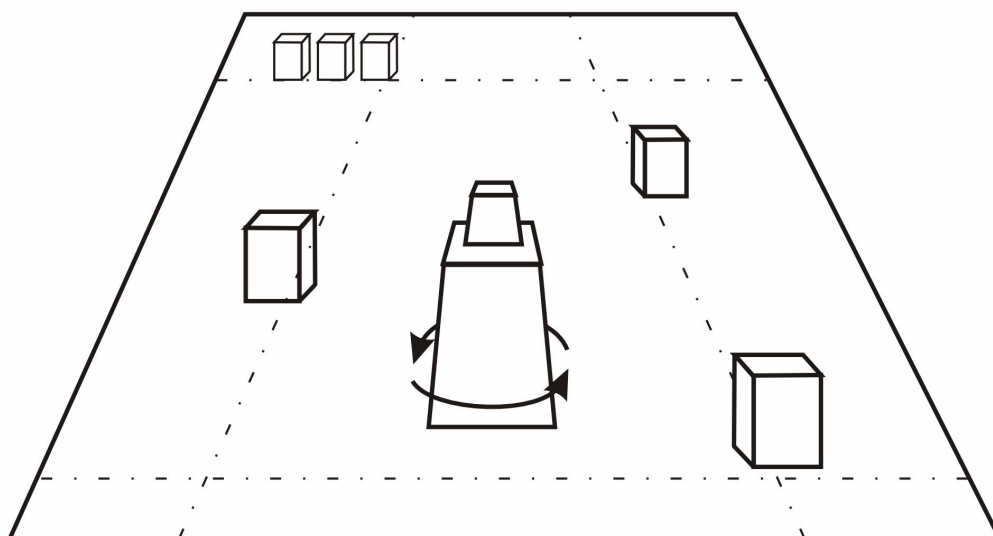
videosekvence si otevřeme pod sebou v programu a vzájemným posuvem jejich začátků docílíme synchronizace. Pomocí softwaru je možné kompenzovat a různé další odchylky pravého a levého video signálu.

Jelikož videokamery Panasonic, jimiž jsem disponoval, je možné ovládat pomocí dálkového ovladače, který je součástí standardního balení. Spouštěl jsem oba videorekordéry synchronně pomocí dálkového ovladače. [19, 20, 21]

5.6 Dynamická scéna

Kompozici dynamické scény (viz Obr. 19) jsem navrhoval tím způsobem, aby bylo v jednom záběru zachyceno více různých pozorovacích možností a rušivých elementů. Nejbližší objekt umístěný uprostřed bude tvořit dominantu scény a bude umístěn ve vzdálenosti 2-3m od objektivů. Tento objekt se bude otáčet kolem své osy. Další objekty budou rozmístěny v různých úrovních obrazu. Dynamičnost scény bude navíc zajištěna i otáčením snímací aparatury při snímání.

Důležitým aspektem je také pozadí, které může výsledný prostorový vjem velice ovlivnit. Proto je nejlepší volit pozadí nestejnorodé, kde vznikne viditelná horizontální paralaxa, která může například u jednobarevného pozadí nebo pravidelně opakujícího se vzoru zcela splynout [19].



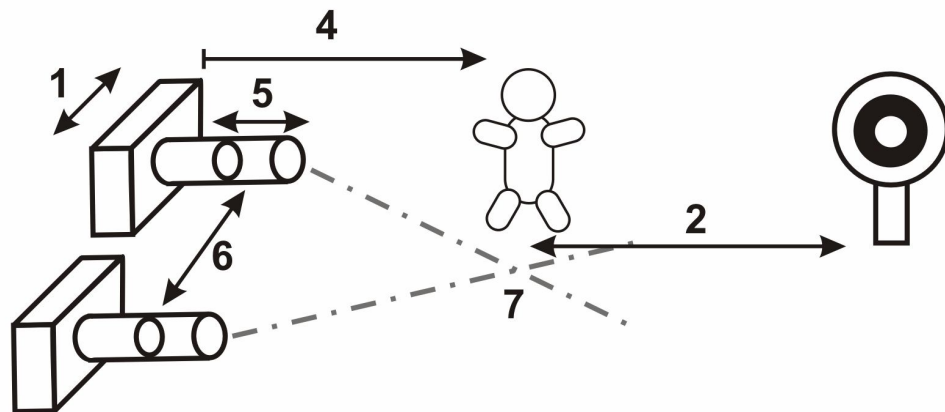
Obr. 19: Návrh dynamické scény.

5.7 Shrnutí návrhu

Správné zachycení dynamické scény pro zpracování v stereoskopický materiál je ovlivněno mnoha faktory, které je nutné pro každou scénu nastavovat individuálně. Proto je dobré při snímání každé nové scény uvědomit si tyto parametry a počítat s nimi (viz. Obr. 20) [19]:

- velikost obrazového senzoru videorekordéru (1);
- vzdálenost mezi popředím a pozadím scény (2);

- velikost pozorovací obrazovky;
- vzdálenost aparatury od popředí scény (4);
- ohniskovou vzdálenost objektivu (5);
- velikost stereoskopické báze (6);
- natočení os objektivů - konvergence (7).



Obr. 20: Důležité parametry při snímání (převzato z [19]).

Na Obr. 21 je zobrazen konečný pohled na navrženou snímací aparaturu, určenou k získání kvalitního materiálu na výrobu stereoskopických videosekvencí.



Obr. 21: Navržená snímací aparatura.

6 REALIZACE SNÍMÁNÍ DYNAMICKÉ SCÉNY

Při realizaci snímání dynamické scény jsem si vyzkoušel, že velmi důležitým aspektem při natáčení použitelné videosekvence pro zpracování na stereoskopický videozáznam je praxe. Tak jako ve všech odvětvích lidské činnosti. Proto první videozáznamy byly spíše pokusné, kdy jsem po natočení pár záběrů spěchal k počítači a pokoušel se natočená videa nějakým způsobem zpracovat. Zjistil jsem, že ne vždy je výsledný prostorový efekt takový jaký bych si představoval.

6.1 Experimenty

Experimentoval jsem převážně s mírou dynamičnosti zachycované scény a s velikostí stereoskopické báze. Jak již plyne z návrhu, zaměřoval jsem se spíše na snímání větších objektů, kdy dominantní předmět v popředí scény byl vzdálen 2-3 metry od objektivů videorekordérů. Otáčením dominantního předmětu kolem vlastní osy a pohybem snímací aparatury ze strany na stranu jsem zajišťoval dynamičnost snímané scény. Jako dominantní předměty jsem používal předměty symetrické i nesymetrické a pozorováním jsem zjistil, že u symetrických objektů je hůře patrný výsledný prostorový vjem.

Důležitým hlediskem bylo také pozadí snímané scény. Tím jsem si vyzkoušel, že navodit prostorový vjem z videosekvencí prostorově uzavřené scény (pozadí scény uzavíralo prostor) je mnohem těžší, než u prostorově neuzavřených videosekvencí. Také jsem si ověřil, že pro navození prostorového vjemu z uzavřených scén je zapotřebí větší hodnota stereoskopické báze. U prostorově neuzavřené scény, která nebyla bez výrazné konečné hranice prostoru (pohled do dálky) se ukázalo jako velmi důležitý faktor dodržení rovnoběžného vedení os videorekordérů, protože při mírné konvergenci se výsledný prostorový vjem výrazně měnil a při divergenci docházelo i k úplné ztrátě prostorového vjemu. Rovnoběžnost os se projevila jako nejvhodnější variantou pro snímání, kdy se tížený prostorový vjem získával velikostí stereoskopické báze.

Pokusy s velikostí stereoskopické báze se ukázaly být nejdůležitějším faktorem, proto jsem je také zahrnul jako hledisko subjektivního hodnocení pro skupinu pozorovatelů. Při vzdálenosti dominantního objektu 3 metry vycházela ideální velikost stereoskopické báze podle pravidla 1:30 mezi 10 a 12 centimetry. Ovšem i u okolních hodnot velikosti stereoskopické báze se projevila nějaký prostorový vjem. U hodnot nižších 8 a 6 cm bylo snadné docílit prostorového vjemu, ale byl menší než u 10 cm. Naopak u hodnot větších (14, 16, 18 cm) bylo mnohem těžší nebo i nemožné docílit prostorového vjemu. Nastával mylný vjem, že je vidět skrz pozorovaný objekt.

Jako rušivé elementy se ukázaly také některé pohybující se předměty ve scéně. Při pohybu předmětu z jedné strany scény na druhou před dominantním předmětem docházelo k narušení získaného prostorového vjemu z celé scény a při zvyšující se rychlosti pohybu daného předmětu docházelo i k úplnému vyrušení prostorového vjemu. Naopak tomu bylo pokud se předmět pohyboval za dominantním předmětem. Při plynulém pomalém pohybu došlo u dominantního předmětu k podpoření výsledného prostorového vjemu. Taktéž předměty pohybující se od aparatury k pozadí a naopak měly podobný vliv na prostorový vjem. Pokud se nacházely před dominantním předmětem nebo na jeho úrovni, docházelo k narušení prostorového vjemu. Přejdem za úroveň dominantního předmětu docházelo k mírnému podpoření výsledného prostorového vjemu dominantního předmětu i celé scény.

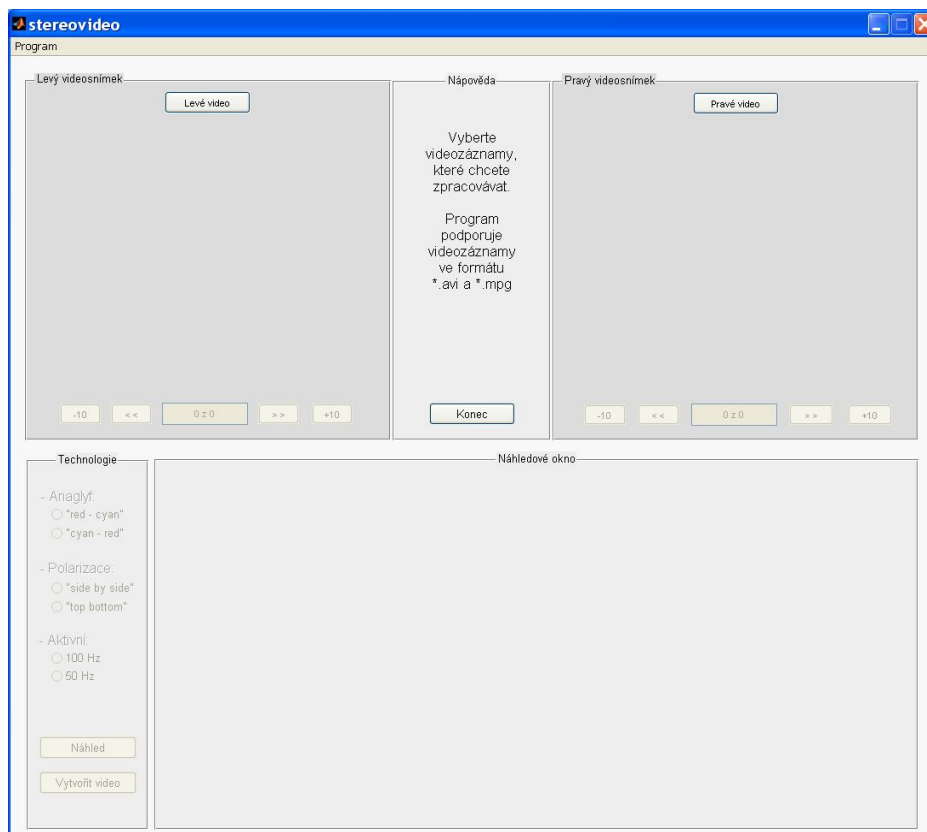
Konečným zjištěním bylo, že opravdu každá snímaná scéna si vyžaduje individuální nastavení snímací aparatury. Nejvhodnější je před natáčením natočit pokusnou videosekvenci, kterou hned zpracujeme a prohlédneme si výsledný prostorový vjem. Poté případně upravíme parametry snímání.

6.2 Zpracování

Jelikož videorekordéry Panasonic, kterými jsem videosekvence pořizoval, používají digitální záznam na magnetický pásek formátu „MiniDV,“ musel jsem nejprve za pomoci komerčního softwaru natočené videosekvence nahrát do počítače. Poté bylo nutné je komprimovat z plného digitálního formátu DV do přijatelnější formy. Z důvodu kvality a také z hlediska zpracování jsem volil komprimaci MPEG. Při zpracování takto upravených videosekvencí jsem používal programovací prostředí MATLAB.

6.2.1 Program stereovideo

Program stereovideo je určen ke zpracování videosekvencí určených pro stereoskopickou projekci. Byl vytvořen v prostředí MATLAB Guide ve verzi s označením MATLAB 7.9.0 (R2009b). Na Obr. 22 je vidět okno programu hned po spuštění.



Obr. 22: Náhled programu stereovideo.

Po spuštění programu jsou aktivní pouze tři tlačítka. Tlačítka „Konec“ v poli „Nápověda“ a tlačítka „Levé video“ a „Pravé video“ v polích „Levý videosnímek“ a „Pravý videosnímek“ určené k načtení požadovaného páru videosnímků do paměti programu. V poli „Nápověda“ se neustále zobrazují pokyny pro práci s programem.

Načtením obou videosnímků do paměti programu se aktivují sady tlačítek pod jednotlivými okny pro levý a pravý videosnímek, které umožňují prohlížení videosnímků s posunem o jeden či o deset snímků. Nebo je také možné pomocí těchto tlačítek videosekvence dodatečně synchronizovat. Synchronizace je umožněna díky tomu, že výsledné vytvořené videosekvence berou jako počáteční snímky právě snímky nastavené v oknech „Levý videosnímek“ a „Pravý videosnímek.“

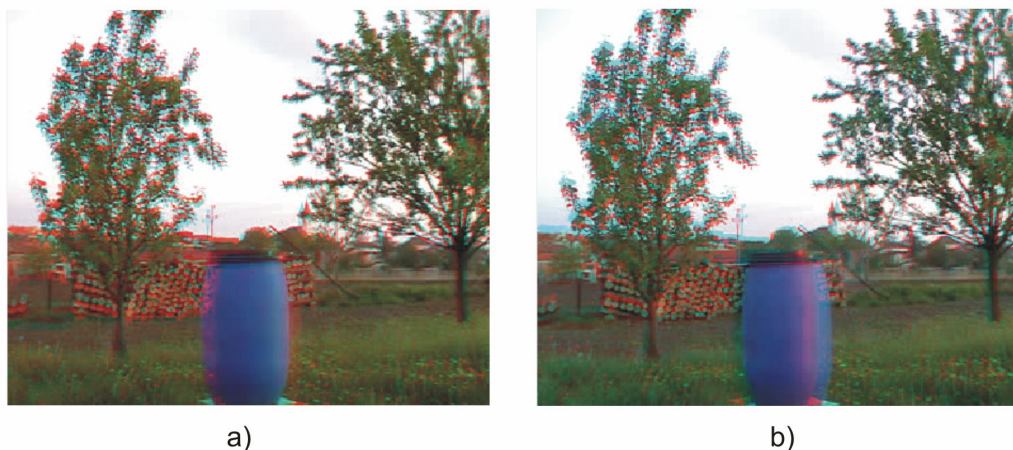
Aktivují se také tlačítka v poli Technologie, které umožňují výběr technologie zpracování načtených a popřípadě synchronizovaných videosekvencí. Výběrem technologie zpracování se aktivují tlačítka „Náhled“ a „Vytvořit video.“ Tlačítkem „Náhled“ je možné zobrazit náhled počátečních snímků načtených videosekvencí v okně s názvem „Náhledové okno.“ Tlačítkem „Vytvořit video“ je možné požadovanou stereoskopickou videosekvenci vytvořit a uložit do paměti počítače.

Program je možné kdykoliv ukončit stisknutím tlačítka „Konec“ v poli „Nápověda“.

6.2.2 Technologie zpracování

Výše uvedený program v prostředí MATLAB má na výběr ze tří stereoskopických technologií a to anaglyf, polarizační projekce a aktivní projekce s použitím stmívacích LCD brýlí.

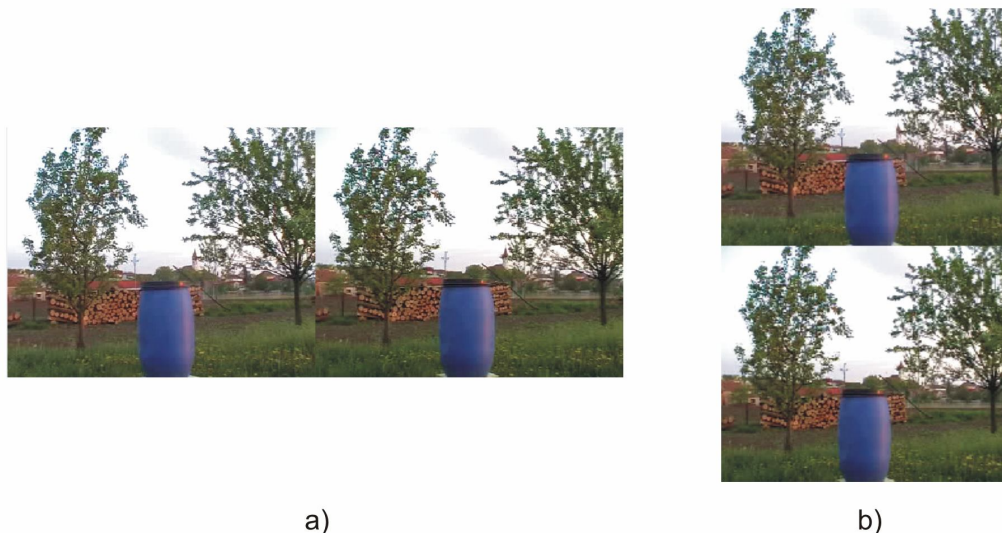
U technologie anaglyf je možnost zvolit si mezi typem anaglyfu „red-cyan,“ který zaručí kompatibilitu vytvořeného anaglyfického videa s brýlemi majícími levou očníci opatřenou červeným filtrem a pravou očníci opatřenou azurovým filtrem a typem „cyan-red,“ který zaručí kompatibilitu s brýlemi majícími barevné filtry obráceně. Příklad náhledů vytvořených anaglyfů programem stereovideo je na Obr. 23.



Obr. 23: Náhled vytvořených anaglyfů: a) „red-cyan,“ b) „cyan-red.“

Technologie Polarizace nabízí taktéž volbu mezi dvěma formáty stereoskopické videosekvence určené pro polarizační projekci. Jsou to formáty „side by side“ a „top and bottom“ (popřípadě „over – under“). „Side by side“ je v překladu strana na straně a jsou to dva snímky vedle sebe (levý vedle pravého) sloučené do jednoho filmového políčka či videosnímků. Je to nejčastěji používaný formát pro polarizační stereoprojekci, protože jej lze vytvořit pouze objektivním nástavcem, který opticky slučuje obrazy ze dvou vstupních objektivů do jednoho výstupního snímku. Využívá se pro polarizační stereoskopické aparatury, které mají projektory umístěné vedle sebe.

Na stejném principu jako „side by side“ funguje i formát „top and bottom“ ovšem s tím rozdílem, že políčka nejsou umístěna vedle sebe, ale nad sebou tak, že levý snímek je vždy ve snímku „top and bottom“ umístěn nahoře. Tento formát se využívá pro polarizační stereoskopické aparatury, které mají projektory umístěné nad sebou. Příklad náhledů formátů určených pro polarizační projekci vytvořených programem stereovideo je na Obr. 24.



Obr. 24: Náhled formátů pro polarizační projekci: a) „side by side,“ b) „top and bottom.“

Poslední zpracovávaná technologie programem stereovideo je pro aktivní projekci s použitím LCD stmívacích brýlí. Opět jsou zde dvě možnosti volby lišící se snímkovou frekvencí. Při výběru snímkové frekvence 50 Hz jsou levý a pravý snímek prokládány do výsledné stereoskopické videosekvence za sebou v časovém multiplexu ($L_1, P_1, L_2, P_2, L_3, P_3, \dots$). Taktéž u 100 Hz snímkové frekvence jsou levé a pravé snímky prokládány za sebou v časovém multiplexu s tím rozdílem, že levý a pravý snímek 1. v pořadí se ještě jednou zopakuje než je zařazen 2. levý a pravý snímek ($L_1, P_1, L_1, P_1, L_2, P_2, L_2, P_2, L_3, \dots$).

6.3 Projekce

Tato část popisuje postup při projekci stereoskopického materiálu větší skupině pozorovatelů.

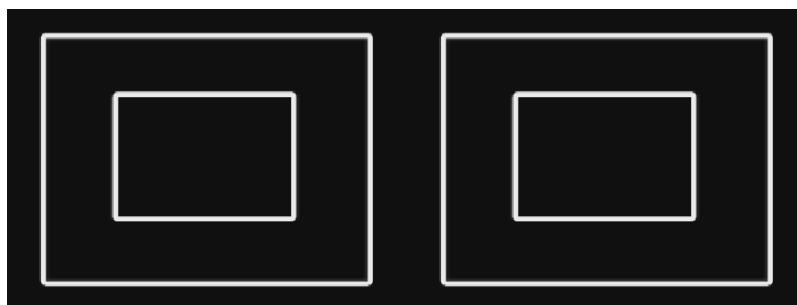
6.3.1 Anaglyfická projekce

Anaglyfická projekce je celkově nejjednodušší možnost prezentace stereoskopických videosekvencí divákovi. Zpracovaná anaglyfická videosekvence obsahuje informaci pro levé a pravé oko v každém snímku již přeložené přes sebe. Proto pro prezentaci skupině pozorovatelů stačí videosekvenci promítnout jedním projektorem na klasické projekční plátno. Je zapotřebí pouze větší množství brýlí s barevnými filtry. Pro anaglyfickou projekci jsem volil anaglyfy ve formátu „red-cyan.“

6.3.2 Polarizační projekce

Polarizační projekce je ve srovnání s anaglyfickou projekcí složitější z důvodu nutnosti synchronizace dvou projektorů. K projekci je potřeba počítač, který má grafickou kartu se dvěma obrazovými výstupy a jeho operační systém dovoluje rozšíření plochy obrazu i na druhou obrazovku (v tomto případě projektor). Dále dva projektory (nesmějí mít LCD zobrazovač) srovnatelných parametrů (nejlépe identické), polarizační filtry před projektory i s držáky, projekční plátno s povrchem zachovávajícím polarizaci světla a brýle opatřené stejnými polarizačními filtry jako jsou u projektorů.

Pro projekci jsem měl k dispozici projekční fólii SUPER 3D bílo-stříbrnou, trvale samozhášlivou, od firmy Tüchler s šířkou 254 cm a výškou 190 cm. Dále dva lineární diagonální polarizační filtry s odpovídající sadou brýlí. Jelikož jsem pro projekci vybral formát „side by side,“ umístil jsem oba projektory na zvýšený stůl vedle sebe zhruba 3,5 m od projekční fólie. Projektor umístěný na levé straně byl připojen jako primární a druhý projektor umístěný vpravo sloužil jako rozšířená pracovní plocha. Pro synchronizaci projektorů je nutné spustit si v multimediálním přehrávači podobný synchronizační snímek jako na Obr. 25, roztáhnout okno přehrávače na maximální velikost přes obě plochy (nelze použít funkci „full screen,“ protože ta zobrazí okno videa pouze na primární obrazovce) a poté polohováním obou projektorů a nastavením jejich optických parametrů zajistit, aby se čtverce na projekční fólii přesně překrývaly. Po úspěšně provedené synchronizaci je již možné promítat.



Obr. 25: Snímek pro synchronizaci projektorů.

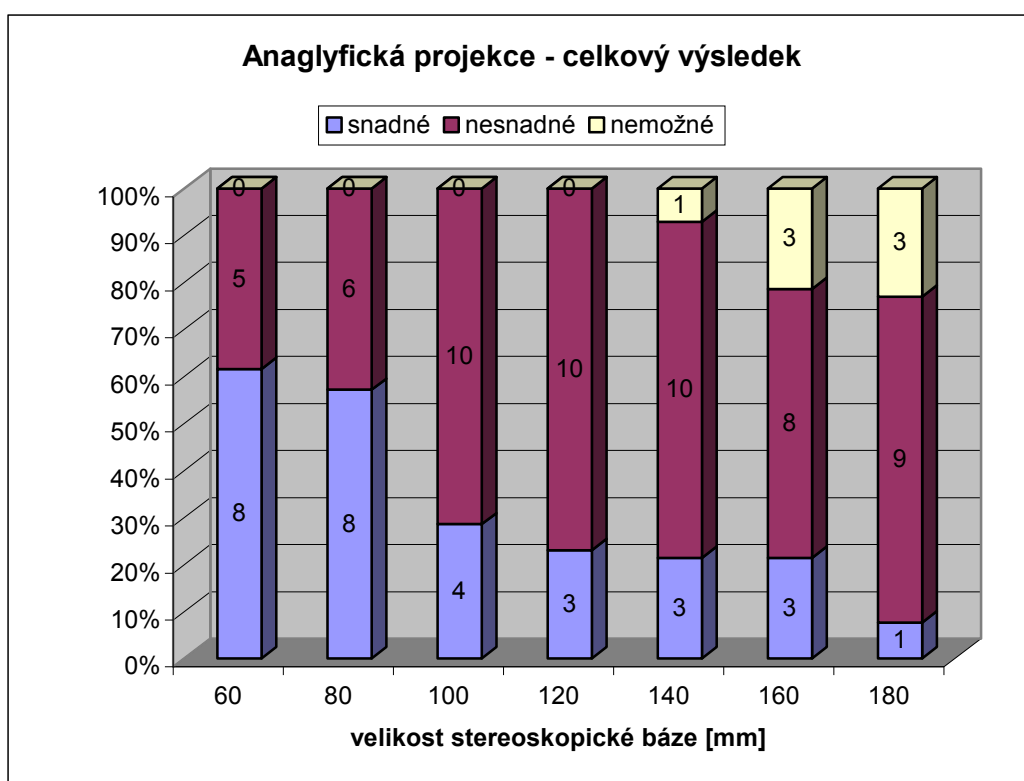
6.4 Subjektivní hodnocení skupinou pozorovatelů

Jak jsem již zmiňoval výše, pro svou projekci ve skupině pozorovatelů jsem zvolil dvě technologie prezentace stereoskopické videosekvence a to anaglyf „red-cyan“ a polarizační formát „side by side.“ Z tohoto důvodu jsem subjektivní hodnocení také orientoval na porovnání obou technologií. Zpracoval jsem tedy videosekvence se stejnou dynamickou scénou snímanou s rozdílnou velikostí stereoskopické báze oběmi technologiemi a nechal je pozorovatelům k subjektivnímu zhodnocení a porovnání.

Symetrický dominantní předmět dynamické scény otáčející se kolem vlastní osy byl umístěn ve vzdálenosti 2,5 m od snímací aparatury. Ideální hodnota stereoskopické báze určená výpočtem při zvolené velikosti paralaxy na snímáči 3,5% činila 91 mm. Podle pravidla 1:30 je velikost ideální stereoskopické báze 84 mm. Pozorovatelům bylo postupně promítáno 7 krátkých anaglyfických videosekvencí s rostoucí hodnotou stereoskopické báze od 60 mm do 180 mm s nárůstem vždy o 20 mm. Hned poté následovalo 7 stejných videosekvencí zpracovaných tentokráte pro polarizační projekci. Každý pozorovatel dostal anketní lístek, ve

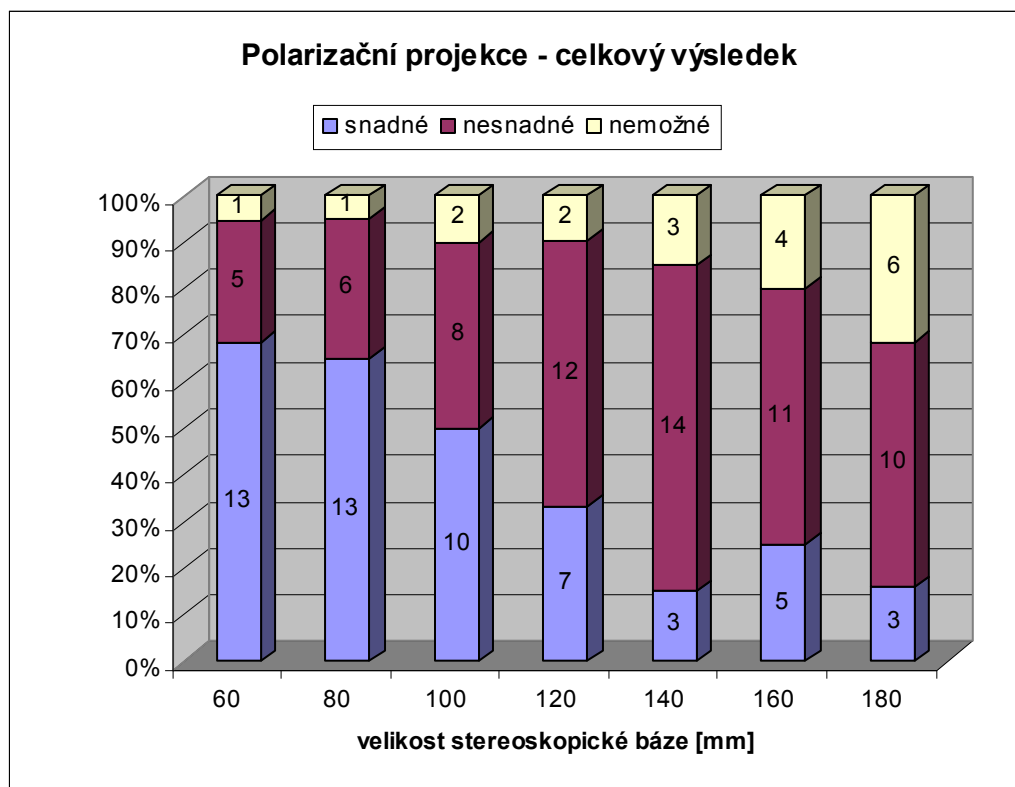
kterém měl zaznamenat snadnost navození prostorového vjemu z jednotlivých videosekvencí a směr otáčení dominantního předmětu. Na konci každé série videosekvencí měl poté provést celkové zhodnocení dané technologie. Vzor anketního lístku je v příloze.

Grafické znázornění výsledků anaglyfické projekce je možné pozorovat na Obr. 26, kde je poměrově znázorněna schopnost navození prostorového vjemu z promítaných videosekvencí. Z grafu je patrné, že 50 % pozorovatelů označilo jako „snadné“ navození prostorového vjemu u videosekvencí s velikostí stereoskopické báze 60 mm a 80 mm. Téměř 30 % respondentů označilo jako „nemožné“ navodit prostorový vjem z videosekvencí s velikostí stereoskopické báze 160 mm a 180 mm. V celkovém hodnocení poté 60 % pozorovatelů uvedlo, že barevná věrnost technologie je vyhovující a 40 % pozorovatelů, že je nevyhovující. 70 % pozorovatelů vnímalo dominantní objekt před plátnem. Bolest očí zaznamenalo 70 % pozorovatelů a bolest hlavy 20 % pozorovatelů.



Obr. 26: Výsledky anaglyfické projekce.

Výsledky polarizační projekce jsou znázorněny na Obr. 27. Je zde taktéž poměrově zobrazena snadnost navození prostorového vjemu z promítaných videosekvencí. Opět se ukázalo, že u videosekvencí s velikostí stereoskopické báze 60 mm a 80 mm bylo navození prostorového vjemu „snadné“ pro největší skupinu pozorovatelů téměř pro 60 %. U videosekvence s velikostí stereoskopické báze 180 mm uvedlo 30 % pozorovatelů navození prostorového vjemu jako „nemožné.“ V celkovém hodnocení označilo 25 % pozorovatelů barevnou věrnost polarizační projekce jako reálnou, 55 % jako vyhovující a zbylých 15 % jako nevyhovující. Opět 70 % pozorovatelů označilo, že pozorovaný objekt vnímalo před plátnem. Bolest očí zaznamenalo 20 % pozorovatelů a bolest hlavy zaznamenal pouze 1 pozorovatel.



Obr. 27: Výsledky polarizační projekce.

Při porovnání obou technologií vyšla u anaglyfické projekce barevná věrnost mnohem horší než u polarizační technologie. Shodně též většina pozorovatelů vnímala dominantní objekt před plátnem, což byl z hlediska nepoužití konvergujících os videorekordérů očekávaný výsledek. Ovšem jako mírně lišící se od předpokladů vyšla ideální hodnota stereoskopické báze. Z grafů totiž vyplývají jako nejlepší videosekvence ty s velikostí stereoskopické báze 60 mm a 80 mm. Tento výsledek by zhruba odpovídal pouze předpokladu vytvořenému pomocí pravidla 1:30. U teoretického výpočtu by mohla být chyba skryta ve velikosti požadované paralaxy na obrazovém snímáči, kdy hodnota 3,5 % je zřejmě pro ideální velikost stereoskopické báze příliš vysoká. Po přepočítání tedy vychází, že ideální velikost paralaxy na snímáči (popřípadě na projekční ploše) je přibližně 3 %.

Součástí ankety byl také pokus určit ideální velikost stereoskopické báze objektivně, tedy zaznamenat směr otáčení dominantního symetrického předmětu scény. Většina pozorovatelů správně určila směr otáčení u všech videosekvencí, ovšem největší počet správných odpovědí se objevil shodně u obou technologií pro videosekvenci s velikostí stereoskopické báze 140mm. Těžko lze říci, že jde o ideální velikost stereoskopické báze z objektivního hlediska, ale otáčení zde bylo nejlépe rozeznatelné.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo prostudovat fyziologii binokulárního vidění pro získání prostorového vjemu pomocí pasivních i aktivních brýlí a navrzení snímání dynamické scény pomocí dvojice identických videorekordérů pro získání kvalitních dat na výrobu stereoskopického materiálu. Dále realizovat snímání dynamické scény, získaná data zpracovat v MATLABu a provést subjektivní hodnocení ve skupině pozorovatelů. Fyziologie zraku a binokulárního vidění je popsána v prvních dvou kapitolách práce. Nejdůležitějším faktorem pro binokulární vidění je vývoj v období dětství. Po narození se totiž vyvíjí i samotné oko. Správný vývoj v dětství je základním předpokladem pro vjem prostoru obecně, tedy i pro vjem prostoru z dvou dvourozměrných obrázků. Z vývoje plynou zkušenosti, které je člověk schopen využít i při identifikaci prostoru z dvourozměrné scény.

Výčet hlavních používaných technologií pro stereoskopické zobrazování se nachází ve 4. kapitole. Technologie jsou zde popsány od pasivních (anaglyf, INFITEC, polarizace světla), přes aktivní (stmívací brýle, „head mounted display“) až k jejich vzájemným kombinacím. Jedna z nejnovějších technologií, která je v dnešní době velmi „žhavým“ tématem jsou autostereoskopické displeje, které nám umožňují získat prostorový vjem z dvourozměrných obrázků bez použití brýlí.

Návrh snímání dynamické scény je uveden v 5. kapitole. Postupně je zde vysvětleno vzájemné uložení videorekordérů na stativovém nástavci, případná konvergence os objektivů, velikost stereoskopické báze, synchronizace videorekordérů a hloubka ostroty. Jako nejdůležitější parametr pro získání kvalitního prostorového vjemu se ukázala být velikost stereoskopické báze. Důležité je také shrnutí návrhu, které nám připomíná, že každá dynamická scéna si vyžaduje individuální nastavení snímací aparatury. Jak také plyne i z provedených experimentů, je nejlepší vytvořit pokusný záběr po jehož zpracování a zhodnocení upravíme nastavení snímací aparatury.

Experimentováním při pořizování videosekvencí jsem osvojil práci s aparaturou a zjistil jsem také jaké scény má smysl natáčet, aby na nich bylo něco k pozorování. Pro zpracování natočených videosekvencí jsem vytvořil v prostředí MATLAB program s názvem stereovideo, který umí zpracovávat videosekvence do tří formátů. Pro anaglyfickou projekci, pro polarizační projekci a pro aktivní projekci s využitím stmívacích LCD brýlí.

Provedl jsem také subjektivní hodnocení ve skupině pozorovatelů, které jsem zaměřil na porovnání anaglyfické a polarizační projekce a na hledání ideální velikosti stereoskopické báze. Z výsledků hodnocení je patrné, že jako vhodnější metoda pro projekci se jeví polarizační projekce, která zejména disponuje věrnějším podáním barev. Lze u ní také lépe dosáhnout prostorového vjemu než u anaglyfické projekce. Při hledání ideální velikosti stereoskopické báze nebyl výsledek zcela odpovídající teoretickým předpokladům, jejichž hodnota činila o necelých 20 mm více. Ze subjektivního hodnocení tedy vyplynulo, že pro objekt vzdálený 2,5 m od snímací aparatury je ideální velikost stereoskopické báze 70 mm, čemuž odpovídá 3% výsledná paralaxa na projekčním plátně.

LITERATURA

- [1] GANONG, Wiliam F. *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Nakladatelství a vydavatelství H&H, 1995.
- [2] SILBERNAGL, Stefan; DESPOPOULOS, Agamemnon. *Atlas fyziologie člověka*. 2. vyd. Praha: Grada, 1993. 352 s. ISBN 80-85623-79-X.
- [3] *Neurologie: pro studenty lékařské fakulty*. Edited by Zdeněk Ambler. 5. vyd. Praha: Karolinum, 2004. 399 s. ISBN 80-246-0894-4.
- [4] POLÁŠEK, J., et al. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Oční optika, n.p., 1974. 579 s.
- [5] ZOBANOVÁ, Anna. Respektování fyziologického vývoje vidění v preventivních prohlídkách zraku dětí a dorostu. *VOX PEDIATRIAE : časopis praktických dětských lékařů* [online]. Listopad 2004, roč. 4, č. 9, [cit. 2010-12-18]. Dostupný z WWW: <www.detskylekar.cz/cps/rde/xbcr/dlekar/2004_vox9.pdf>. ISSN 1213-2241.
- [6] *Ortoptika HK* [online]. c2010 [cit. 2010-12-28]. Anatomie a fyziologie zraku. Dostupné z WWW: <<http://www.ortoptikahk.wbs.cz/Anatomie-a-fyziologie-zraku.html>>.
- [7] HLAVÁČ, Václav; ŠONKA, Milan. *Počítačové vidění*. Praha: Grada, 1992. 272 s. ISBN 80-85424-67-3.
- [8] SCHEUFLER, Pavel. *Historické fotografické techniky*. Praha: IPOS ARTAMA, 1993. 62 s. ISBN 80-901265-2-9.
- [9] *3D filmy* [online]. c2010 [cit. 2010-12-10]. Historie 3D filmů. Dostupné z WWW: <<http://www.3dfilmy.cz/historie-3d-filmu-aneb-jak-3d-filmy-vznikaly>>.
- [10] *GALI-3D* [online]. 2005 - 2009 [cit. 2010-12-10]. Unikátní technologie. Dostupné z WWW: <<http://www.gali-3d.com/cz/techno/techno.php>>.
- [11] DURAS, T. *Stereoskopia v počítačové grafice*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky. katedra informatiky, 2009. 33 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: RNDr. Peter Borovský.
- [12] JORKE, Helmut; SIMON, Arnold; FRITZ, Markus. Advanced stereo projection using interference filters. *Journal of the Society for Information Display*. May 2009, Volume 17, Issue 5, s. 407-410.
- [13] *3D Forums: Stereoscopic discussion forums* [online]. c2009 [cit. 2010-12-10]. Articles. Dostupné z WWW: <<http://www.3d-forums.com/articles-f2.html>>.
- [14] *INFITEC* [online]. 10-26-2010 [cit. 2010-12-11]. Infitec. Dostupné z WWW: <<http://www.infitec.de>>.
- [15] *Hightech edge* [online]. 11-26-2010 [cit. 2010-12-11]. Head Mounted Display for a Variety of Applications. Dostupné z WWW: <<http://www.hightech-edge.com/head-mounted-display-for-a-variety-of-applications/9871/>>.
- [16] *DepthQ Stereoscopic* [online]. c2011 [cit. 2011-05-15]. DepthQ Polarization Modulators. Dostupné z WWW: <<http://www.depthq.com/modulator.html>>.
- [17] Autostereoskopie: možnosti promítání 3D obrazů bez potřeby speciálních brýlí. *Sdělovací technika: telekomunikace - elektronika - multimédia* [online]. červenec 2010, č. 7, [cit. 2010-12-12]. Dostupný z WWW: <www.stech.cz/download.php?id_document=401158792&at=1>. ISSN 0036-9942.

- [18] *3D kina: vše o 3D kinech* [online]. 2010-06-11 [cit. 2010-12-13]. 3D systémy v českých kinech. Dostupné z WWW: <<http://www.3dkina.cz/3d-systemy-v-ceskych-kinech>>.
- [19] MENDINBURU, Bernard. *3D movie making: Strereoskopie digital cinema from script to screen*. [s.l.] : Focal Press, 2009. 232 s. ISBN 978-0-240-81137-6.
- [20] ČÍŽEK, P. *Prostorové zobrazování*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra informatiky a výpočetní techniky, 2005. 58 s.
- [21] HASMANDA, M. *Zpracování stereoskopické videosekvence*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 53 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Říha, Ph.D.
- [22] *Stereoeye* [online]. c2011 [cit. 2011-02-22]. Stereo Base Calculator. Dostupné z WWW: <http://www.stereoeye.jp/software/sbcalc_e.html>.
- [23] ČERBA, Otakar. *Geomatika* [online]. červenec 2006 [cit. 2011-05-20]. Barvy v počítači a kartografii. Dostupné z WWW: <<http://gis.zcu.cz/studium/pok/Materialy/Book/ar03.html>>.
- [24] SHIRAI, Yoshiaki. *Three-dimensional Computer vision*. Germany: Springer-Verlag, 1987. 297 s. ISBN 3-540-15119-2.
- [25] WINSTON, Patrick Henry. *The psychology of computer vision*. Columbus (Ohio): McGraw-Hill, 1975. 288 s. ISBN 0-07-071048-1.
- [26] ZAPLATÍLEK, Karel; DOŇAR, Bohuslav. *MATLAB: tvorba uživatelských aplikací*. Praha : BEN - technická literatura, 2004. 216 s. ISBN 978-80-7300-133-9.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

BV	Binokulární Vidění
IMAX	Image MAXimum, velkorozměrový kinematografický systém vyvinutý společností IMAX Corporation
INFITEC	INterferenz FIIter TEChnology, technologie interferenčních filtrů
RGB	Barevný prostor se třemi základními barvami (R-červená, G-zelená, B-modrá)
DMD	Digital Micromirror Device, digitální microzrcadlové zařízení
2D	Dvourozměrný prostor
3D	Třírozměrný prostor
LCD	Liquid Crystal Display, displej z tekutých krystalů
IrDA	Infrared Data Association, komunikační infračervený port
HMD	Head Mounted Display, na hlavě nasazený displej
MATLAB	programovací prostředí pro vědeckotechnické účely
MiniDV	digitální formát záznamu obrazu a zvuku na magnetický pásek
DV	Digital Video, kompresní schéma využívající diskretní kosinovou transformaci
MPEG	Motion Picture Experts Group, kompresní schéma využívající transformační kódování
atd.	a tak dále
např.	například
tzv.	tak zvaný

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1. Příklad zdrojového kódu programu

PŘÍLOHA 2. Anketní lístek

PŘÍLOHA 1. Příklad zdrojového kódu programu

```
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Funkce tlačítka „Pravé video“

global movieP sP psP vidFramesP nactL nactP %globalni promenne
[FileName,PathName] = uigetfile(...
    {'*.mpg;*.avi','Video files (*.mpg,*.avi)';
    '*.mpg', 'MPEG (*.mpg)'; ...
    '*.avi','AVI (*.avi)'; ...
    '*.*', 'All Files (*.*)'}, ...
    'Vyberte pravé video', 'MultiSelect', 'off'); % Výběr videa s
                                                nastavením filtrů

if FileName == 0 %tlacitko storno, navrat do programu
    return % návrat zpět do programu
end

movieP = mmreader ([PathName,FileName]); % načtení videa
vidFramesP = read(movieP); %Načtení video snímků
psP=movieP.NumberOfFrames; % celkový počet snímků videa
sP=1; % číslo snímku videa
clear movieP; %smazání nepotřebné proměnné movieP

[X,Map] = ZobrazSnimek (vidFramesP,sP); % funce pro zobrazení
                                        požadovaného snímku
set(handles.axes2,'Visible','on'); %zviditelnění axes
axes(handles.axes2); %definice axes pro vykreslení
axes2=imshow(X,Map); %zobrazení snímku do axes

set(handles.pushbutton3,'Enable','off') % zakazani tlačítka <<
set(handles.pushbutton4,'Enable','on') % povolení tlačítka >>
set(handles.pushbutton18,'Enable','off') % zakazani tlačítka -10
set(handles.pushbutton17,'Enable','on') % povolení tlačítka +10
set(handles.edit1,'Enable','inactiv') % zviditelnění ukazatele snímku
set(handles.edit1,'String',sprintf('%d z %d',sP,psP)) % momentalne
zobrazeny snimek
set(handles.text6,'String',sprintf('Vyberte\nvideozáznamy,\nktelé
chcete\nzpracovávat.\n\nProgram\npodporuje\nvideozáznamy\nve formátu\n*.avi
a *.mpg\n')); %nápověda

nactP=1; % parametr nacteneho praveho videa
if ((nactL==1) & (nactP==1)) % podmínka nacteni obou videii
    set(handles.radiobutton2,'Enable','on') %povolení radiotlacitka
    set(handles.radiobutton3,'Enable','on')
    set(handles.radiobutton4,'Enable','on')
    set(handles.radiobutton5,'Enable','on')
    set(handles.radiobutton6,'Enable','on')
    set(handles.radiobutton7,'Enable','on')
    set(handles.text3,'Enable','on'); %Povolení textu
    set(handles.text4,'Enable','on');
    set(handles.text5,'Enable','on');

set(handles.text6,'String',sprintf('Procházejte\n(popřípadě\nsynchronizujte
)\nvideozáznamy\npomocí tlačítek\numístěných\npod jednotlivými\nokny.\n\nV
dalším kroku\nvyberte\ntechnologii\nzpracování.')); %text nápovědy
end
nactL=0; % vynulovani parametru nacteneho leveho videa
-----
```

```

function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Funkce tlačítka posun o snímek vpřed pravého videa „>>“

global vidFramesP sP psP; %globální proměnné
if (sP < (psP-1)) %ošetření chyby špatného posuvu snímku
    sP=sP+1; %zvýšení požadovaného čísla snímku
    [X,Map] = ZobrazSnimek (vidFramesP,sP); % fce pro zobrazení náhledu
        snímku
    axes(handles.axes2); %definice axes pro vykreslení
    axes2=imshow(X,Map); % vykreslení do axes
    set(handles.edit1, 'String', sprintf('%d z %d', sP, psP)); %zobrazení v
        textovém poli
    set(handles.pushbutton3, 'Enable', 'On') % povolení tlačítka
    if(sP>10) %ošetření chyby špatného posuvu snímku
        set(handles.pushbutton18, 'Enable', 'On') % povolení tlačítka
    end
    if(sP>psP-10) %ošetření chyby špatného posuvu snímku
        set(handles.pushbutton17, 'Enable', 'Off') % zakázání tlačítka
    end
elseif (sP==(psP-1)) %ošetření chyby špatného posuvu snímku
    sP=sP+1; %zvýšení požadovaného čísla snímku
    [X,Map] = ZobrazSnimek (vidFramesP,sP); % fce pro zobrazení náhledu
        snímku
    axes(handles.axes2); %definice axes pro vykreslení
    axes2=imshow(X,Map); % vykreslení do axes
    set(handles.edit1, 'String', sprintf('%d z %d', sP, psP)); %zobrazení v
        textovém poli
    set(handles.pushbutton4, 'Enable', 'Off') % zakázání tlačítka
end
-----

function [X,Map]= ZobrazSnimek (vidFrames,snimek) %funkce pro náhled snímků
% Funkce pro vytvoření náhledu snímku
    mov.cdata = vidFrames(:, :, :, snimek); %výběr požadovaného snímku v
        závislosti na vst. proměnné snimek
    mov.colormap = [];
    [X,Map]=frame2im(mov); %převod převod vybraného snímku na indexovaný
        obrázek
-----

function pushbutton19_Callback(hObject, eventdata, handles)
% Funkce tlačítka „Náhled“ u zvolené technologie

global vidFramesL vidFramesP sP sL width height %globální proměnné

if (get(handles.radiobutton2, 'Value')== 1) %Anaglyf „red-cyan“
    nahled (:,:,1,1) = vidFramesL (:,:,1,sL); %mísení složek pro anaglyf
    nahled (:,:,2,1) = vidFramesP (:,:,2,sP);
    nahled (:,:,3,1) = vidFramesP (:,:,3,sP);

elseif (get(handles.radiobutton3, 'Value')== 1) %Anaglyf „cyan-red“
    nahled (:,:,1,1) = vidFramesP (:,:,1,sP); %mísení složek pro anaglyf
    nahled (:,:,2,1) = vidFramesL (:,:,2,sL);
    nahled (:,:,3,1) = vidFramesL (:,:,3,sL);

elseif (get(handles.radiobutton4, 'Value')== 1) %Polarizace „side by side“
    for w = 1 : (width)
        nahled (:,w,:,1) = vidFramesL (:,w,:,sL);%rozšíření levého video-
            snímku o pravý videosnímek
        ww = w + width;
    end
end

```

```

    nahled (:,ww,:,1) = vidFramesP (:,w,:,sP);
end

elseif (get(handles.radiobutton5, 'Value')== 1)%Polarizace „top and bottom“
for h = 1 : (height)
    nahled (h,:::,1) = vidFramesL (h,:::,sL);%rozšíření levého video-
                                                snímku o pravý videosnímek
    hh = h + height;
    nahled (hh,:::,1) = vidFramesP (h,:::,sP);
end
end
[X,Map] = ZobrazSnimek (nahled,1); % fce pro zobrazení náhledu snímku
axes(handles.axes3); %definice axes pro vykreslení
axes3=imshow(X,Map);    % vykreslení do axes
-----

```

PŘÍLOHA 2. Anketní lístek

Anketa – Binokulární vidění

Pohlaví	Muž	Zena
Věk		
Dioptrická korekce	Ano	Ne
Strabismus	Ano	Ne
Tupozrakost	Ano	Ne
Předchozí zkušenost s 3D	Ano	Ne

Pozice, ze které sledujete plátno (označte křížkem).

Promítací plátno

Projekce

Pro každou videosekvenci označte křížkem schopnost získání prostorového vjemu a směr otáčení předmětu. Pokud nejste schopni určit směr otáčení nechte pole volné. Na konci každé série uveďte celkové zhodnocení dané stereoskopické metody (Anaglyf/Polarizace).

sekvence	Anaglyfická projekce					Polarizační projekce				
	Získání prostorového vjemu			Směr točení		Získání prostorového vjemu			Směr točení	
	snadné	nesnadné	nemožné	vlevo	vpravo	snadné	nesnadné	nemožné	vlevo	vpravo
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

Celkové zhodnocení projekce:

Anaglyfická projekce			
Barevnost	realistická	vyhovující	nevyhovující
Objekt vnímán	před plátnem	za plátnem	před i za plátnem
Bolest očí	ano	ne	
Bolest hlavy	ano	ne	
Poznámky:			

Polarizační projekce			
Barevnost	realistická	vyhovující	nevyhovující
Objekt vnímán	před plátnem	za plátnem	před i za plátnem
Bolest očí	ano	ne	
Bolest hlavy	ano	ne	
Poznámky:			

Děkuji za Vaši pomoc!