

Stereoskopia v počítačovej grafike

Tomáš Duras



2010

Stereoskopia v počítačovej grafike

BAKALÁRSKA PRÁCA

Tomáš Duras

**UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY
KATEDRA INFORMATIKY**

9.2.1 Informatika

Vedúci bakalárskej práce
RNDr. Peter Borovský

BRATISLAVA 2010

ZADANIE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Študent/ka/TOMÁŠ DUBAS.....

vypracuje za účelom obhajoby v rámci štátnych skúšok vo vysokoškolskom
magisterskom štúdiu na UK FMFI bakalársku prácu s názvom:

.....STEREOSKOPIA V POČÍTAČOVEJ GRAFIKE.....

pod vedením pracovníka PETER BOZOVSKÝ z pracoviskaKAĽ.....

Cieľ bakalárskej práce:PREHLAD PROBLEMATIKY.....

.....VLASTNÁ INTERNETOVÁ APLIKÁCIA.....

Podpis študentaDubas..... podpis ved.bak. práceB/D.....

V Bratislave dňa29.11.2007..... podpis gestora št. programuA/BK.....

Poznámka: Vyplňuje v 3 exemplároch: 1 pre študenta, 1 pre vedúceho bak. práce,
1 pre študijné oddelenie / odovzdá študent pri zápise do 3. r./

Čestné vyhlásenie

Čestne vyhlasujem, že bakalársku prácu som vypracoval
samostatne s použitím uvedenej literatúry.

V Bratislave

podpis

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce, RNDr. Petrovi Borovskému, za odbornú pomoc a cenné pripomienky, ktoré mi počas práce na nej poskytol.

Srdečná vďaka patrí tiež aj Romanovi Tokárovi, za pomoc v oblasti elektrotechniky pri pri výrobe diaľkovej spúšte a môjmu otcovi za poskytnutie pomocnej ruky pri výrobe adaptéru na statív.

Abstrakt

Tomáš Duras: Stereoscopia v počítačovej grafike. [Bakalárska práca]. Univerzita Komenského v Bratislave. – Fakulta matematiky, fyziky a informatiky. – Katedra Informatiky. – Školiteľ: RNDr. Peter Borovský Bratislava: FMFI UK, 2010, s. 59

Predmetom bakalárskej práce je prehľad problematiky stereoskopie a jej využitia v praxi, ďalej oboznámenie čitateľa s mechanizmami ľudského a umelého priestorového videnia, ozrejenie techník používaných pri vytváraní a následnom prezeraní stereoskopického materiálu vytvoreného z fotografií, videí ako i počítačových renderov.

Kľúčové slová: stereoscopia, stereogram, stereofotografia, stereo, 3D, priestorové videnie, retinálna disparita, paralaxa, počítačová grafika, ľudský zrak, svetlo

Predhovor

Podobne ako sa stalo niekoľko krát v priebehu minulého storočia, opäť nám raz nastalo obdobie popularizácie trojrozmerného mediálneho obsahu. Predošlé éry skončili asi tak rýchlo, ako aj začali a postupne upadli do pozabudnutia všeobecnej verejnosti. Bude tomu tak aj tento krát, alebo bude táto éra posilnená modernými technológiami v niečom iná.

Ľudia sú čoraz viac z každej strany bombardovaní výrazmi ako 3D, stereo. Sú mnohí takí, ktorí sú do 3D obsahu priam fanaticky zbláznení, sú aj takí, ktorým tie dve písmenká už poriadne lezú krkom. V čom spočíva 3D technológia, ako sa tvoria priestorové efekty, môže pozeranie 3D obsahu poškodiť zdravie človeka?

Na tieto a mnohé iné otázky poskytujem svojou prácou odpovede. Poskytujem tiež návod ako je možné v domácom prostredí vytvárať trojrozmerné fotografie, videá a počítačové rendery.

Túto tému som sa rozhodol spracovať z dôvodu nedostatočného materiálu na slovenskom webe, spracúvajúceho danú tematiku a vzrastajúceho záujmu o stále vyspelejšiu stereo technológiu, ktorá už klope na dvere širokej verejnosti.

Zoznam obrázkov	10
0. Úvod	12
1. História	13
2. Svetlo	15
2.1 Elektromagnetické žiarenie	15
2.2 Vznik svetla	16
2.3 Život svetla	17
3. Prirodzené videnie	18
3.1 Ľudské oko	18
3.1.1 Stavba oka	18
3.1.2 Rozlíšenie oka	19
3.2 Perspektívne premietanie	20
3.2.1 Pinhole kamera	20
3.2.2 Fotoaparát / kamera	21
3.3 Vnímanie priestorovej hĺbky	22
3.3.1 Dve oči	22
3.3.2 Monokulárne aspekty priestorového videnia	22
3.3.2.1 Perspektíva	23
3.3.2.2 Relatívna veľkosť	23
3.3.2.3 Vzájomná poloha	23
3.3.2.4 Osvetlenie a tieň	23
3.3.2.5 Pohybová paralaxa	24
3.3.2.6 Hustota štruktúry	24

3.3.2.7	Miera detailov	24
3.3.2.8	Atmosférický vplyv	24
3.3.2.9	Akomodácia oka	24
3.3.3	Binokulárne aspekty priestorového videnia	25
3.3.3.1	Konvergencia očí	25
3.3.3.2	Retinálna disparita	25
3.3.4	Horopter	25
3.3.5	Zorné pole	26
4.	Umelé videnie	27
4.1	Paralaxa	28
4.2	Dve kamery	29
4.2.1	Konvergujúce kamery	30
4.2.2	Paralelné kamery	30
4.3	Ako pristupovať k tvorbe stereogramov	31
4.4	Spôsoby tvorenia stereogramov	32
5.	Zobrazovanie	34
5.1	Faktory vplývajúce na vnímanú hĺbku	34
5.1.1	Pozorovacia vzdialenosť	34
5.1.2	Veľkosť zobrazovne	35
5.1.3	Crosstalk	35
5.1.4	Rozbitie vzťahu konvergenzie a akomodácie	36
5.2	Spôsoby zobrazovania stereogramov	36
5.2.1	Voľným okom	36
5.2.1.1	Paralelné pozeranie	36
5.2.1.2	Krížne pozeranie	37
5.2.1.3	Autostereogramy	37
5.2.2	Okuliare	40
5.2.2.1	Anaglyfické	40
5.2.2.2	Polarizačné	42
5.2.2.3	Shutter glasses	43
5.2.2.4	Head-mounted display	43
5.2.3	Autostereoskopické displeje	43
5.2.3.1	Bariérový displej	43
5.2.3.2	Lentikulárny displej	44
5.2.3.3	Volumetrické zariadenia	44
6.	Vlastná tvorba	45
7.	Záver	50
	Zoznam použitej literatúry	52
	Prílohy	55

ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV

obr. 1 - elektromagnetické spektrum a spektrum viditeľného svetla [4]	15
obr. 2 - rozklad bieleho svetla na spektrálne [5]	16
obr. 3 - porovnanie odrazu pre drsný a hladký povrch [8]	17
obr. 4 - stavba ľudského oka [9]	18
obr. 5 - farebná citlivosť čapíkov [10]	19
obr. 6 - Snellenov optotyp [12]	19
obr. 7 - kolmé perspektívne premietanie [14]	20
obr. 8 - pinhole kamera [13]	20
obr. 9 - optická stavba objektívu Nikkor AF-S 50mm f/1.4G [13]	21
obr. 10 - reprezentácia kamery	21
obr. 11 - konvergencia pre blízky a vzdialený predmet [15]	22
obr. 12 - perspektíva [17]	23
obr. 13 - relatívna veľkosť [17]	23
obr. 14 - vzájomná poloha [17]	23
obr. 15 - osvetlenie a tieň [17]	23
obr. 16 - pohybová paralaxa [17]	24
obr. 17 - hustota štruktúry a miera detailov [17]	24
obr. 18 - atmosférický vplyv [17]	24
obr. 19 - teoretický a empirický horopter [19]	25
obr. 20 - Panumova oblasť v okolí horoptera	26
obr. 21 - ilustrácia diplopie I [17]	26
obr. 22 - ilustrácia diplopie II [17]	26
obr. 23 - ilustrácia ľudského zorného pola	26
obr. 24 - jedoduchý stereo pár	27
obr. 25 - vzájomné prekrytie stereo páru	28
obr. 26 - štyri druhy paralaxy	28
obr. 27 - vnímaná hĺbka v obr. 24	29

obr. 28 - kamery s konvergujúcimi osami	30
obr. 29 - vertikálna paralaxa zavedená lichobežníkovým skreslením	30
obr. 30 - kamery s paralelnými osami	30
obr. 31 - ilustrácia použitia beam-splitteru [21]	33
obr. 32 - fotoaparát s nasadeným beam-splitterom [22]	33
obr. 33 - uhol $\beta = 1,5^\circ$	34
obr. 34 - zmena vnímania hĺbky pri zmene vzdialenosti	35
obr. 35 - metóda paralelných očí	36
obr. 36 - metóda prekrížených očí	37
obr. 37 - ilustrácia fúzie pri voľnom prezeraní	37
obr. 38 - prehliadač View-Master® [17]	37
obr. 39 - iPod stereoskop [22]	37
obr. 40 - krok č. 3	38
obr. 41 - vystupujúca číslica 6	38
obr. 42 - autostereogram náhodných bodov [23]	39
obr. 43 - autostereogram náhodných bodov [23]	39
obr. 44 - hĺbková mapa v obraze 43 [23]	40
obr. 45 - farebný priestor s belasým a červeným filtrom	41
obr. 46 - anaglyf - silný rušivý efekt červeného trička	41
obr. 47 - anaglyf - po desaturácii červenej a belasej farby	41
obr. 48 - premietačky s polarizačnými filtrami [24]	42
obr. 49 - zatmievajúce okuliare	43
obr. 50 - head-mounted display	43
obr. 51 - bariérový displej [25]	43
obr. 52 - lentikulárny displej [25]	44
obr. 53 - príklad volumetrického zobrazenia čajníka [26]	44
obr. 54 - Fujifilm FinePix S9600 [27]	45
obr. 55 - diaľková spúšť	46
obr. 56 - anaglyf - statív s adaptérom a dvojičkami	47
obr. 57 - anaglyf - render kalichu [28]	48
príloha C - schéma zapojenia diaľkovej spúšte k fotoaparátom Fujifilm FinePix S9600	58

0. ÚVOD

*Vtedy riekol Boh: Buď svetlo!
A bolo svetlo. Boh videl, že svetlo je dobré;
vtedy Boh oddelil svetlo od tmy. ^[1]*

Tak je opísaný prvý deň biblického stvorenia sveta. A nech už je odpoveď na otázku stvorenia sveta akákoľvek, svetlo je bez pochyb jeho neodmysliteľnou súčasťou. Či bdieme, či spíme, je všade navôkol nás. A je veru dobre, že svetlo je! Nebyť svetla, nebol by svet ako ho vidíme. A nie len to, bez svetla by akýkoľvek život nebol možný.

Človek sa už od nepamäti pokúša zaznamenať čo vidí. V prvopočiatkoch zachytával svoje vnemy na kožušiny ulovenej zvery a na steny jaskýň. Neskôr objavil sofistikovanejšie spôsoby. Postupne vznikali prvé kresby, nástenné maľby, obrazy či fotografie, sprostredkujú nám autorov pohľad na svet. Čo však tieto ploché diela postrádajú je priestorový vnem, ktorý nám je od narodenia tak prirodzený.

1. HISTÓRIA

Prvá zmienka o tom, že každé oko vidí trochu iný obraz pochádza z obdobia približne 300 rokov pred n.l., autorom ktorej bol grécky matematik Euklides. Toto tvrdenie sa snažil takmer o 500 rokov neskôr vysvetliť Claudius Galénos, rímsky lekár gréckeho pôvodu, ktorý pomocou Euklidovskej geometrie popisoval rozdielnosť obrazov vnímaných každým okom. Ďalším veľkým prínosom pre chápanie videnia a optiky boli poznatky arabského učenca Alhazana z okolia roku 1000. Jeho spisy boli v 12. storočí preložené do latinčiny pod názvom *Perspectiva*.

V roku 1519 vyslovil Leonardo da Vinci myšlienku, že plasticita vnímaných objektov je spôsobená binokulárnym videním, teda že na hĺbkové vnímanie sú potrebné dve oči. V rokoch 1611 a 1613, Johannes Kepler a François d'Aguilon zistili, že binokulárne videnie je jednotné len vo vzdialenosti, do ktorej sa zbiehajú oči. V ostatných oblastiach sú obrazy dvojité. V rokoch 1738 a 1759 vyslovili Robert Smith a William Porterfield myšlienku, že rozdiely vo vnímaných obrazoch sú spôsobené binokulárnou paralaxou. V roku 1775 angličan Joseph Harris vo svojej knihe *Treatise of optics* publikoval, že binokulárna paralaxa spôsobuje vnímanie plastičnosti.

Zásadné kroky k objasneniu priestorového vnímania spravil angličan Charles Wheatstone v roku 1833, kedy dospel k objavu, že binokulárna paralaxa spôsobuje obrazovú disparitu, ktorá je zdrojom vnímania plastičnosti. Ešte v tom roku uzreli svetlo sveta prvé binokulárne obrazy. V roku 1838 prednášal o svojich objavoch v Kráľovskej Spoločnosti. Jeho spisy^[2] sa stali všeobecne uznávané. Svoje objavy prezentoval Wheatstone na svojich kreslených obrazoch, nakoľko objav fotografie Louis-Jacques-Mandé Daguerre prezentoval vedeckej spoločnosti až o niekoľko mesiacov neskôr, v roku 1839. O dva roky neskôr už vznikali aj prvé stereo fotografie a v roku 1895 bol nakrútený prvý video snímok

„L'Arrivée d'un train en gare de La Ciotat¹“, hoci prezentovaný verejnosti bol až v roku 1903.

V nasledujúcom období zaznamenala stereo-fotografia a 3D filmy niekoľko érá popularizácie a následného ústupu do úzadia. Predovšetkým začiatkom 50. rokov dvadsiateho storočia. V roku 1953 vznikol zatiaľ rekordný počet 3D filmov. Bola ich necelá stovka. Pre porovnanie, v rokoch 2000-2009 ich bolo dohromady iba 57 ^[3]. Je teda čo doháňať, avšak s aktuálnym rozvojom stereo technológií a ich nedávnomu sprístupneniu pre domáce použitie sa môže podariť túto latku v blízkej budúcnosti pokoriť.

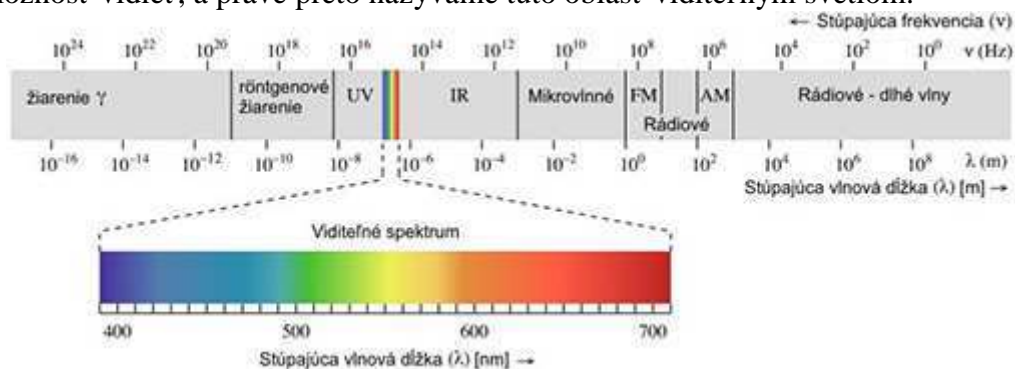
1 Príchod vlaku do stanice La Ciotat

2. SVETLO

Bez toho aby sme si to uvedomovali, priestor navôkol je zaplnený vlneniami rôzneho charakteru - tlakové vlny šíriace priestorom zvuk či rôzne rádiové vlny slúžiace na telekomunikačné účely. Niektoré z týchto vlnení našimi telami odrážame, niektoré pohlcujeme a sú dokonca aj také vlnenia, ktoré do sveta vyžarujeme. V ďalšom texte nás bude zaujímať elektromagnetické žiarenie, teda také vlnenie, ktoré obsahuje zložky súčasne elektrického aj magnetického poľa. Základnou jednotkou elektromagnetického žiarenia je častica nazývaná fotón.

2.1 Elektromagnetické žiarenie

V závislosti od vlnovej dĺžky rozoznávame niekoľko typov elektromagnetického žiarenia. Väčšinu tohto žiarenia necháva náš organizmus bez povšimnutia. Pre nás zaujímavou výnimkou je oblasť s vlnovou dĺžkou 400-700² nm. Práve na túto malú oblasť elektromagnetického spektra sú citlivé ľudské oči, vďaka čomu máme možnosť vidieť, a práve preto nazývame túto oblasť viditeľným svetlom.

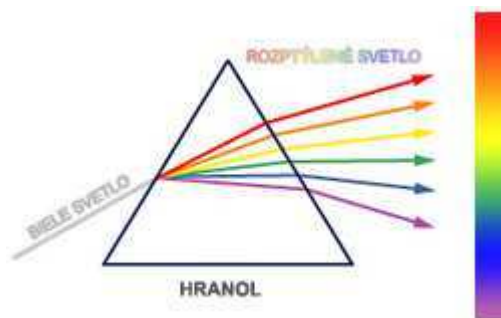


obr. 1 – Elektromagnetické spektrum a spektrum viditeľného svetla ^[4]

2 zvyknú sa uvádzať aj hodnoty v rozpätí 380-780 nm

Pri pohľade na viditeľné spektrum (obr. 1) je možné všimnúť si, že vlnenie každej vlnovej dĺžky má svoje charakteristické zafarbenie. Tieto nazývame spektrálnymi farbami. Avšak nie všetky známe farby sa nachádzajú v tomto spektre. Tie označujeme ako nespektrálne farby a patria k nim predovšetkým kombinácie farieb z opačných koncov viditeľného spektra (sú to napr. purpurová, ružová farba). Biela farba a ostatné odtiene šedej tiež nepatria medzi spektrálne farby. Vznikajú kombináciou všetkých spektrálnych farieb.

Pomocou trojbokého optického hranola sa o tom môžeme presvedčiť opačným procesom, teda rozkladom bieleho svetla na spektrálne zložky (obr. 2). Biele svetlo obsahuje vlnenia všetkých vlnových dĺžok viditeľného spektra. Pri prechode lúča hranolom sa jednotlivé zložky zalamujú v závislosti od svojej vlnovej dĺžky pod rôznym uhlom.



obr. 2 - Rozklad bieleho svetla na spektrálne ^[5]

2.2 Vznik svetla

Existuje viacero spôsobov ako vzniká svetlo. Najbežnejšie je to v dôsledku termálnych reakcií ^[6]. Každé tepelné teleso, v závislosti od svojej povrchovej teploty, vyžaruje do prostredia fotóny istej vlnovej dĺžky. Pri nižších teplotách vzniká oku neviditeľné infračervené žiarenie. S rastúcou teplotou sa do prostredia vyžarujú fotóny s vyššou vlnovou dĺžkou. Približne pri teplote 1 000K⁽³⁾ vzniká v oblasti červeného spektra viditeľné svetlo. Pri vyššej teplote sa k červenému žiareniu postupne primiešava žiarenie ostatných spektrálnych farieb až pri teplote približne 6 500K vzniká biele svetlo. Pri ešte vyšších teplotách sa primiešava žiarenie belasého zafarbenia až sa postupne začne primiešavať aj oku neviditeľné ultrafialové žiarenie (pri cca 10 000K)⁴. Príkladmi zdroja takéhoto svetla sú slnko, žiarovka či sopečná magma. Aj ľudské telo so svojou teplotou približne 37 °C vyžaruje do prostredia žiarenie, avšak iba v oblasti ďalekého infračerveného spektra.

Medzi iné spôsoby vzniku svetla patria napríklad spektrálna emisia (LED, laser, neónové lampy, plameň), alebo luminiscencia (žiarivka, svetlušky), kedy sa pri excitácii atómu a jeho následným návratom do základného stavu uvoľňujú fotóny.

3 1 000K = 726,85 °C

4 Obdobná stupnica sa používa aj pre tzv. vyváženú bielu vo fotografii a filme. Ide o proces kompenzácie zafarbenia aktuálneho svetelného zdroja tak, aby videná biela bola aj zaznamenaná ako biela. Napr. pri fotografovaní pri svetle žiarovky (cca 4000K) bude biela bez aplikovaného vyváženého zachytená ako žltoranžová.

2.3 Život svetla

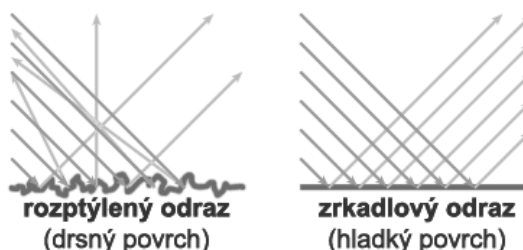
Fotón sa ďalej šíri prostredím až kým sa nedostane do kontaktu s dákou prekážkou. V závislosti od ich vzájomných vlastností môžu nastať tri udalosti: ^[7]

- **absorpcia** – prekážka fotón pohltí;
- **reflektcia** – fotón sa od prekážky odrazí, pričom uhol jeho odrazu k normále v mieste kolízie bude rovný uhlu jeho dopadu;
- **refrakcia** – pri prechode materiálmi s rôznou hustotou sa dráha fotónu zalomí.

V reálnych podmienkach však objekt nie je zasiahnutý jediným fotónom s jednou vlnovou dĺžkou, skôr je bombardovaný fotónmi s viacerými, alebo dokonca so všetkými, vlnovými dĺžkami súčasne.

Môže sa teda stať, že dáky predmet pohlcuje fotóny s vlnovou dĺžkou väčšou ako 450 nm a ostatné odráža. Fotóny s červeným zafarbením sa teda odrazia späť do prostredia a nám sa preto bude takýto objekt javiť ako červený. Iný predmet môže pohlcovať všetky zložky viditeľného spektra – bude čierny, poprípade ďalší predmet môže všetky zložky odrážať – bude biely. Tatko dochádza k zafarbeniu predmetov.

Pri odraze svetla od objektu sa svetlo po odraze rozptyľuje v závislosti od drsnosti povrchu objektu (obr. 3). Ako príklad si zoberme papier a sklo. Na mikroskopickej úrovni je papier mnohonásobne drsnejší ako sklo, čo má pri zachovaní pravidla odrazu za následok rozptýlenie svetla do všetkých smerov, zatiaľ čo v prípade relatívne hladkého povrchu skla je rozptýlenie minimálne.



obr. 3 - Porovnanie odrazu pre drsný a hladký povrch ^[8]

Každý fotón sa od počiatku svojej púti prostredím stretá s nespočetným množstvom prekážok, ktoré menia jeho dráhu, až kým nenarazí na takú, ktorá ho absorbuje a transformuje na inú formu energie. Jedna z takých prekážok sa nachádza aj v našich očiach.

3. PRIRODZENÉ VIDENIE

Tie fotóny, ktorých púť sa končí v našich očiach majú pre nás obrovský význam. Sú to prostredníci, ktorí nám poskytujú informácie o našom okolí a pomáhajú nám orientovať sa v ňom.

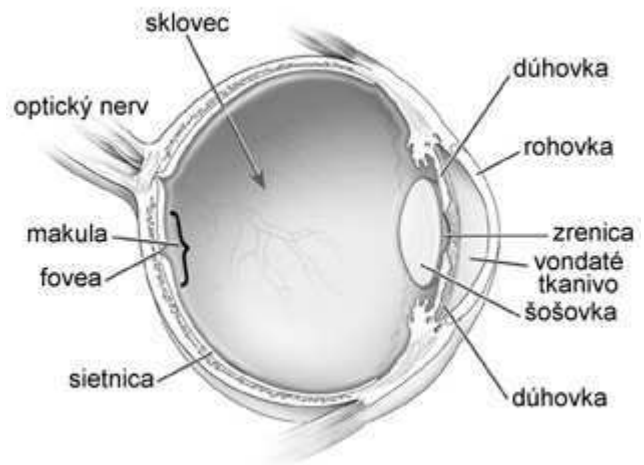
3.1 Ľudské oko

Pred tým ako je ľudské telo schopné spracovať tieto informácie, prekonáva zväzok lúčov ešte posledných približne 25 mm svojej dráhy ľudským okom.

3.1.1 Stavba oka

Svetelný lúč najprv dopadá na rohovku, ktorá súčasne s vodnatým tkanivom usmerňuje svetelné lúče do zrenice. V závislosti od množstva dopadajúceho svetla sa mení veľkosť zrenice (2-8 mm) pomocou dúhovky, farebnej časti oka, ktorá slúži ako clona.

Svetelný lúč ďalej prechádza bikonvexnou⁵ šošovkou s veľkosťou približne 10 mm. Šošovku ovláda očné mikro svalstvo, ktoré ju tvaruje, čím mení jej mohutnosť, aby boli svetelné lúče presnejšie zalomené. Túto schopnosť nazývame akomodácia oka a jej dôsledkom je ostrenie oka na požadovanú vzdialenosť. Oko je schopné zaostriť na



obr. 4 - stavba ľudského oka ^[9]

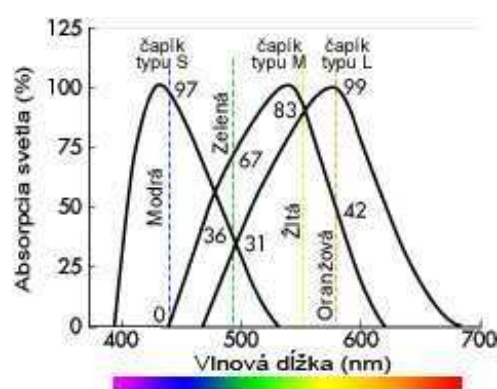
5 vypuklou z oboch strán

vzdialenosť približne 10 cm - ∞, s pribúdajúcim vekom sa však schopnosť oka akomodovať postupne zhoršuje a minimálna ostriaca vzdialenosť zväčšuje.

Ďalšou časťou oka je sklovec, tekutina vyplňajúca oko. Udržiava v oku stály tlak, a tým aj tvar oka. V zdravom oku sa napokon zaostrené svetelné lúče koncentrujú na sietnici, časti oka citlivej na svetlo. Sietnica sa skladá z buniek, foto-receptorov, ktoré delíme na tyčinky a čapíky. Tyčinky sú citlivejšie na intenzitu svetla a umožňujú nám videnie za šera. Nachádzajú sa prevažne v periférnych častiach oka. Celkovo je ich približne 20 krát viac ako čapíkov, ktoré nám umožňujú vnímanie farieb. Nachádzajú sa prevažne v oblasti žltej škvrny (makula), pričom najvyššiu koncentráciu dosahujú v oblasti centrálnej jamky (fovea). Práve toto je oblasť s najostrejším videním.

Každý z čapíkov obsahuje jeden z pigmentov citlivých na vlnové dĺžky v oblastiach blízkejších červenej, zelenej a modrej farby. Teda v závislosti od vlnových dĺžok, na ktoré sú citlivé sa delia na tri typy: čapíky typu L (long), M (medium) a S (short) – vid' obr. 5.

Fakt, že všetky tri typy čapíkov sú citlivé na vlnové dĺžky v oblasti zeleného spektra má za následok citlivejšie vnímanie farieb týchto odtieňov. V praxi to znamená asi toľko, že oko rozlišuje viac odtieňov zelenej ako je tomu pri ostatných farbách.



obr. 5 - farebná citlivosť čapíkov^[10]

3.1.2 Rozlíšenie oka

Na vzájomnej vzdialenosti foto-receptorov je závislá ďalšia vlastnosť oka, jeho rozlíšenie. Aby oko rozlíšilo dva pozorované body ako dva rôzne body, musí medzi dvomi podráždenými receptormi zostať aspoň jeden nepodráždený. V opačnom prípade sa pozorované dva body javia ako jeden. Zamerajme sa len na foveálnu oblasť, ktorá obsahuje iba čapíky. Veľkosť čapíkov je približne 3-4 μm^[11], čo pri danom priemere oka znamená, že lúče dvoch rozlíšiteľných bodov zvierajú uhol väčší ako 1 uhlová minúta⁶.

Rozlíšenie oka, resp. zrková ostrosť, sa testuje pomocou Snellenových optotypov (obr. 6). Výsledok testovania sa udáva v tvare zlomku 6/x, kde hodnota x vyjadruje vzdialenosť, z ktorej by oko so štandardnou ostrosťou videlo rovnako dobre ako testované oko zo vzdialenosti 6 m, teda zo vzdialenosti, v ktorej uhol dvoch bodov zvierá práve 1 uhlovú minútu⁷.



obr. 6 - Snellenov optotyp^[12]

Ak je napríklad výsledok testovania 6/12, znamená to toľko, že testované oko vidí zo

6 1 uhlová minúta = 1°/60

7 v imperiálnych merných jednotkách sa používa zlomok 20/x a jednotky vzdialenosti sú merané v stopách

vzdialenosti 6 metrov rovnako veľa detailov ako štandardné oko zo vzdialenosti 12 metrov. Inými slovami, čím vyššie je číslo x v menovateli, tým horšie rozlíšenie oka.

Na sietnicu sa obraz dostáva prevrátený v horizontálnej i vertikálnej rovine. Foto-receptory obsiahnuté v sietnici premieňajú dopadajúce fotóny na elektrický signál, ktorý sa pomocou optického nervu posiela do mozgu na ďalšie spracovanie. Miesto, kde do oka vstupuje optický nerv sa nazýva slepá škvrna. V tomto bode sa nenachádzajú žiadne receptory, a teda oko je v tomto bode prakticky slepé. Mozog istým spôsobom v tomto bode interpoluje obraz z okolitých receptorov. Oblasť lúčov dopadajúca na slepú škvrnu však pokrýva druhé oko a preto, pri pozeraní obomi očami v tomto bode zrak nestrácame.

3.2 Perspektívne premietanie

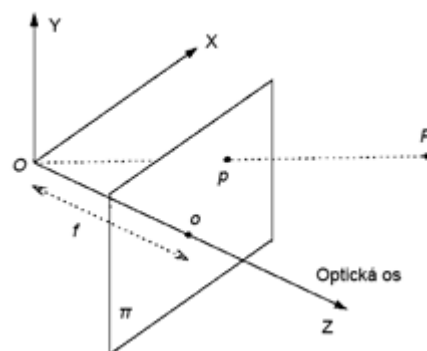
Či už je to v prípade očí alebo elektromechanických zariadení, dochádza k premietaniu z trojrozmerného do dvojrozmerného priestoru⁸. Princípom je perspektívne premietanie.

Uvažujme priemetňu π a bod O , stred premietania, taký, že $O \in E^3, O \notin \pi$

Potom bod o , daný ako $o \in \pi \wedge \overline{Oo} \perp \pi$ sa nazýva stred obrazu, vzdialenosť $f = |Oo|$ sa nazýva ohnisková vzdialenosť a priamka určená vektorom \overline{Oo} sa nazýva optická os.

Bod p je obraz objektu P a je určený ako

$$p = \{OP \cap \pi\}$$

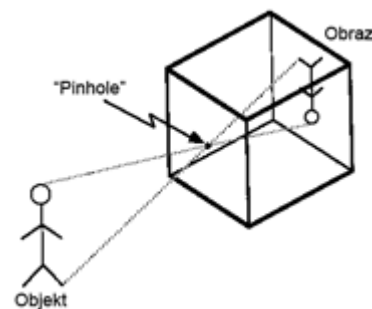


obr. 7 – kolmé perspektívne premietanie ^[14]

Takéto zobrazenie z trojrozmerného priestoru do dvojrozmerného sa nazýva kolmé perspektívne premietanie (obr.7). V závislosti od polohy priemetne a stredu premietania môže byť obraz prevrátený v horizontálnej a vertikálnej rovine.

3.2.1 Pinhole kamera⁹

Najjednoduchším zariadením, ktoré funguje na tomto princípe je tzv. „pinhole“ kamera. Ide o uzavretú schránku kvádrového tvaru s teoreticky nekonečne malou štrbinou v prednej stene, v ktorej sa pretínajú všetky svetelné lúče vchádzajúce do schránky. Zadná stena schránky slúži ako priemetňa a keďže sa nachádza v opačnom polpriestore ako snímaný objekt, obraz sa na nej zobrazuje horizontálne i vertikálne prevrátený (obr. 8).



obr. 8 - pinhole kamera ^[13]

8 v prípade očí ide o zakrivený dvojrozmerný priestor - sietnicu

9 pinhole - z angl. dierka

Pri teoreticky nekonečne malej štrbine sa všetky objekty scény premietajú na priemetňu s nulovým rozptylom, teda všetky sú ostré. Do schránky by však v takom prípade prenikalo veľmi málo svetla a pre zachytenie jediného záberu by bol potrebný príliš dlhý čas. Akonáhle sa zväčší vstupná štrbina, t.j. zmenší sa clona, do aparátu vniká viac svetla, čím sa skrátí potrebný čas pre zachytenie záberu, avšak dôjde k rozptylu svetla, ktoré treba následne usmerniť, zaostriť na senzor. Na to slúži optická sústava aparátu. Čím väčší je však vstupný otvor, tým menšiu oblasť scény je možné zachytiť ostrú. To ako veľká je oblasť ktorej objekty sa javia ostré nazývame hĺbka ostrosti. Medzi clonou a hĺbkou ostrosti je teda priamy vzťah: čím menšia clona, tým menšia hĺbka ostrosti.

Hĺbku ostrosti si môžete vyskúšať aj na vlastných očiach nasledujúcim experimentom:

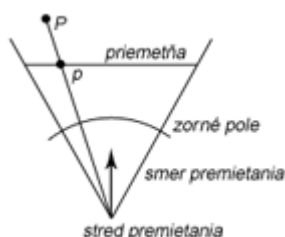
Zoberte si do ruky pero a zatvorte jedno oko. Pozerajte sa na pero vo vzdialenosti približne 15-20 cm a zaostríte naň. Všimnite si, že pozadie za perom je rozostrené – nachádza sa mimo vašej aktuálnej hĺbky ostrosti.

3.2.2 Fotoaparát / kamera

Na obdobnom princípe ako oko fungujú aj fotoaparáty a kamery. Svetelný lúč je do aparátu usmernený sústavou optických členov. Tie zabezpečujú ostrenie obrazu podobne ako šošovka v oku. Lúč ďalej prechádza mechanickou clonou, ktorá nahrádza funkcie dúhovky v oku. Fotóny sú v neposlednom rade zachytené na svetlo citlivý materiál, ktorým môže byť film alebo digitálny senzor – to je akoby očná sietnica.



obr. 9 - optická stavba objektívu Nikkor AF-S 50mm f/1.4G ^[13]



obr. 10 - reprezentácia kamery

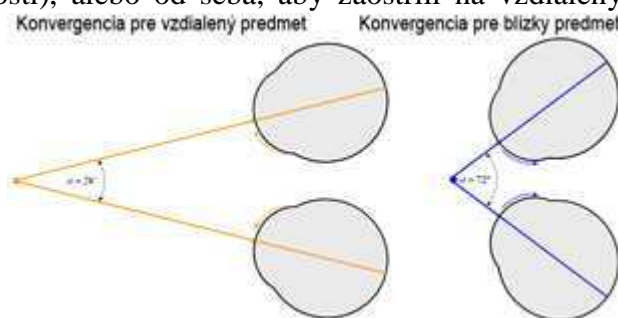
Fotoaparát alebo kamera sa dá reprezentovať stredom premietania a priemetňou s danou veľkosťou, umiestnenou v polpriestore určenom smerom premietania (obr. 10). Veľkosť priemetne spolu s ohniskovou vzdialenosťou určujú veľkosť zorného poľa.

3.3 Vnímanie priestorovej hĺbky

3.3.1 Dve oči

Každý zdravý človek bol obdarený nie jedným, ale dvomi očami. Pre ich pohyb nám slúžia extraokulárne¹⁰ svaly. Pri pohybe sledovaného predmetu v horizontálnom alebo vertikálnom smere sa oči natáčajú rovnakým smerom, zatiaľ čo pri pohybe v predozadnom smere sa oči natáčajú v navzájom opačnom smere. Tento proces sa nazýva *vergencia*. Osi sa môžu natáčať buď smerom k sebe, aby zaostrili na blízky predmet – vtedy hovoríme o konvergencii (zbiehavosti), alebo od seba, aby zaostrili na vzdialený predmet – vtedy hovoríme o divergentnom (rozbiehavom) pohybe očí. Keď sú osi očí navzájom rovnobežné, sú sústredené na objekt v nekonečne – toto by mala byť limitná poloha očí u zdravého človeka.

Ako som však nedávno zistil, som schopný svoje oči dostať aj do mierne divergentnej polohy. Nie som si istý, či je to moja očná vada alebo či je to u človeka normálne, v každom prípade neodporúčam úmyselne tento stav navodzovať, nakoľko nepoznám zdravotné riziká s tým spojené!



obr. 11 - konvergencia pre blízky a vzdialený predmet^[15]

Vzdialenosť očí nie je rovnaká u každého človeka, môže nadobúdať hodnoty približne 50-80 mm. Za dobrý priemer sa považuje medzinárodný štandard 63,5 mm. A je to práve vďaka horizontálnemu rozostupu očí prečo vnímame hĺbkový rozmer priestoru okolo nás tak intenzívne.

Vnímané obrazy ľavého a pravého oka sú z dôvodu interokulárnej vzdialenosti navzájom mierne horizontálne posunuté a otočené okolo vertikálnej osi. Každé oko sa na svet pozerá z mierne inej perspektívy. Existuje jednoduchý experiment ako sa o tom presvedčiť:

Vystrite ruku so vztýčeným palcom a zaostrite na palec. Následne striedavo otvárajte a zatvárajte oči tak, že v jednej chvíli je otvorené vždy práve jedno oko. Všimnite si, že pozadie sa mení vzhľadom na uhol otvoreného oka.

3.3.2 Monokulárne aspekty priestorového videnia

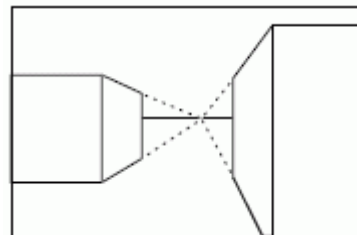
Mozog však vie tieto rozdiely spracovať a odvodiť z nich hĺbkový rozmer. Vzniká teda vnímanie hĺbky - priestorové videnie. Na to, aby sme odhadli v priestore hĺbku však nepotrebujeme nevyhnutne obe oči. Vďaka skúsenostiam, ktoré počas života nadobúdame, vieme odhadnúť vzdialenosť predmetov aj s použitím iba jedného oka^[16, 17]. Ide o tzv. Monokulárne aspekty vnímania priestoru.

¹⁰ mimo očné

3.3.2.1 Perspektíva

Perspektíva je asi najdôležitejšia z monokulárnych aspektov, nakoľko silne umocňuje hĺbku. Je to spôsob zobrazovania priestorových útvarov, pri ktorom sa zbiehajú rovnobežky a vzdialené predmety pôsobia menšie.

Perspektíva vytvára vzťah medzi objektami v popredí a v pozadí. Ak je zväčšená alebo ak sú obsiahnuté línie zbiehajúce sa do úbežníka, hĺbka je ešte viac zvýraznená.



obr. 12 – perspektíva^[17]

3.3.2.2 Relatívna veľkosť

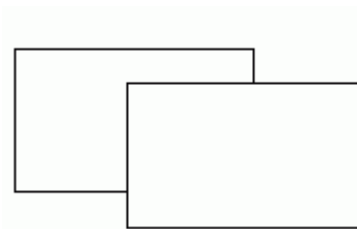
Dôsledkom perspektívy je tiež zdanlivá veľkosť zobrazených predmetov. Skúsenosť nás naučila, že predmety sa nám vo väčšej vzdialenosti javia menšie ako keď sú v našej blízkosti.



obr. 13 - relatívna veľkosť^[17]

3.3.2.3 Vzájomná poloha

Vzájomná poloha je hádam tak zrejma, že si ju mnohokrát vôbec neuvedomujeme. Keď držíme v rukách knihu, je zjavné, že kniha je bližšie ako prsty, ktoré ju podpierajú z jej vonkajšej strany.

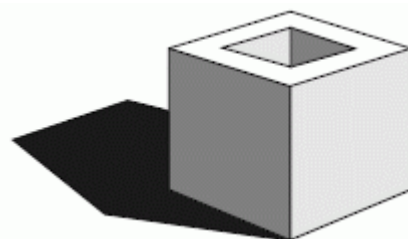


obr. 14 - vzájomná poloha^[17]

3.3.2.4 Osvetlenie a tieň

Tieňovanie a odlesky na povrchu objektu nám dávajú informáciu o tvare daného objektu i o umiestnení zdroja svetla v scéne.

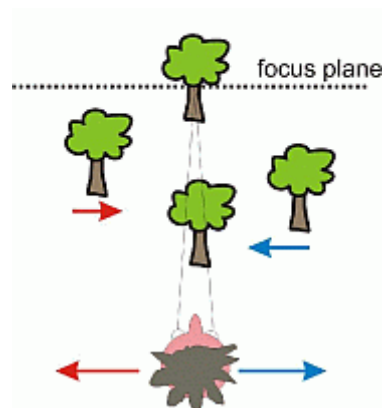
Vrhnutý tieň objektu tiež pomáha určiť jeho polohu vzhľadom na iné objekty scény.



obr. 15 - osvetlenie a tieň^[17]

3.3.2.5 Pohybová paralaxa

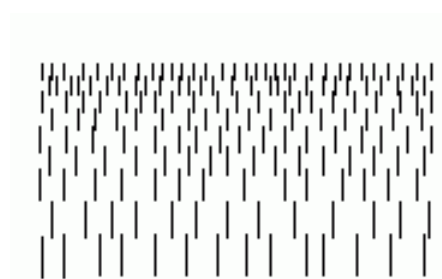
Stĺpy elektrického vedenia mihajúce sa veľkou rýchlosťou, zatiaľ čo stromy v diaľke sa hýbu pomalšie a kopce v pozadí akoby zostávali na mieste. Bežná scéna pri pohľade z idúceho auta napovedá o vzájomnej vzdialenosti sledovaných objektov.



obr. 16 - pohybová paralaxa^[17]

3.3.2.6 Hustota štruktúry

Dobrym príkladom sú opakujúce sa rady viniča, ktoré akoby s pribúdajúcou vzdialenosťou naberali na hustote.



obr. 17 - hustota štruktúry a miera detailov^[17]

3.3.2.7 Miera detailov

Je tiež dobre pozorovateľná na objektoch s opakujúcou sa štruktúrou. Čím ďalej je pozorovaný objekt, tým menej detailov sme schopný pozorovať.

3.3.2.8 Atmosférický vplyv

Drobné častice obsiahnuté v atmosfére absorbujú a rozptyľujú viditeľné svetlo, čo zapríčiňuje, že s pribúdajúcou vzdialenosťou sa objekty javia menej kontrastné, menej ostré.

Taktiež môže dojsť k istému namodraniu vzdialených objektov z dôvodu vyššej absorpcie červeného svetla atmosférou.



obr. 18 - Atmosférický vplyv^[17]

3.3.2.9 Akomodácia oka

Akomodácia oka nám sprostredkúva dve informácie ku vnímaniu hĺbky. Jednak je to rozmazanie objektov v odlišnej vzdialenosti ako je vzdialenosť ostrenia oka, jednak je to signál mikro svalstva, ktoré tvaruje šošovku v oku.

Tieto informácie sú citlivejšie hlavne pre objekty v blízkej vzdialenosti od oka, nakoľko dochádza k väčšiemu rozmazaniu ako pri objektoch vo veľkej vzdialenosti. Šošovka vo vzdialenosti väčšej ako 6 m už nemení svoj tvar.

3.3.3 Binokulárne aspekty priestorového videnia

Skúsenosti nás naučili vnímať priestor aj bez nutnosti použiť obe oči, avšak práve vďaka správne umiestneniu a natočeniu páru očí skutočne vnímame hĺbku priestoru. Možnosť použiť dve oči nám pomáha presnejšie určiť vzdialenosť pozorovaného objektu v priestore.

3.3.3.1 Konvergencia očí

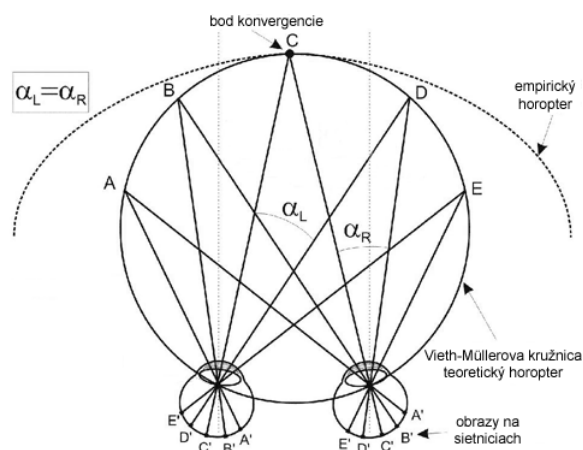
Podobne ako pri akomodácii, aj pri konvergencii dochádza k vnímaniu vzdialenosti. K tomuto odhadu mozgu poslúži znalosť množstva námahy vynaloženej svalmi na natočenie osí očí do polohy konvergujúcej na predmet (kvázy-ekvivalent uhla natočenia osí očí) a znalosť interokulárnej vzdialenosti. Z týchto dvoch parametrov sa už dá odvodiť vzdialenosť predmetu. Tento odhad sa však dá aplikovať len pre objekty vo vzdialenosti menšej ako 20 m, nakoľko pri väčšej vzdialenosti sú osi už takmer v paralelnej polohe.

3.3.3.2 Retinálna disparita¹¹

Retinálna disparita, teda rozdielnosť obrazov na sietnici, je spôsobená faktom, že každé naše oko sa pozerá na svet z inej perspektívy. Nakoľko sú oči posunuté len v horizontálnom smere, nedochádza v reálnych podmienkach ku vertikálnej disparite, ale len k disparite horizontálnej. Táto odlišnosť vnímaných obrazov je spracovaná v zrakovej časti mozgu do jedného výsledného obrazu s vnem priestorovej hĺbky. Tento proces spojenia dvoch podobných obrazov sa nazýva *fúzia*, pričom výsledný vnem hĺbky sa nazýva *stereopsia* ^[18] – priestorové vnímanie.

3.3.4 Horopter

V priestore existuje oblasť bodov, ktoré sa pri pohľade na fixačný bod premietnu na sietnice očí s nulovou disparitou. Objekt, na ktorý oči konvergujú (fixačný bod) sa zobrazí do foveálnej oblasti sietnice oboch očí. Ak by sa prekryli obrazy sietníc oboch očí takým spôsobom, že by ich foveálne oblasti korešpondovali, tieto body by sa navzájom prekryvali (mali by nulovú disparitu). Táto oblasť sa nazýva horopter, alebo tiež Vieth-Müllerova kružnica ^[19]. Body ležiace v tejto oblasti sa vzhľadom na umiestnenie fixačného bodu premietajú na



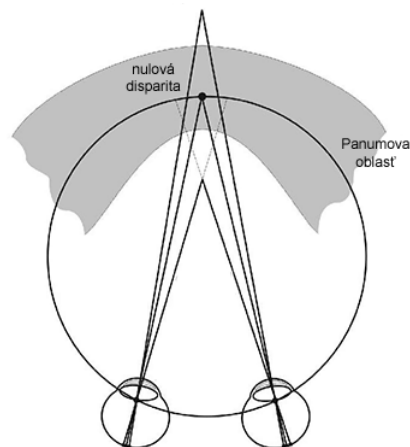
obr. 19 - Teoretický a empirický horopter ^[19]

¹¹ retina – sietnica; disparita – rozdielnosť

sietnicu ľavého oka pod rovnakým uhlom ako na sietnicu pravého oka.

V praxi však tieto body netvoria kružnicu ale skôr útvar daný prienikom valca s hyperbolickým paraboloidom. Na obr. 19 je zobrazený teoretický aj empirický horopter pri pohľade zhora.

Náš mozog však dokáže spracovať aj drobné rozdiely medzi jednotlivými vnemami. Vďaka tomu nie je nulová disparita, a teda aj lepšia fúzia obrazov, limitovaná výhradne len na presnú oblasť horoptera. V jeho okolí hovoríme o tzv. Panumovej oblasti (obr. 20), v ktorej ešte mozog vníma objekt ako jednotný. Mimo tejto oblasti dochádza k dvojitému videniu, diplopii, ktorú demonštruje nasledujúci experiment:



obr. 20 - Panumova oblasť v okolí horoptera



obr. 21

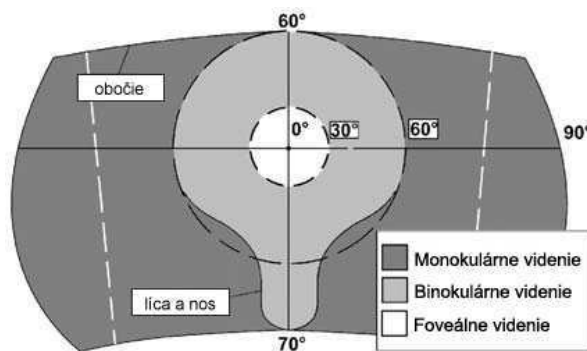
Vystrite ruku so vztýčeným palcom a zaostríte na palec. Vaše oči teraz konvergujú na palec, teda ich osi sa v ňom pretínajú. Všimnite si, že zatiaľ čo palec vidíte len raz, pozadie vidíte dvojito (obrázok vľavo). K podobnému výsledku sa dostanete aj keď svoj zrak zaostríte na pozadie, pričom si môžete všimnúť, že palec vidíte dva krát (obrázok vpravo; prevzaté z^[17]).



obr. 22

3.3.5 Zorné pole

Zorné pole každého človeka je mierne odlišné, nakoľko závisí od tvaru lebky samotnej. Pole každého oka je ohraničené tvárovými črtami; zhora obočím, zospodu lícami a z vnútornej strany nosom. Vo všeobecnosti však obe oči pokrývajú oblasť presahujúcu 180° v horizontálnom a 130° vo vertikálnom smere. Je to oblasť monokulárneho videnia. Oblasť, ktorá je pokrytá oboma očami má rozsah približne 120° v horizontálnom a 130° vo vertikálnom smere. Hovoríme o oblasti binokulárneho videnia. Súčasťou oblasti binokulárneho videnia je aj oblasť tzv. foveálneho videnia, ktorá má rozsah približne 60° v horizontálnom i vertikálnom smere. Je to oblasť s najcitlivejším zrakovým vnímaním.



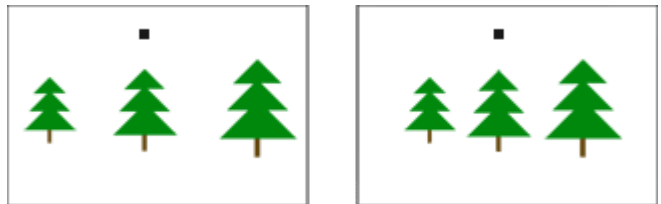
obr. 23 - ilustrácia ľudskeho zorného poľa

4. UMELÉ VIDENIE

Binokulárne videnie sa dá simulovať v umelých podmienkach. Cieľom je zobrazit' plošný obraz takým spôsobom, aby ho mozog vnímal hĺbkovo, je teda potrebné umelo vytvoriť retinálnu disparitu.

Aby sa dala táto podmienka splniť je nevyhnutné, aby každé oko vnímalo mierne odlišný obraz rovnakej scény. To sa dosiahne tak, že sa zhotovia dva korešpondujúce zábery rovnakej scény medzi ktorými dôjde k posunu v horizontálnej rovine. Teda podobne ako by scénu videli súčasne ľavé a pravé oko. Takéto dva korešpondujúce zábery spolu tvoria stereo pár, čo môže byť kresba, fotografia či rendering, či už v statickej alebo v dynamickej forme (animácia, film).

Základným princípom ktorejkoľvek z pozorovacích techník je prezentovanie stereo páru takým spôsobom, aby každé z očí videlo iba jemu určený korešpondujúci záber a súčasne aby mu bolo zabránené vidieť záber určený pre druhé oko. S rôznymi možnosťami pozorovacích techník sa zoznámime v ďalších kapitolách.

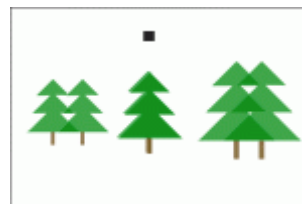


obr. 24 - jednoduchý stereo pár

4.1 Paralaxa

Pri vzájomnom prekrytí korešpondujúcich záberov si môžeme všimnúť drobné rozdiely. Medzi niektorými objektami došlo k horizontálnemu posunu.

Veľkosť tohto posunu je závislá na pôvodnej vzdialenosti objektov od kamery. Vzdialenosť medzi korešpondujúcimi prvkami ľavého a pravého záberu v zobrazovacej rovine sa označuje ako paralaxa. Rozoznávame štyri druhy paralaxy ^[17]:



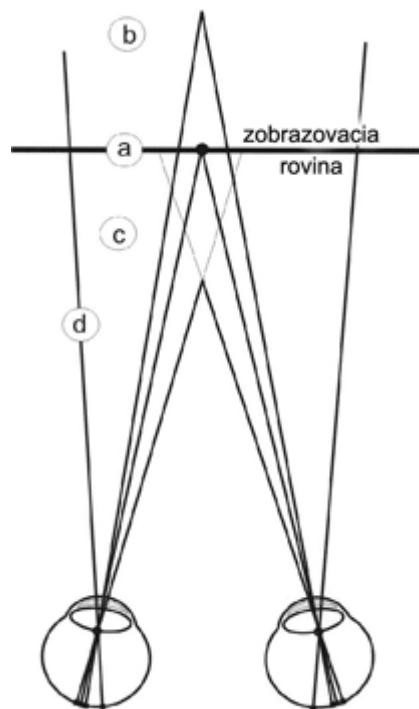
obr. 25 - vzájomné prekrytie stereo páru

a) nulová paralaxa – vzdialenosť medzi korešpondujúcimi prvkami ľavého a pravého záberu je nulová, osi očí konvergujú na zobrazovaciu rovinu;

b) pozitívna paralaxa – vzdialenosť medzi korešpondujúcimi prvkami je nenulová, pričom osi očí konvergujú za zobrazovaciu rovinu, poloha objektov v zábere súhlasí s polohou očí - prvok pre ľavé oko je zobrazený naľavo od prvku pre pravé oko;

c) negatívna paralaxa – vzdialenosť medzi korešpondujúcimi prvkami je nenulová, pričom osi očí konvergujú pred zobrazovaciu rovinu, poloha objektov v zábere je opačná ako poloha očí - prvok pre ľavé oko je zobrazený napravo od prvku pre pravé oko.

Pre efekt, pri ktorom objekty akoby vychádzali do priestoru pred zobrazovaciu rovinu, sa používa práve negatívna paralaxa. Tento spôsob je však namáhavejší pre oči ako pri pozitívnej paralaxe. S negatívnou paralaxou sa spájajú viaceré problémy, ktorým sa treba vyvarovať. Bližšie si o nich povieme neskôr;

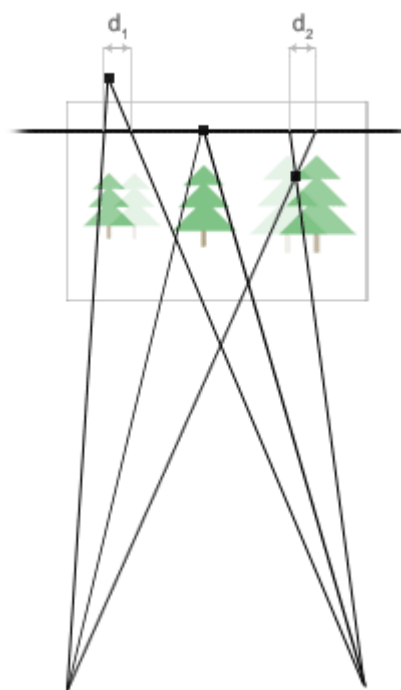


obr. 26 - štyri druhy paralaxy

d) divergentná paralaxa – je to špeciálny prípad pozitívnej paralaxy, pri ktorej vzdialenosť medzi korešpondujúcimi prvkami presahuje interokulárnu vzdialenosť. Osi očí by teda museli prekročiť ich limitnú paralelnú polohu, na čo nie sú prispôbobeňé. V reálnom svete k tomuto javu nedochádza. Divergentnej paralaxe je preto potrebné sa za každých okolností vyhnúť.

Na obr. 24 je príklad stereo páru, napravo je obraz pre pravé oko, naľavo obraz pre ľavé oko. Na jeho prezeranie nie je potrebné žiadne prídavné zariadenie.

Ako teda na to: *uistite sa, že vzdialenosť dvoch čiernych bodov nie je väčšia ako vzdialenosť medzi vašimi očami. Ak tomu tak je, treba podľa možností zobrazovacieho zariadenia prispôbiť veľkosť obrázka tak, aby ich vzdialenosť nepresahovala vzdialenosť vašich očí. Pre jednoduchšie zvládnutie tejto techniky odporúčam prezerat' stereo pár zo vzdialenosti približne 0,75 – 1,5m. Pozerajte smerom na obrázok a uvoľnite svoje oči tak, aby konvergovali za zobrazovňou tak, aby os pravého oka prechádzala čiernym bodom v pravej časti obrázka a os ľavého oka aby prechádzala čiernym bodom ľavého obrázka. Mali by sa teda zliať do jedného čierneho bodu. Keď sa tak stane, skúste pomaly zaostrit' (akomodovat' oči), pričom dbajte na to, aby čierne body boli naďalej zliate v jeden.*



obr. 27 - vnímaná hĺbka v obr. 24

Čo sa deje pri prezeraní obrázku 24 ilustruje obrázok 27 – náhľad zhora. Priesečnice lúčov vychádzajúcich z očí naznačujú vnímanú hĺbku daného stromu. Vzdialenosti d_1 a d_2 predstavujú príslušné paralaxy, pričom v prípade d_1 ide o pozitívnu paralaxu, bod konvergencie sa nachádza za zobrazovacou rovinou, ľavý strom sa javí byť v pozadí. V prípade d_2 ide o negatívnu paralaxu, bod konvergencie sa nachádza pred zobrazovacou rovinou, objekt akoby sa vynáral do priestoru pred zobrazovacou rovinou.

4.2 Dve kamery

Nutnou a postačujúcou podmienkou vytvárania stereo obrazu je vytvorenie dvoch korešpondujúcich záberov s obsiahnutou paralaxou. Stačilo by teda vziať do ruky akýkoľvek fotoaparát, stlačiť spúšť, posunúť fotoaparát o pár centimetrov do strany a stlačiť spúšť s rovnakým nasmerovaním aparátu ešte raz. Aj takáto dvojica záberov bude obsahovať paralaxu, a teda sprostredkúva informáciu o hĺbke v priestore. Okrem toho však v záberoch budú aj chyby rôzneho charakteru, ktoré by mohli pri prezeraní prekážať, alebo robiť proces prezerania únavným, či dokonca aj bolestivým.

Aké sú teda možnosti a ako správne postupovať pri tvorbe stereo obrazov ^[20]?

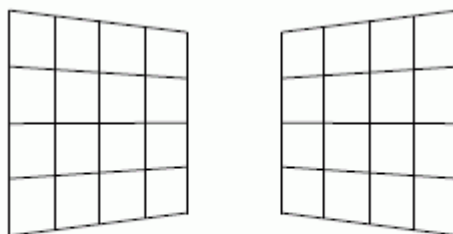
Uvažujme sústavu dvoch kamier s rovnakými nastaveniami, tzn. dva stredy premietania a dve rovnako veľké priemetne s rovnakou ohniskovou vzdialenosťou a identickými nastaveniami expozície a farebnosti. Poznáme dva základné prístupy čo do vzájomnej polohy kamier pri vytváraní stereo záberov.

4.2.1 Konvergujúce kamery

V prvom prípade optické osi kamier konvergujú na objekt záujmu¹² (obr. 28), podobne ako je to v prípade ľudského zraku, kde oči konvergujú na predmet. Väčšina začínajúcich nadšencov považuje tento prístup za správny. Pri súčasnom natočení optických osí kamier k sebe však pri premietnutí do dvojrozmerných priemetní dochádza v dôsledku lichobežníkového skreslenia k zavedeniu vertikálnej paralaxy medzi korešpondujúcimi zábermi. Na demonštráciu môže poslúžiť nasnímanie záberov rovnej steny s pravouhlými čiarami (obr. 29). Pri porovnaní ľavého a pravého záberu vidno, že od stredu smerom ku krajom sa zvyšuje hodnota vertikálnej paralaxy. Ďalším obmedzujúcim faktorom pri použití konvergentných osí kamier je invariantnosť oblasti záujmu. Táto oblasť je určená už pri snímaní záberov priesečnicou priemetní a nedá sa pri spomenutom postupe dodatočne meniť v procese dodatočného spracovania.



obr. 28 - kamery s konvergujúcimi osami

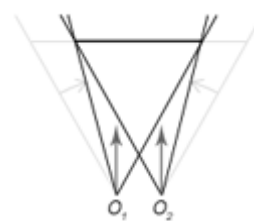


obr. 29 - vertikálna paralaxa zavedená lichobežníkovým skreslením

Aj napriek zavádzaniu vertikálnej paralaxy má táto metóda svoje uplatnenie. Predovšetkým pri vytváraní makro záberov, kedy už nie je možnosť kamery k sebe viac priblížiť. V prípade použitia tejto metódy sa v rámci možností odporúča použiť jednoliate pozadie, pri ktorom nebude vertikálna paralaxa až natoľko badateľná. Svoje použitie môže nájsť aj vo filmovom priemysle pri tvorbe špeciálnych efektov na zelenom plátne, kedy sa pozadie vytvára separátne.

4.2.2 Paralelné kamery

Druhým spôsobom je umiestnenie kamier do polohy, v ktorej sú ich osi navzájom rovnobežné. Pri vytváraní záberov týmto spôsobom sa oblasť s nulovou paralaxou nachádza v teoreticky nekonečnej vzdialenosti od kamier (reálne ide o vzdialené pozadie). Toho dôsledkom je, že všetky objekty v stereo obraze majú negatívnu paralaxu, čo nie je žiadúce. Výsledný obraz teda ešte treba vhodne upraviť, aby oblasti s negatívnou paralaxou neincidovali s hranami zobrazovne, teda aby nedochádzalo ku konfliktu medzi binokulárnym aspektom disparity a monokulárnym aspektom vzájomnej pozície. To sa dosiahne vzájomným posuvom jednotlivých záberov a ich následným orezom. Správna voľba oblasti s nulovou paralaxou je veľmi dôležitá. Ak sa nezvolí správne, divák môže mať problém vnímať stereoskopický efekt.



obr. 30 - kamery s paralelnými osami

¹² v angl. známa pod pojmom converging, alebo tiež aj toe-in metóda

4.3 Ako pristupovať k tvorbe stereogramov

Stereo obraz je akýmsi oknom v zobrazovacej rovine do virtuálneho sveta. Objekty s nulovou paralaxou sa nachádzajú v úrovni tohto okna. Mozog vie akceptovať, že sa objekty nachádzajú za týmto oknom (objekty s pozitívnou paralaxou) a vie dokonca spracovať aj to, že niektoré objekty z tohto okna vystupujú, že sú pred týmto oknom (objekty z negatívnou paralaxou). Čo však mozog nepochopí je situácia, keď časť objektu vystupuje do popredia a zvyšok objektu neexistuje, pretože na jednotlivých záberoch sa nachádza iba časť objektu vystupujúca z okna a jeho zvyšok je za hranicami oboch záberov. V tej chvíli nastáva konflikt, s ktorým sa treba vysporiadať. Riešením je posunutie vzdialenosti nulovej paralaxy tak, aby sa nekompletné objekty nachádzali za oknom zobrazovacej roviny. Vtedy je situácia pre mozog obdobná ako keď sa oči pozerajú cez skutočné okno – vtedy rám okna zakrýva objekty za ním, čo je úplne prirodzené.

Vo všeobecnosti sa podľa ^[20] odporúča používať malé hodnoty interaxiálnej separácie¹³ a široký zorný uhol, min. 40° v horizontálnej rovine, čo je ekvivalent 50 mm ohniskovej vzdialenosti, teda približne ohnisková vzdialenosť ľudského oka. Zvolená ohnisková vzdialenosť ovplyvňuje hĺbkové vnímanie reliéfu objektu. S menšími hodnotami ohniskovej vzdialenosti sa reliéf zvýrazňuje. Pri použití vyšších hodnôt sa perspektíva splošťuje, môže sa teda stať, že zobrazovaný predmet sa bude javiť síce v priestore, ale plochý.

Nasledujúca rovnica popisuje ako sa mení maximálna hodnota paralaxy v závislosti od použitých nastavení kamier.

$$P_m = M f_c t_c \left(\frac{1}{d_0} - \frac{1}{d_m} \right)$$

f_c – použitá ohnisková vzdialenosť

t_c – interaxiálna separácia, vzdialenosť kamier

M – faktor veľkosti zobrazovacej obrazovky v horizontálnej rovine, šírka zobrazovne

d_0 je vzdialenosť kamery a oblasti s nulovou hodnotou paralaxy po aplikovaní horizontálneho posunu.

Objekt vo vzdialenosti d_m bude mať potom hodnotu paralaxy P_m .

Cieľom je vytvoriť čo najsilnejší stereoskopický efekt pri zachovaní maximálnej paralaxy 1,5°. Z rovnice je zjavné, že veľkosť paralaxy je priamo úmerná veľkosti zobrazovacej plochy (paralaxa bude dva krát väčšia na obrazovke širokej 8m ako na obrazovke širokej 4m), ohniskovej vzdialenosti a vzdialenosť kamier. Tá zohráva dôležitú úlohu pri ovplyvňovaní stereoskopického efektu. Pri vytváraní záberov blízkych objektov môže byť

¹³ vzdialenosti osí kamier

táto vzdialenosť malá a pri tom stále vytvárať dostatočne silný hĺbkový efekt. Na druhej strane, pri vytváraní záberov veľmi vzdialených objektov môže byť potrebná vzdialenosť niekoľkých stoviek metrov. V závislosti od toho, či je táto vzdialenosť menšia, resp. väčšia ako zavedený štandard priemernej vzdialenosti ľudských očí, t.j. 63,5mm, hovorí sa o hypostereo, resp. hyperstereo záberoch. Hypostereo nachádza využitie napr. pri makro záberoch, hyperstereo napríklad pri topologickej fotogrametrii.

4.4 Spôsoby tvorenia stereogramov

Pre jednoduché stereo experimenty a v prípadoch, keď nie je k dispozícii iný spôsob, postačí aj jednoduchá metóda známa aj pod označením cha-cha. Spočíva v tom, že autor budúceho stereo záberu zoberie fotoaparát, rozhodne sa pre žiadanú kompozíciu budúceho záberu, naviaže sa na ľavú nohu a stlačí spúšť pre vytvorenie ľavého záberu. Následne, bez toho aby menil kompozíciu, preniesie svoju váhu na pravú nohu a opätovne stlačí spúšť pre vytvorenie pravého záberu.

Tento spôsob má však veľa nedostatkov, predovšetkým vysoká miera pravdepodobnosti zavedenia nežiadúcej vertikálnej paralaxy. Ďalším obmedzením je nemožnosť zachytávať pohyblivé scény, nakoľko sa zábery vyhotovujú s časovým posunom a aj jemný vánok môže výraznejšie zmeniť zachytávanú scénu.

Sofistikovanejší spôsob založený na obdobnom princípe zahŕňa použitie statívu a špeciálneho adaptéru, ktorý dovoľuje posúvať fotoaparát v horizontálnom smere, čím sa predovšetkým eliminuje riziko zavedenia vertikálnej paralaxy.

Napriek tomu, že táto metóda nie je univerzálne použiteľná, nachádza svoje uplatnenie napríklad v stereofotogrametrii, pri topologickom mapovaní z vytvorených leteckých, či družicových snímok, kedy sa v istých časových intervaloch závislých na výške a rýchlosti kamery robia snímky topologických oblastí.

Väčšie možnosti pri vytváraní stereo záberov poskytuje zostava dvoch identických modelov kamier - dvojičiek. Použitie neidentických modelov nie je odporúčané, nakoľko každé zariadenie môže zaznamenať scénu s inou reprezentáciou farieb, jasom, kontrastom a pod. Preto je potrebné použiť rovnaké nastavenia pre obe zariadenia.

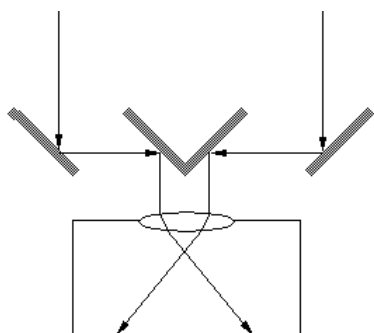
Najväčším známym využitím stereo dvojičiek je projekt STEREO¹⁴ pod hlavičkou NASA. Cieľom projektu je 3D výskum Slnka a jeho erupcií v rôznych elektromagnetických spektrách. Družice STEREO-A a STEREO-B obiehajú Slnko po trajektórii podobnej tej Zemskej.

K tomu, aby sa dali zachytávať aj pohyblivé scény treba vyriešiť ešte jeden problém – synchronizáciu. Najjednoduchším spôsobom je synchronizácia rúk vlastného tela, kedy prsty ľavej a pravej ruky súčasne stlačia spúšť na jednotlivých fotoaparátoch. Takýto prístup však len sotva zaručí dostatočne presnú synchronizáciu. Podľa ^[20] je limitom synchronizácie pri zachovaní hĺbkového vnímania hranica 50ms. Preto je žiadúce zabezpečiť synchronizáciu zariadení na elektronickej báze. K niektorým zariadeniam sa vyrábajú diaľkové ovládania, no ani ostatné zariadenia nie sú v tomto smere odpísané.

14 Solar TERrestrial RELations Observatory

Rovnaké princípy sa aplikujú aj pri renderovaní scén v 3D softvérových aplikáciách. Princíp je v tom, že sa v scéne vytvoria dve kamery s rovnakými nastaveniami a postupne sa pre každú z nich vygeneruje obraz, ktorý sa následne spojí do stereo obrazu.

Ďalšie spôsoby vytvárania stereo záberov poskytujú špeciálne kamery a fotoaparáty vytvorené špecificky za týmto účelom. Telo aparátu zvyčajne obsahuje dva navzájom horizontálne posunuté objektívy. Každý objektív potom zaznamenáva v plnom rozlíšení obraz zo svojho uhlu pohľadu. Nevýhodou však môže byť neflexibilita zariadení.



obr. 31 - ilustrácia použitia beam-splitteru [21]

Alternatívou s nižším rozlíšením je použitie jedného objektívu s adaptérom nazývaným beam-splitter. Ide o optický systém zrkadiel, ktorý rozdeľuje lúče ľavého a pravého záberu. Princíp ilustruje obr. 31 a príklad takéhoto zariadenia je na obr. 32.



obr. 32 - fotoaparát s nasadeným beam-splitterom [22]

Prvé stereoskopické obrázky vznikali ešte pred samotným objavom fotografie, vznikali manuálne, rukami umelcov. Nie je podstatné to, ako obrazy vznikajú. Podstatné je zavedenie paralaxy do obrazu, ktorá je príčinou retinálnej disparity, vďaka ktorej vzniká stereopsia. Nie je teda nevyhnutné, aby na počiatku boli dve kamery. Vytvoriť paralaxu sa dá aj umelo, z jedného dvojrozmerného obrazu. Ide o zložitý, z veľkej časti manuálny, proces zahŕňajúci:

- segmentáciu objektov v scéne;
- vytvorenia hĺbkovej mapy – dvojrozmerného, 8-bitového (monochromatického) obrazu, v ktorom biela reprezentuje blízke a čierna vzdialené objekty;
- následným vytvorením približnej trojrozmernej scény v modelovacom softvéri;
- derivácie posunutého záberu obsahujúceho paralaxu.

V poslednom období sa na trhu objavili softvérové i hardvérové produkty, ktoré sľubujú z dvojrozmerného záznamu vytvoriť trojrozmerný automaticky. Mal som možnosť otestovať softvér 3DCombine a svojim automatizovaným procesom ma vôbec neprekvapil. Jednoduché portréty s výrazne kontrastne odlišiteľným pozadím ešte ako-tak zvládol, efekt síce nebol dostatočne výrazný, ale bol prítomný. Komplexnejšie scény však softvér iba akoby posunul poza virtuálne okno, čím vytvoril stereoskopický efekt, avšak jednotlivé objekty zostali s konštantnou hodnotou paralaxy v rovnakej úrovni hĺbky. Obdobne dopadol aj test videí, dojem hĺbky síce prítomný bol, avšak nie realistický.

5. ZOBRAZOVANIE

5.1 Faktory vplývajúce na vnímanú hĺbku

Hĺbka, ktorú možno vnímať je ďalej závislá na niekoľkých faktoroch ^[20].

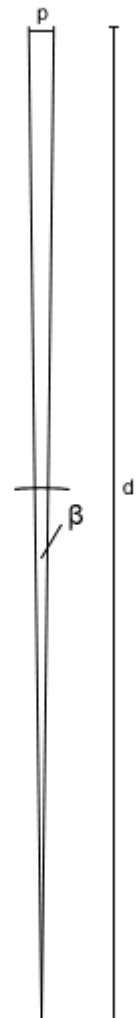
5.1.1 Pozorovacia vzdialenosť

Vzdialenosť, z ktorej sa pozorovateľ pozerá na zobrazovacie zariadenie ako i veľkosť tohto zariadenia významne ovplyvňujú zážitok ale i samotnú možnosť priestorového vnemu. Nedodržanie tohto odporúčania môže viesť k nepohodliu alebo až bolesti. Pozitívna paralaxa by nemala výrazne presahovať interokulárnu vzdialenosť pozorovateľa, aby nedochádzalo k divergentnej paralaxe. Oči sú schopné miernej divergencie, avšak nejde o prirodzený stav a môže viesť k nepohodliu a bolestivým prejavom! Podľa ^[17, 20] sa neodporúča prezentovať pozorovateľovi stereo obraz s paralaxou zvierajúcou s jeho očami väčší ako 1,5° uhol (obr. 33).

$$\tan\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{p}{2d} \quad (1)$$

$$d = \frac{p}{2} * (\cotg\left(\frac{\beta}{2}\right)) \quad (2)$$

$$\beta = 2 * \arctan\left(\frac{p}{2d}\right) \quad (3)$$

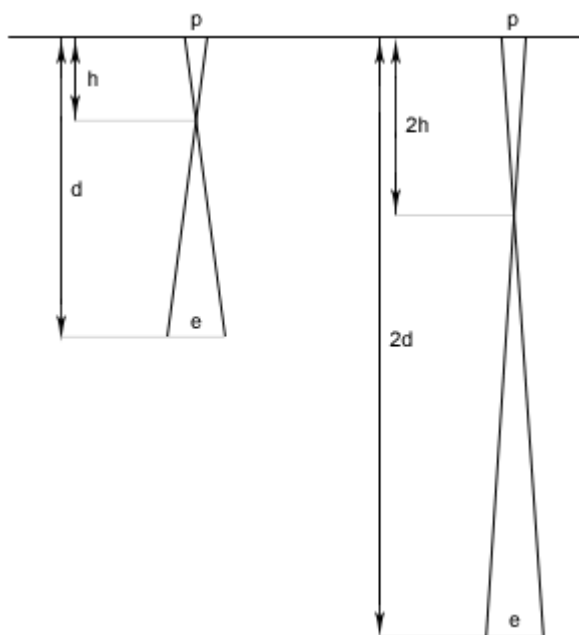


obr. 33 - $\beta = 1,5^\circ$

Zo vzťahu (2) pre $\beta = 1,5^\circ$ platí, že $d \approx 38,2 * p$. Ak by sa zároveň žiadalo vyhnúť diplopii, tak za β treba dosadiť 20 uhlových minút, potom platí, že $d \approx 172 * p$.

Hoci sa kvôli pohodliu diváka neodporúča používať vysoké hodnoty uhlu paralaxy, pri špeciálnych hĺbkových efektoch, napr. v 3D kinách, na krátku dobu môže negatívna hodnota uhlu paralaxy niekoľkonásobne prekročiť túto odporúčanú hodnotu.

Pri konštantnej paralaxe a vzdialenosti očí sa zmenou vzdialenosti od zobrazovacej roviny priamo úmerne mení aj intenzita vnímania hĺbky (obr. 34). Čím väčšia je vzdialenosť od zobrazovne, tým lepšie je vnímanie hĺbky. Ak teda plánujete návštevu 3D kina, odporúčam vybrať zadné sedadlá.



obr. 34 - zmena vnímania hĺbky pri zmene vzdialenosti

5.1.2 Veľkosť zobrazovne

Veľkosť zobrazovne taktiež ovplyvňuje stereoskopický dojem a platí čím väčšie, tým lepšie. Predovšetkým kvôli eliminovaniu nepriaznivých vplyvov na okrajoch obrazovky, kde môže dôjsť k výskytu priestorových inkonzistencií alebo iných rušivých vplyvov.

5.1.3 Crosstalk

Crosstalk je výraz, ktorý sa používa v spojení s nepríjemným a nežiadúcim javom pri stereoskopickom zobrazovaní. V ideálnom stereoskopickom systéme vidí každé oko iba obraz jemu určenému. Vo väčšine používaných systémov však oko vidí aj časť obrazu určeného pre druhé oko, z dôvodu nedostačujúceho filtrovania. Takto vnímaný obraz sa tiež nazýva ghosting, nakoľko vnímaný obraz sa javí ako fantóm. Jeho intenzita závisí od jasnosti, farby a kontrastu obrazu, no predovšetkým na paralaxe. Čím väčšia je použitá paralaxa, tým silnejšie je cítiť ghosting, obzvlášť na kontrastných hranách.

5.1.4 Rozbitie vzťahu konvergenencie a akomodácie

Konvergenca a akomodácia očí sú za normálnych okolností v reálnych podmienkach navzájom prepojené. Objekt, na ktorý oči konvergujú je zároveň aj objekt, na ktorý oko akomoduje. Avšak pri stereoskopickom zobrazení sa tento vzťah zachováva iba pre body s nulovou paralaxou, kedy oči konvergujú i akomodujú na zobrazovaciu rovinu. V prípade pozitívnej, resp. negatívnej, paralaxy oči konvergujú za, resp. pred zobrazovaciu rovinu, zatiaľ čo sú oči nútené akomodovať na zobrazovaciu rovinu, aby bol vnímaný obraz ostrý. Je to taktiež jediná inkonzistencia, ktorej sa nedá pri stereoskopickom zobrazovaní vyhnúť.

Keďže je pre každého človeka prirodzené akomodovať na rovnakú vzdialenosť ako oči konvergujú, je narušenie tohto vzťahu častou príčinou ťažkostí a únavy pri prezeraní stereoskopického materiálu. Pre minimalizovanie námahy sa odporúča najnižšia hodnota paralaxy, pri ktorej ešte dochádza k hĺbkovému vnemu.

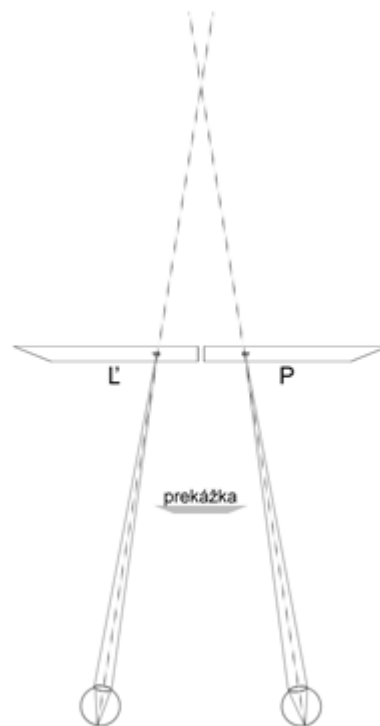
5.2 Spôsoby zobrazovania stereogramov

5.2.1 Voľným okom

5.2.1.1 Paralelné pozeranie

Najprimitívnejšou technikou prezerania stereoskopického páru je voľným okom. Táto technika však vyžaduje istý tréning na jej zvládnutie, nakoľko obrazy pre ľavé a pravé oko sú umiestnené vedľa seba a pre začínajúcich nadšencov nezvykne byť jednoduché spojiť obrazy do jedného. Príklad zobrazenia touto technikou sa využíva napr. aj na obr. 24. Rozoznávame dva základné spôsoby voľného prezerania: paralelné a krížne.

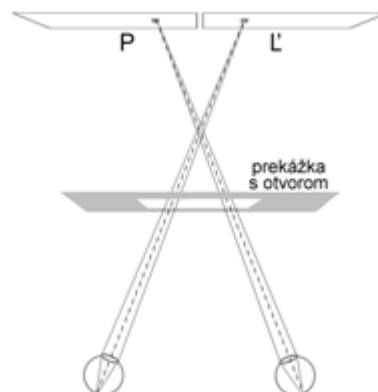
Pri paralelnom spôsobe je obraz pre ľavé oko umiestnený na ľavej strane a obraz pre pravé oko na pravej strane (obr. 35). Osi očí teda konvergujú za zobrazovaciu rovinu, v limitnom prípade sú v rovnobežnej polohe. Najväčšou nevýhodou tejto metódy je limit na vzdialenosť korešpondujúcich bodov v obrazoch – tá nesmie presiahnuť interokulárnu vzdialenosť, tým pádom zobrazovaný obraz nesmie byť širší ako približne 6 cm.



obr. 35 - metóda paralelných očí

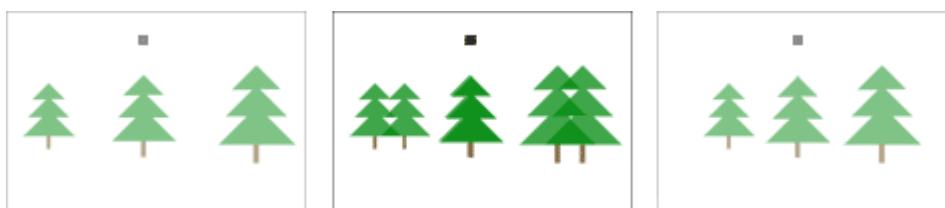
5.2.1.2 Krížne pozeranie

Pri spôsobe prekrížených očí (škúlenia) je situácia o čosi lepšia. Limitom na šírku obrazu sa stáva polovica šírky zobrazovacieho zariadenia. Obrazy sú totiž opäť umiestnené vedľa seba, pričom v tomto prípade je pravý obraz umiestnený na ľavej strane a ľavý na pravej strane (obr. 36). Osi očí konvergujú pred zobrazovacou rovinou.



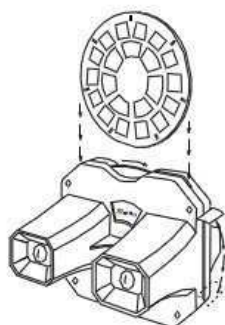
obr. 36 - metóda prekrížených očí

V oboch prípadoch voľného prezerania ide o to, aby sa ľavý a pravý obraz stereo páru „zliali“ do jedného výsledného obrazu s hĺbkovým vnemom. Pri správnom postupe a bez použitia prídavných pomôcok na zablokovanie možnosti videnia nechceného obrazu sa môže zdať, že obraz je viditeľný trikrát. Je to preto, lebo každé oko vidí aj ľavý aj pravý obraz, pričom pri jednej dvojici dôjde k ich vzájomnej fúzii. Druhá dvojica však pôsobí ako rušivý element. Tento jav sa snaží ilustrovať obr. 37.



obr. 37 - ilustrácia fúzie pri voľnom prezeraní

Na odfiltrovanie rušivej dvojice krajných obrazov sa dá použiť jednoduchý trik. Pri paralelnej metóde vloženie prekážky (napr. kartička, kúsok tvrdšieho papiera) do polohy, ako je uvedené na obr. 35. Pri krížnej metóde môže pri menších rozmeroch obrazov poslúžiť papier s vystrihnutým otvorom v strede tak, aby papier zablokoval ľavému oku sa pozeráť na obraz naľavo (obraz určený pre pravé oko), no zároveň aby mu dovoľoval vidieť obraz napravo (jemu určený obraz) a naopak. V oboch prípadoch môžu tiež poslúžiť napr. aj rolky z toaletného papiera umiestnené pri očiach tak aby, každé oko videlo práve jemu určený obraz.



obr. 38 - prehliadač View-Master®^[17]

Na prezeranie stereo záberov existujú rôzne pomôcky, stereoskopy, vyrobené špeciálne za účelom uľahčenia doručenia správneho obrazu na sietnicu správneho oka a zároveň odfiltrovania nesprávneho. K tomuto využívajú sústavu šošoviek a/alebo zrkadiel.



obr. 39 - iPod stereoskop^[22]

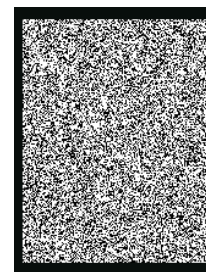
5.2.1.3 Autostereogramy

Voľným okom sa okrem pravých stereogramov vytvorených z dvoch korešpondujúcich obrazov dá nahliadať i na autostereogramy, obrazy pozostávajúce z jedného obrazu opakujúceho sa vzoru a „ukrytej“ hĺbkovej mapy. Opakujúci vzor obrazu pomáha pri správnej konvergencii, ktorá následne odhalí hĺbkovú informáciu obrazu.

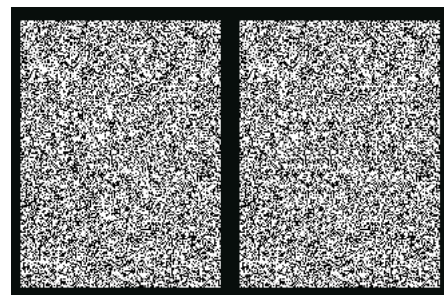
Prvé autostereogramy stereogramy náhodných bodov¹⁵, boli objavené koncom 50. rokov dvadsiateho storočia Bélom Juleszom^[23]. Princíp spočíva vo vytvorení dvoch obdĺžnikov vyplnených náhodnými bodmi. Jeden obdĺžnik zostáva nezmenený, zatiaľ čo v druhom sa body tvoriace požadovaný tvar posunú do jednej strany. Pri voľnom pohľade na oba obdĺžniky dochádza k retinálnej disparite, a teda k hĺbkovému vnemu.

Nasledujúci postup na tvorbu jednoduchého stereogramu náhodných bodov je aplikovaný na program Adobe Photoshop. Podobný postup sa však dá aplikovať aj v inom softvéri:

1. vytvorte nový dokument s veľkosťou napr. 300 x 400 pixelov
2. pridajte monochromatický šum s hodnotou približne 250%
Filter > Noise > Add Noise...
3. pridajte čierny rámik z veľkosťou 10% veľkosti obrázka
Image > Canvas Size > 10% Width, 10% Height, Relative
4. označte celý obraz a skopírujte
5. zväčšite plátno svojho obrázka na dvojnásobnú šírku
Image > Canvas Size > 100% Width, 0% Height, Relative, šípka vľavo
6. vložte obraz kopírovaný v kroku 4 a zarovnajte doprava
7. v pravej časti obrazu označte ľubovoľný tvar, nie však príliš blízko okrajov
8. skopírujte a vložte označený šum v pravej časti obrazu a posuňte ho približne 40-80 pixelov doľava
9. mali by ste pred sebou vidieť obraz podobný obr. 41
10. pri paralelnom pohľade bude takto označený tvar vystupovať do popredia, pri krížnom pohľade naopak uchádzať do úzadia



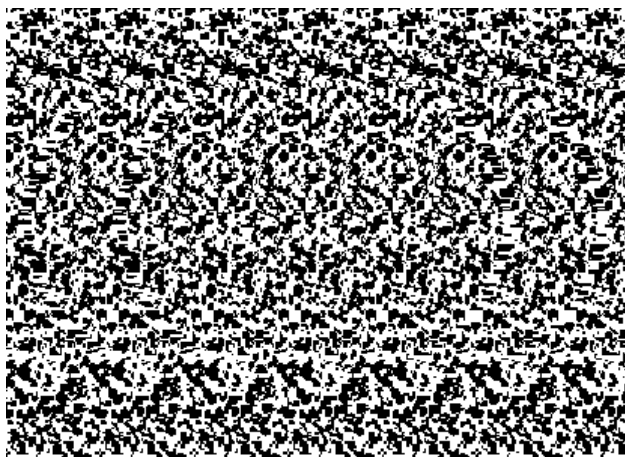
obr. 40 – krok č. 3



obr. 41 - Vystupujúca číslica 6

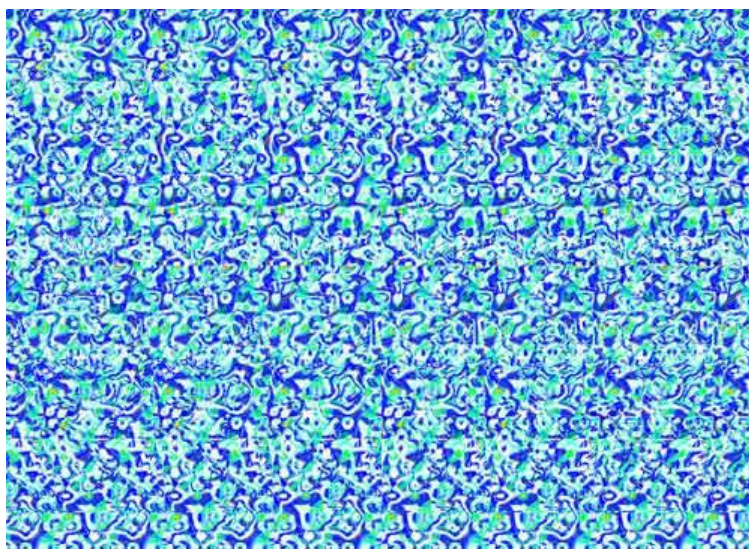
15 angl. random dot stereogram

Približne 20 rokov po tomto objave našiel Christopher Tyler spôsob, ako toto posunutie dosiahnuť na jednom obraze. Vznikol tak prvý čierno-biely stereogram náhodných bodov tvorený jediným obrazom:



obr. 42 – autostereogram náhodných bodov^[23]

Začiatkom 90. rokov dvadsiateho storočia spolupracovali na vylepšení tohto spôsobu programátori Tom Baccei, Cheri Smith a Bob Salitsky. Spolu našli spôsob, ako vytvoriť plnofarebný autostereogram s opakujúcim sa farebným pozadím. Vznikli autostereogramy známe aj pod označením Magic Eye.



obr. 43 – autostereogram náhodných bodov^[23]

5.2.2 Okuliare

5.2.2.1 Anaglyfické

Aby sa dalo využiť plné rozlíšenie zobrazovacieho zariadenia, musia sa ľavý a pravý obraz zobrazovať na celú plochu zobrazovne. Obrazy je teda nutné prekryť jeden cez druhý, čo za normálnych okolností znamená stratu priestorovej informácie. Pri preložení obrazov cez seba totiž oči nerozoznávajú ktorý obraz patrí ktorému oku a oba obrazy sú súčasne doručené obom očiam (ako na obr. 37 v strede). Existujú však spôsoby, pri ktorých sa informácie o príslušnosti k oku nestrácajú. Jedným takým spôsobom je už pomerne zastaralá, avšak stále používaná, metóda anaglyfov.



obr. 44 - hĺbková mapa v obraze 43^[23]

Princíp anaglyfov je založený na princípe použitia dvoch navzájom komplementárnych farebných filtrov¹⁶. V jednom zábere sa odstráni farebná informácia tvorená prvou farbou, v druhom zábere sa odstráni farebná informácia tvorená druhou farbou a obrazy sa preložia jeden cez druhý. Pre následné prezeranie takéhoto obrazu je potrebné použitie farebných filtrov rovnakých farieb (farebné okuliare), ktoré zabezpečia, že každé oko vidí iba jemu určený záber. Najčastejšie používané farebné kombinácie sú červená-belasá¹⁷, červená-modrá, červená-zelená a taktiež aj žltá-modrá, či zeleno-purpurová (štandardne v uvedenom poradí pre ľavé a pravé oko).

Výhodou tejto metódy je jej ľahká dostupnosť a ekonomičnosť. Farebné okuliare sa dajú zhotoviť aj doma „na kolene“. Potrebne sú dve vhodne zafarbené priehľadné fólie, kus tvrdšieho papiera, nožnice, lepidlo a troška fantázie pri tvarovaní okuliarov. Ak by sa vám nepodarilo zohnať priamo zafarbené fólie, postačí i bezfarebná fólia a fixky.

Použitelnosť tejto metódy je tiež veľmi široká. Je vhodná na použitie s CRT i LCD monitormi, pri premietaní na plátno i na tlačnom materiáli, kde však môže nastať problém so správnou reprezentáciou tlačených farieb. Pri premietaní je možné použiť dve techniky. Buď premietat' priamo materiál určený na prezeranie touto metódou s využitím jednej premietacky, alebo premietat' na plátno súčasne dva zábery (jeden pre ľavé a druhý pre pravé oko) s využitím dvoch premietáčiek s príslušnými farebnými filtrami.

Naopak nevýhodou tejto metódy je silný crosstalk, ktorý vzniká aj pri najmenších farebných nezhodách a narušuje vnem farieb obrazu. Ako je ukázané na obr. 45, cez červený filter oko vníma iba monochromatické rozdiely jasu (spodný riadok), pričom pôvodne modrú, belasú i zelenú farbu (vhodné komplementárne farby k červenej) oko vníma ako tmavo sivú až čiernu a červená farba je vnímaná rovnako ako by bola vnímaná aj biela. V tej istej chvíli, cez belasý filter (horný riadok) druhé oko vníma červenú farbu ako čiernu a belasú rovnako ako bielu.

Najväčšie komplikácie nastávajú pri červenej, belasej a bielej farbe v obraze. Pri pôvodne červenej farbe vníma ľavé oko červenú farbu (nerozlíšiteľnú od bielej), no v tej istej chvíli pravé oko vníma farbu čiernu. Obdobný jav nastáva pri belasej farbe. Pri ostrej bielej farbe

¹⁶ teda také dve farby, ktorých filtre pri ich spoločnom preložení neprepustia biele svetlo

¹⁷ angl. red-cyan

zase ľavé oko vníma červenú farbu, no pravé oko belasú. Tieto farebné inkonzistencie môžu byť veľmi nepríjemné, preto pri použití tejto techniky by som odporúčal vyhnúť sa zobrazovaniu spomenutých farieb, alebo, pokiaľ to situácia dovoľuje, najprv desaturovať červenú a belasú farbu v pôvodných záberoch, poprípade skonvertovať do odtieňov šedej (obr 46 a 47).



obr. 45 - farebný priestor s belasým a červeným filtrom



obr. 46 - silný rušivý efekt červeného trička



obr. 47 - po desaturácii červenej a belasej farby

5.2.2.2 Polarizačné

Svetlo vyžarované monitorom alebo premietačkou nie je polarizované, čo znamená, že elektromagnetické vlny nemajú rovnakú orientáciu. Táto vlastnosť elektromagnetického žiarenia sa dá využiť pri rozlišovaní navzájom prekrytého ľavého a pravého záberu v obraze. Princíp spočíva v tom, že svetlo tvoriace ľavý obraz má opačnú polarizáciu ako svetlo tvoriace pravý obraz. To sa zabezpečí polarizačným filtrom umiestneným na monitore alebo premietačke, ktorý zabezpečí rovnakú orientáciu svetla pre ľavý obraz a opačnú, o 90° pootočenú, orientáciu pre pravý obraz. Aby zároveň každé oko rozoznávalo správny obraz, je potrebné, aby aj svetlo vnikajúce do oka malo súhlasnú polarizáciu. Na tento účel slúžia špeciálne polarizačné okuliare, ktorých jedno sklo je relatívne k druhému natočené o uhol 90°.

Existuje viacero spôsobov využitia polarizácie svetla. Najčastejšie je použitie dvoch premietačiek s dvomi opačne orientovanými polarizačnými filtermi umiestnenými pred ich objektívmi (obr. 48). Pri premietaní je tiež nevyhnutné použiť plátno, ktoré nemení polarizáciu svetla (napr. postriebrené plátno). Pri použití klasického bieleho plátna sa polarizácia nezachováva, a tým pádom nedochádza k správne rozlíšeniu ľavého a pravého obrazu, a teda ani k hĺbkovému dojmu.



obr. 48 - premietačky s polarizačnými filtermi ^[24]

Pri použití lineárnej polarizácie je tiež dôležité, aby divák s okuliarmi sedel kolmo na premietaciu rovinu. Tejto nepríjemnosti sa dá vyhnúť použitím cirkulárnej polarizácie.

Alternatívou k použitiu dvoch premietačiek je tzv. Z-Screen, čo je vlastne cirkulárny polarizačný filter alternujúci orientáciu polarizácie pri vysokej frekvencii. Tento filter sa dá použiť s (jednou) premietačkou, ale aj s monitorom. Pri premietaní treba aj v tomto prípade použiť plátno, ktoré nemení polarizáciu svetla. Filter sa umiestni buď pred objektív premietačky alebo na obrazovku monitora. Dôležité pre použitie tejto metódy je mať k dispozícii zobrazovacie zariadenie s vysokou obnovovacou frekvenciou. Frekvencia obnovy obrazu a frekvencia alternácie polarizácie filtra sa napr. pomocou infračerveného vysielača zosynchronizuje. V každom nepárnom cykle sa potom na toto výstupné zariadenie posielajú obraz pre ľavé oko a pri každom párnom cykle obraz pre pravé oko. Pri dostatočne vysokej použitej frekvencii zobrazovacieho zariadenia sa obraz javí ako plynulý. Pri použití nižšej frekvencie ako 120Hz dochádza k citel'nému blikaniu, ktoré môže viesť k únave a bolestiam očí alebo hlavy.

5.2.2.3 Zatmievajúce okuliare¹⁸

Aj pri tejto metóde zohrávajú dôležitú úlohu okuliare. V tomto prípade ide o okuliare, ktorých sklá pozostávajú z LCD panelov, ktoré pri vysokej frekvencii striedavo prepúšťajú, resp. neprepúšťajú svetlo. Podobne ako pri technológii s využitím Z-Screen je potrebné zobrazovacie zariadenie s vysokou obnovovacou frekvenciou. Môže to byť monitor alebo premietačka, pričom pri premietaní s využitím tejto technológie nie je potrebné špeciálne plátno, nakoľko sa nevyužíva polarizácia svetla. Zobrazovacie zariadenie zobrazuje v jednotlivých cykloch striedavo zábery pre ľavé a pravé oko, pričom napr. pomocou infračerveného signálu dochádza k synchronizácii zatmievajúcich okuliarov. Tie v nepárnom cykle prepúšťajú svetlo jednému oku, zatiaľ čo sklo opačného oka je zatemnené a v párnom cykle naopak. Pri správnej synchronizácii a dostatočne rýchlo sa striedajúcich záberoch vidia oči iba korešpondujúce zábery potrebné pre vytvorenie hĺbkového vnemu.



obr. 49 - zatmievajúce okuliare

5.2.2.4 Head-mounted display

Head-mounted display, v preklade na hlave nasadený displej, je špeciálne zobrazovacie zariadenie, ktoré obsahuje miniatúrne obrazovky, každé určené zvlášť pre ľavé a pravé oko, z ktorých sa obraz privádza do príslušného oka prostredníctvom optických systémov pre zabezpečenie možnosti zaostrenia.



obr. 50 - head-mounted display

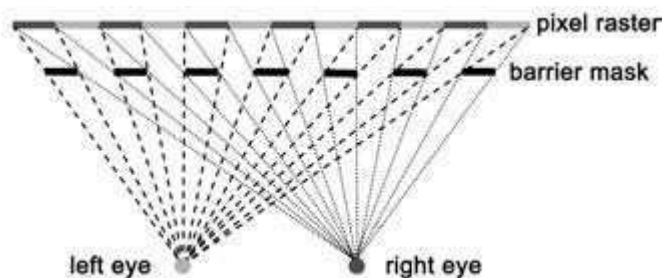
Súčasťou systému môže byť aj zariadenie na sledovanie pozície užívateľa, ktorý má toto zariadenie nasadené na hlave. Využitie nachádza predovšetkým pri prechádzkach vo virtuálnom svete. Vďaka sledovaniu sa dá zistiť relatívny pohyb užívateľa a podľa toho upraviť zobrazovanú virtuálnu scénu.

5.2.3 Autostereoskopické displeje

Ide o spôsoby zobrazenia stereoskopického materiálu bez nutnosti prídavných pomôcok, ktoré by bol pozorovateľ nútený nosiť. Cieľom je teda navodiť hĺbkový vnem pri samotnom voľnom pohľade na displej.

5.2.3.1 Bariérový displej

To sa dá dosiahnuť napríklad preložením bariérovej masky v blízkosti monitora (obr. 51). Na monitore sa ľavý a pravý obraz po častiach zložených z vertikálnych pásov striedajú. Masku blokuje



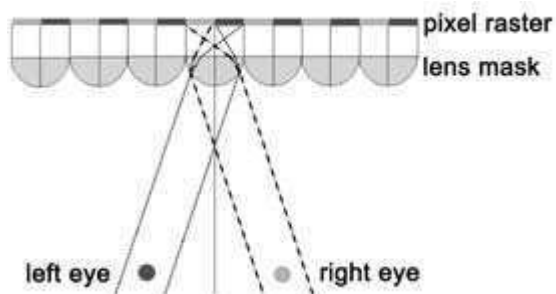
obr. 51 - bariérový displej^[25]

18 angl. shutter glasses

jednému oku vidieť vertikálne pásy druhého záberu, no zároveň povoľuje pozorovať pásy korešpondujúceho záberu.

5.2.3.2 Lentikulárny Displej

Na obdobnom prístupe funguje aj lentikulárny autostereoskopický displej, ktorý pri využití drobných šošoviek zabezpečuje pozorovanie korešpondujúceho vertikálneho pásu správnym okom. Výhodou lentikulárneho displeja je možnosť sledovať obraz z viacerých miest súčasne, avšak iba v správnych zónach.



obr. 52 - lentikulárny displej ^[25]

V oboch prípadoch sa však kvôli rozbitiu obrazu na pásy znižuje rozlíšenie.

Okrem toho, s použitím zariadenia na sledovanie polohy pozorovateľa, je možné docíliť kontinuálne korigovanie natočenia displeja tak, aby pozorovateľ pri pohybe hlavou neprišiel o hĺbkový vnem.

5.2.3.3 Volumetrické zariadenia

Do kategórie autostereoskopických zariadení patria aj volumetrické displeje, ktoré zobrazujú obraz priamo v priestore, napr. hologram.

Principiálne ide o techniku, pri ktorej sa určitým spôsobom rozsvetuje priestorový bod, voxel¹⁹. Volumetrické zobrazovacie metódy v súčasnej dobe nie sú veľmi rozšírené. Dôvodom je predovšetkým ich vysoká cena.



obr. 53 - príklad volumetrického zobrazenia čajníka ^[26]

¹⁹ pixel = picture element, voxel = volumetric element

6. VLASTNÁ TVORBA

Pre svoje experimentovanie so stereografiou som pôvodne zamýšľal vytvorenie jednoduchého beam-splitteru za pomoci optických hranolov, či zrkadiel. Dlho mi však nenapadlo, ako by som taký „na kolene“ zostrojený nástroj dokázal dostatočne pevne a zároveň dostatočne flexibilne uchytiť na svoj aparát. K dispozícii som v tom čase mal fotoaparát značky Fujifilm, model FinePix S9600 (obr. 54), čo je elektronický ultrazoom uvedený na trh v roku 2006. Neopatrným zaobchádzaním som však poškodil snímač a nakoľko som v tom čase nutne potreboval náhradu v najkratšom možnom čase, rozhodol som sa „zabiť dve muchy jednou ranou“ a došlo ku kúpe identického modelu do mojej zbierky. Pôvodný aparát neskôr putoval do servisu, odkiaľ sa mi vrátil plne funkčný a odrazu som disponoval dvojičkou fotoaparátov a od pôvodného nápadu s beam-splitterom som radšej upustil.



obr. 54 - Fujifilm FinePix S9600 ^[27]

Prvé stereofotografie vznikali pomerne primitívnym spôsobom, kedy som aparáty položil na pevnú podložku vedľa seba a snažil sa vlastnými rukami synchronne stlačiť spúšte oboch aparátov. Tento spôsob mal však veľa nedostatkov. Fotoaparát má na šírku približne 13 cm, čo znamená nutnosť fotografovať v hyperstereo móde. Tým dochádza ku skresleniu hĺbky. Voľným položením aparátov vedľa seba tiež dochádzalo k rôznym obrazovým deformáciám, na ktoré bolo treba aplikovať vhodné transformácie, aby sa dali obrazy spájať do stereogramov. Ďalším zásadným problémom bola samotná synchronizácia, či skôr asynchronizácia. Málo pohyblivé scény bolo možné zachytiť s dostatočne malými odchýlkami, avšak už pri výraznejšie pohyblivé scény nebolo možné zaznamenať do podoby stereo obrazu.

Zostávalo vyriešiť dva problémy:

- stabilizácia dvojičiek
- synchronizácia dvojičiek

Svojimi znalosťami a schopnosťami som nebol schopný tieto problémy vyriešiť ku vlastnému spokojeniu, a tak som začal hľadať vo svojom okolí, kto by mi mohol pomôcť ich vyriešiť.

Pri stabilizácii dvojičiek mi pomáhal otec, ktorý mi vytvoril adaptér ku statívu, aby som mal možnosť na statív upevniť oba aparáty súčasne. Podmienkami bolo aby osi aparátov smerovali paralelne, aby interaxiálna separácia nadobúdala pokiaľ možno čo najmenšie hodnoty a aby boli aparáty upevnené vertikálne, navzájom k sebe otočené o priamy uhol.

Vznikol kovový adaptér upevnený na statív s možnosťou po každej strane upevniť samostatne jeden aparát. Výsledná interxiálna separácia ma však veľmi nepotešila, nakoľko jej veľkosť dosahovala približne 13 cm, čo je zhruba dva krát viac ako interokulárna vzdialenosť. Dosiahnuť však takto nízku hodnotu by s použitou sústavou modelov aparátov nebolo možné, hádam iba ak by sa podarilo pripevniť aparáty natesno spodkami k sebe.

Sústava týchto dvojičiek teda vytvára hyperstereo zábery. Vhodná je teda na použitie pri vzdialenejších objektoch. Absolútne nevhodná sa ukázala na použitie blízkyh scén, kedy sa zorné pole jedného aparátu priveľmi líši od druhého, a hoci je možné vytvárať stereo páry aj blízkyh scén, pozadie je veľmi rušivé. V tomto prípade by pomohlo, keby sa dali aparáty jemne natáčať k sebe, teda aby osi neboli úplne paralelné. Táto možnosť by síce zavádzala vertikálnu paralaxu, s tou by však bolo ľahšie vysporiadať sa ako v tomto prípade.

Nepríjemnou nevýhodou tejto sústavy je ešte nemožnosť meniť vybité batérie v aparáte bez nutnosti odmontovania z adaptéru. Je to nedostatok, s ktorým sa dá žiť, avšak pri demontovaní a hlavne po následnom opätovnom nasadení je nutné znova upravovať vertikálne smerovanie aparátov, aby nedochádzalo k vertikálnej paralaxe a iným skresleniam s tým spojenými.

Synchronizácia dvojičiek sa spočiatku zdala ako ťažký oriešok. Do úvahy pripadala mechanická synchronizácia, alebo ešte vhodnejšia elektronická synchronizácia.

Po vytrvalom hľadaní na internete sa mi podarilo nájsť článok, v ktorom jeho autor popisoval ako zakúpené diaľkové ovládanie k tomuto modelu aparátu prerobil z manuálne spúšťaného na opticky spúšťané. Pripojenie diaľkovej spúšte a aparátu bolo realizované pomocou mini USB kábla. Ku svojmu experimentu priložil aj schému zapojenia. Moje znalosti z elektrotechniky nie sú na vysokej úrovni, ale zo schémy som mal pocit, že by nemalo byť zložité podľa nej skonštruovať zariadenie, ktoré by jedným tlačítkom



obr. 55 - diaľková spúšť

spúšťalo oba aparáty, pripojené dvomi USB káblami, súčasne. Konzultoval som v tomto smere svojho kolegu a kamaráta Romana, študujúceho elektrotechniku, ktorý mi potvrdil, že by navrhované riešenie mohlo fungovať. Ako sa ukázalo neskôr, isté problémy nastali s USB konektormi, ktoré bolo treba špeciálne upraviť (viď schému zapojenia v prílohe). Zariadenie (obr. 55) inak fungovalo podľa predstáv.

Neskoršie experimentovanie ukázalo, že synchronizácia je dostatočne dobrá aj pre relatívne rýchle scény (pohyblivé autá). Presné merania sa mi však nepodarilo zrealizovať. Pokúšal som sa o akési pseudo odhadnutie miery synchronizácie aspoň prostredníctvom CRT monitora, obnovovacej frekvencie a odhadu vzdialenosti obnovovacej čiary na monitore. Z tohto pokusu mi vyšlo oneskorenie jedného aparátu približne 0,5-4 ms, čo je priaznivá synchronizácia dovoľujúca zachytiť scény v približne 1/2000 – 1/500 sekundy. Požadovaná synchronizácia pre dobré vnímanie stereo efektu je na hranici 1/50 sekundy, takže synchronizácia by nemala byť problémom.

Pri aplikácii v praxi som v niektorých chvíľach používal externý blesk odpálený bezdrôtovým zariadením. Všimol som si, že na jedných záberoch je blesk prítomný, avšak v záberoch spravených druhým aparátom neboli. Svedčí to o tom, že synchronizácia aparátov nie je tak presná, ako ukázal test s CRT monitorom. Pri zhotovovaní jedného záberu som mal možnosť dosť jasne počuť cvaknúť najprv jeden a následne druhý aparát. Rozdiel medzi cvaknutiami mohol byť odhadom tak 50-100ms. Trvanie jedného záblesku pri aktuálnych nastaveniach blesku je podľa špecifikácií približne 1/5000 sekundy. Uvedomil som si tak, že aparát, ktorý odpáli blesk, uskutočňuje svoju expozíciu o niečo skôr a druhý aparát začne exponovať až po záblesku. Inštalácia odpalovacieho zariadenia na druhý aparát vyriešila tento problém.



obr. 56 - statív s adaptérom a dvojičkami

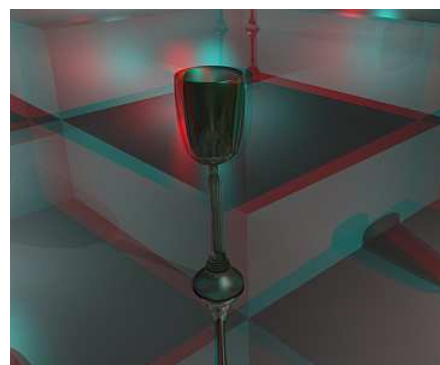
Svoje experimentovanie s fotaparátmi som sa pokúšal preniesť aj do virtuálneho prostredia Blenderu. Obdobne som sa vybral chodníčkom dvoch identických kamier. Množstvo problémov, ktoré je treba riešiť je však v tomto prostredí podstatne menší.

Jedna vec, ktorá sa mi javí v reále jednoduchšia, je manipulácia s dvojicou kamier. Pre vytvorenie kamery s identickými vlastnosťami som sa rozhodol vytvoriť Python skript. Tento skript je možné aplikovať do každej už vytvorenej scény. V textovom editore je potrebné otvoriť priložený skript a označiť v scéne kameru, z ktorej chceme vytvoriť stereo kameru, následne spustiť skript. Ten dvakrát duplikuje označenú kameru, teda vytvorí dva duplikáty, z ktorých jeden posunie naľavo a druhú napravo. Pôvodnú kameru ponecháva, avšak nalinkuje na ňu túto stereokameru. S akýmkoľvek pohybom pôvodnej kamery sa identicky pohne aj stereokamera.

Súčasťou skriptu je aj možnosť renderovať pohľad všetkých kamier. Defaultne je vypnutý, zapína sa zmenou booleanovej hodnoty premennej *render_all* v úvode skriptu. V prípade nepohyblivej scény najprv odporúčam nastaviť počet renderovaných snímkov kamier na jeden. V opačnom prípade skript generuje defaultný počet snímkov pre každú kameru, čo je 250 snímkov. Výstup ukladá do prednastaveného priečinku pôvodnej kamery.

Ako fotografie získané fotografovaním reálnych scén, tak aj renderingom získané zábery virtuálnych scén (obr. 57) ešte nie sú vo svojej finálnej podobe. Keďže v oboch prípadoch boli zábery získané kamerami s osami konvergujúcimi v nekonečne, všetky objekty scén majú teraz negatívnu paralaxu. Prezeranie takéhoto materiálu je možné, avšak je nanajvyš náročné. Treba ešte aplikovať horizontálny posun pre úpravu paralaxy a v prípade fotografií aj ďalšie úpravy, pre odstránenie chýb, ktoré mohli byť zavedené neidentickými nastaveniami aparátov. Hoci som mal snahu vždy ich nastaviť identicky, hodnota ohniskovej vzdialenosti sa mohla líšiť. V niektorých prípadoch bol jeden záber nasnímaný s mierne vyššou hodnotou ohniskovej vzdialenosti ako v prípade druhého aparátu. Taktiež som vynakladal všetku možnú snahu pre minimalizáciu vertikálnej paralaxy, vyhnúť sa mi jej však nepodarilo. Okrem toho, spôsob upevnenia fotoaparátov na statíve spôsobuje, že fotografie treba pred spracovaním otočiť do adekvátnej polohy (o +90° a -90°).

Pre aplikovanie vhodných transformácií pre odstránenie chýb a pre posun nulovej paralaxy v stereo obraze som používal softvér StereoPhoto Maker²⁰. Manipulácia so softvérom je veľmi prívetivá. Cez menu *File > Open Left/Right Images* načítam do programu postupne najprv ľavý a potom pravý korešpondujúci záber. Program poskytuje možnosť viacerých typov zobrazenia, medzi inými aj voľné, anaglyfické, či s použitím zatmievajúcich okuliarov. Softvér tiež poskytuje základné prvky pre manipuláciu so stereo obrazom ako je farebná úprava, zmena veľkosti a orezanie. Najdôležitejšou funkciou



obr. 57 - anaglyfický render ^[28]

však je úprava paralaxy, ktorú je možné nájsť v menu *Adjust > Easy Adjustment*. Po zvolení tejto funkcie sa otvorí okno s anaglyfickou reprezentáciou daného stereo obrazu.

20 Voľne stiahnuteľný z <http://stereo.jpn.org/eng/stphmkr/>

Pre úpravu paralaxy a prípadných chýb pri tvorení stereo obrazu môžu okuliare pomôcť, avšak nie sú nevyhnutné. Nulová paralaxa sa nastaví predovšetkým pomocou horizontálneho posuvníka. Dôležité je sledovať oblasti po krajoch. Objekty v týchto oblastiach by mali mať pozitívnu paralaxu, aby sa nachádzali za úrovňou zobrazovne. V opačnom prípade dochádza k inkonzistenciám pri prehlíadaní.

Tento softvér má tiež možnosť automatického zarovnania. Táto funkcia sa môže zísť pri úprave fotografií. Pre jej správnu funkčnosť treba mať nainštalovaný program Autopano a v nastaveniach zadať cestu k tejto inštalácii. Automatické zarovnanie slúži na úpravu veľkostí korešpondujúcich záberov a na odstránenie vertikálnej paralaxy. Neslúži však na nastavenie oblasti s nulovou paralaxou, túto zmenu je potrebné vykonať manuálne.

Po vykonaní potrebných úprav program ponúka možnosť uložiť stereogram vo zvolenom formáte a následne ho z daného formátu opäť načítať a dekomponovať na ľavý a pravý záber.

Dvojičky fotoaparátov, ktoré som mal k dispozícii majú aj možnosť záznamu videa a aj túto možnosť som si vyskúšal v praxi. Ako menší problém sa ukázala nemožnosť vypnúť automatické zaostrovanie fotoaparátov, preto je v niektorých chvíľach možné vidieť zmenu zorného poľa keď sa aparáty snažia preostriť. Tento efekt je trochu rušivý, ale nebráni vo vzniku hĺbkového efektu.

Pre prácu s videom som použil voľne stiahnuteľný program VirtualDub²¹ a AviSynth skriptovanie. Vytvoril som skript, ktorý načíta ľavý a pravý záber videa a následne ich otočí do adekvátnej polohy. Keďže pre videá som nemal k dispozícii žiaden program, ktorý by mi pomohol upraviť oblasť s nulovou paralaxou, musel som tieto hodnoty určiť experimentálnym spôsobom pre každé video zvlášť. Dosiahol som to orezaním a transformáciou jednotlivých záberov. Napokon skript vykonáva anaglyfickú, červeno-belasú filtráciu a spája videá do jedného, ktoré sa správa ako vstup v programe VirtualDub.

Po spustení programu VirtualDub s neotvára priamo ľavé, či pravé video, ale vytvorený skript, ktorý zábery z týchto videí najprv sprája. Do programu VirtualDub sa ako vstup teda dostáva už priamo anaglyf, je teda potrebné si dávať pozor na farebné a kontrastné zmeny, rovnako ako aj na kompresné artefakty pri ukladaní. Kompresia do formátu xvid, či mpeg2 vytvárala pri mojich experimentoch veľmi rušivé artefakty, ktoré v niektorých momentoch deformovali preistorové vnímanie videa. Ako vhodná alternatíva sa ukázala kompresia pomocou h264 enkódovania.

21 <http://www.virtualdub.org>

7. ZÁVER

Stereoskopia nachádza využitie v mnohých oblastiach. Do povedomia všeobecnej verejnosti sa dostáva predovšetkým prostredníctvom zábavného priemyslu. A hoci prvý 3D film, „L'Arrivée d'un train en gare de La Ciotat²²“ vznikol ešte v roku 1895, éra prvých 3D kín nastala ešte v päťdesiatych rokoch dvadsiateho storočia, začiatkom dvadsiatehoprvého storočia sa 3D filmy dostávajú prostredníctvom moderných domácich stereo kín aj do obývačiek bežných rodín. A vyzerá to tak, že filmovým producentom sa investícia do stereo filmov vypláca.

Obdobná situácia nastáva aj v odvetví počítačových hier, kde však situáciu zjednodušuje fakt, že množstvo hier beztak obsahuje informáciu o hĺbke. Ide len o spôsob sprostredkovania tejto informácie hráčovi. A prostredníctvom moderných grafických jednotiek sa zobrazenie hĺbkovej informácie stáva čoraz dostupnejšie.

Iba čas ukáže, či pôjde o púhy krátkodobý ošial' a či technológiu budú využívať iba nadšenci, alebo či verejnosť akceptuje technologické prevedenie súčasnosti a stane sa z neho štandard.

Nech je tomu akokoľvek, vďaka zábavnému priemyslu sa dostáva stereoskopia do povedomia širšej verejnosti. Tá však čoraz viac nachádza uplatnenie vo vedeckej sfére. Výskum Slnecnej koróny pomáha pri predpovedí slnečného vetra v kozme, čo pomáha chrániť satelity i ľudské životy na obežnej dráhe, zabraňuje výpadkom komunikačných kanálov i rozsiahlym výpadkom elektrického prúdu. Stereo pohľad do ľudského tela pomocou MRI či CT pomáha pri diagnóze a lokalizácii ochorení bez nutnosti biopsie a chirurgických zákrokov a ich následnom liečení. Stereo ultrazvuk pomáha pri vyšetrení vyvíjajúceho sa plodu. Stereo kamera pomáha pri náročných operáciách.

Ďalšou oblasťou, v ktorej stereoskopia nachádza uplatnenie je robotika. Simulácia ľudského zraku a navigácia v priestore, pri odhadovaní vzdialeností a pohybu. Stereo kamera umiestnená na robotovi môže poskytnúť zábery s hĺbkovým vnemom z oblastí,

22 Príchod vlaku do stanice La Ciotat

kam by sa človek inak nedostal, napríklad povrch Marsu alebo hĺbky oceánu. V neposlednom rade poskytuje stereoskopia možnosť na interakciu medzi človekom a počítačom. Trojrozmerný kurzor by sa tak mohol dať pohybovať jednoduchými gestami ruky.

Stereoskopia zohráva dôležitú úlohu aj v procese počítačového videnia. Perspektíva s použitím jednej kamery je injektívne zobrazenie z E^3 do E^2 . Inverzným zobrazením sa získa priamka, na ktorej zobrazovaný vzor leží, čo však nestačí na jeho presné určenie. Po pridaní informácií z druhej kamery sú pre každé dva korešpondujúce body obrazu k dispozícii dve pomyselné priamky, ktoré v teoretickom ponímaní incidujú práve v jednom bode v E^3 , v pôvodnom vzore obrazu. V praxi treba ešte riešiť netriviálny problém rasterizácie obrazu, ktorá nedovoľuje presne určiť pôvodnú priamku premietania, ale s použitím adekvátnych algoritmov sa dá s týmto problémom vysporiadať. Vďaka tomu sa dá zistiť bod vzoru a dajú sa rekonštruovať nasnímané scény.

Uplatnenie sa tiež nachádza v rozsiahlej oblasti fotogrametrie, ktorej princíp je založený na nasnímaných leteckých záberoch, z ktorých sú následne vyhodnocujú vzdialenosti medzi objektami. Tieto informácie sú využiteľné v topografii, pri vojenskej rozviedke, architektúre, archeológii a v mnohých iných odvetviach.

Stereoskopia môže tiež poslúžiť ako vynikajúci prostriedok pri výuke. Učitelia sú stavaný pred ťažkú úlohu zaujať mladé generácie študentov. Stereo náhľad by mohol s touto úlohou pomôcť pri fyzikálno-chemických vizualizáciách, či často neprehľadných geometrických rysoch v CAD aplikáciách používaných v architektúre alebo strojníctve. Stereoskopia je okrem iného aj nosným pilierom systémov virtuálnej reality. Virtuálne výlety do histórie či virtuálnych múzeí by sa mohli stať neoddeliteľnou súčasťou výuky.

A čo tak spojiť reálny svet s virtuálnym – vzniká rozšírená realita²³, vďaka ktorej obrazy reálneho sveta môžu byť obohatené o informácie zo sveta virtuálneho. Od virtuálneho sprievodcu mestom a jeho históriou, cez možnosť prezrieť si plánovanú stavbu či rekonštrukciu budovy ešte pred samotnou rekonštrukciou až po asistenciu pri chirurgických zákrokoch. To všetko a ešte omnoho viac rozšírená realita ponúka. Ďaleká budúcnosť, vravíte si? Veru že nie!

23 angl. augmented reality

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Biblia, Prvá kniha Mojžišova – Genesis
Dostupné na internete:
<http://www.biblia.sk/sk/1/biblia/sev/gen/001.html>
- [2] Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision
Charles Wheatstone, 1838
Dostupné na internete:
<http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>
- [3] List of 3-D films [online]
Dostupné na internete:
http://en.wikipedia.org/wiki/3D_movies
- [4] Electromagnetic radiation [online]
Dostupné na internete:
http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation
- [5] Color In Gemstones [online]
Dostupné na internete:
http://www.khulsey.com/jewelry/gemstone_color.html
- [6] Calculation of Blackbody Radiance [online]
Dostupné na internete:
<http://www.spectralcalc.com/blackbody/blackbody.html>
- [7] How Light Works, Craig Freudenrich [online]
Dostupné na internete:
<http://www.howstuffworks.com/light.htm>

-
- [8] Lambertian distribution [online]
Dostupné na internete:
<http://www.screenetekinc.com/glossary/glossary-optics.shtml#Lambertian%20distribution>
- [9] National Eye Institute [online]
Dostupné na internete:
<http://www.nei.nih.gov/> Image Ref#: NEA09
- [10] How Vision Works, Carl Bianco [online]
Dostupné na internete:
<http://health.howstuffworks.com/eye3.htm>
- [11] Visual acuity [online]
Dostupné na internete:
<http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html>
- [12] Visual acuity [online]
Dostupné na internete:
http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_acuity
- [13] Nikkor lens product page [online]
Dostupné na internete:
http://imaging.nikon.com/products/imaging/lineup/lens/af/normal/af-s_50mmf_14g/index.htm
- [14] The Geometry of Perspective Projection
Dostupné na internete:
<http://www.cse.unr.edu/~bebis/CS791E/Notes/PerspectiveProjection.pdf>
- [15] Basics of Vision [online], Gerd Waloszek, 2005
Dostupné na internete:
http://www.sapdesignguild.org/editions/edition9/vision_physiology.asp
- [16] Zrakové vnímanie hĺbky, percepcia [online]
Lenka Osicková a Angelika Szalayová, 2001
Dostupné na internete:
<http://www.percepcia.szm.sk/hlbka.htm>
- [17] **StereoGraphics Developers' Handbook**, Background on Creating Images for CrystalEyes® and SimulEyes®
© 1997 StereoGraphics Corporation
- [18] **Binocular Vision and Stereopsis**
Ian P. Howard and Brian J. Rogers
Oxford Psychology Series, 1995
- [19] Horopter [online], Jan Wassenaar, 2004
Dostupné na internete:
<http://www.2dcurves.com/3d/3dh.html>
- [20] **Causes of Visual Fatigue and Its Improvements in Stereoscopy**
František Mikšiček, 2006

-
- [21] **3D Frequently Asked Questions**
J. ALPERS; 3D electronic mail group, 1995
Dostupné na internete:
<http://www.3dmagic.com/pdf/I3DFAQ.PDF>
- [21] Stereo cameras [online]
Dostupné na internete:
<http://www.ignomini.com/photographica/3dcameras2.html>
- [22] The IPOD-Photo Stereoscope, Paul Burke, 2005 [online]
Dostupné na internete:
<http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/exhibition/ipodphoto/>
- [23] Magic Eye [online]
Dostupné na internete:
<http://www.magiceye.com/faq.htm>
- [24] VVS-3D Projection System [online]
Dostupné na internete:
<http://vvs3d.com/index.html>
- [25] **Spatial Augmented Reality**, Merging Real and Virtual Worlds
Oliver Bimber, Ramesh Raskar
Copyright © 2005 by A K Peters, Ltd.
- [26] **An Immaterial Depth-Fused 3D Display**
Cha Lee, Stephen DiVerdi, Tobias Höllerer
Copyright © 2007 by the Association for Computing Machinery, Inc.
- [27] Fujifilm FinePix S9600 product page [online]
Dostupné na internete:
http://www.fujifilm.com/products/digital_cameras/s/finepix_s9600/index.html
- [28] Blender model: Green Glass Goblet, erikcochran, 2009 [online]
Dostupné na internete:
<http://e2-productions.com/repository/modules/PDdownloads/singlefile.php?cid=10&lid=339>

Príloha A: Skript v jazyku Python na konvertovanie kamery na stereokameru a následný automatický rendering všetkých kamier v scéne.
Prípona súboru: .py

```
import Blender
import math
from Blender import Mathutils
from Blender.Mathutils import *
from Blender import Object, Scene

scn = Blender.Scene.GetCurrent()
scale = 1
render_all = False

cam = Blender.Object.GetSelected()[0]
if cam.type == "Camera":
    camName = cam.name
    matrix = cam.getMatrix()

    l = Matrix([1,0,0,0],[0,1,0,0],[0,0,1,0],[-0.5*scale,0,0,1])
    r = Matrix([1,0,0,0],[0,1,0,0],[0,0,1,0],[0.5*scale,0,0,1])

    Blender.Object.Duplicate()
    camL = Blender.Object.GetSelected()[0]
    Blender.Object.Duplicate()
    camR = Blender.Object.GetSelected()[0]
    camL.name = camName + " Left"
```

```

camR.name = camName + " Right"

camL.setMatrix(II * matrix)
camR.setMatrix(Ir * matrix)

dEmpty = Object.New("Empty", "Camera Rig")
scn.link(dEmpty)
dEmpty.setMatrix(matrix)
cam.makeParent([camL,camR,dEmpty])

scn.update(1)
Blender.Redraw()
else:
    print "Please select a camera to duplicate"

if render_all:
    sce = Scene.GetCurrent()
    context = sce.getRenderingContext()
    output_path_orig = context.getRenderPath()

    cams = [ob for ob in sce.objects if ob.getType()=="Camera"]

    orig_cam = sce.objects.camera

    # loop over all the cameras in this scene, set active and render.
    for i, c in enumerate(cams):
        print "Rendering %i of %i cameras." % (i+1, len(cams))
        context.setRenderPath("%s%s_" % (output_path_orig, c.name))
        sce.setCurrentCamera(c)
        context.renderAnim()
        print "Done per camera render"

    if orig_cam:
        sce.setCurrentCamera(orig_cam)

    context.setRenderPath(output_path_orig)

```

Príloha B: Skript v prostredí AviSynth na konverziu dvoch stereo párov videí na vstupný stream do programu VirtualDub.
Prípona súboru: .avs

```
LeftVid = DirectShowSource("Left.avi")
RightVid = DirectShowSource("Right.avi")

LeftVid = ConvertToRGB32(LeftVid)
LeftVid = TurnLeft(LeftVid)

RightVid = ConvertToRGB32(RightVid)
RightVid = TurnRight(RightVid)

width = width(LeftVid)
height = height(LeftVid)

LeftVid = LanczosResize(LeftVid, width, height-15)
#RightVid = LanczosResize(RightVid, width, height)

LeftVid = Crop(LeftVid, 70, 50, 0, 0)
RightVid = Crop(RightVid, 0, 55, -70, -17)

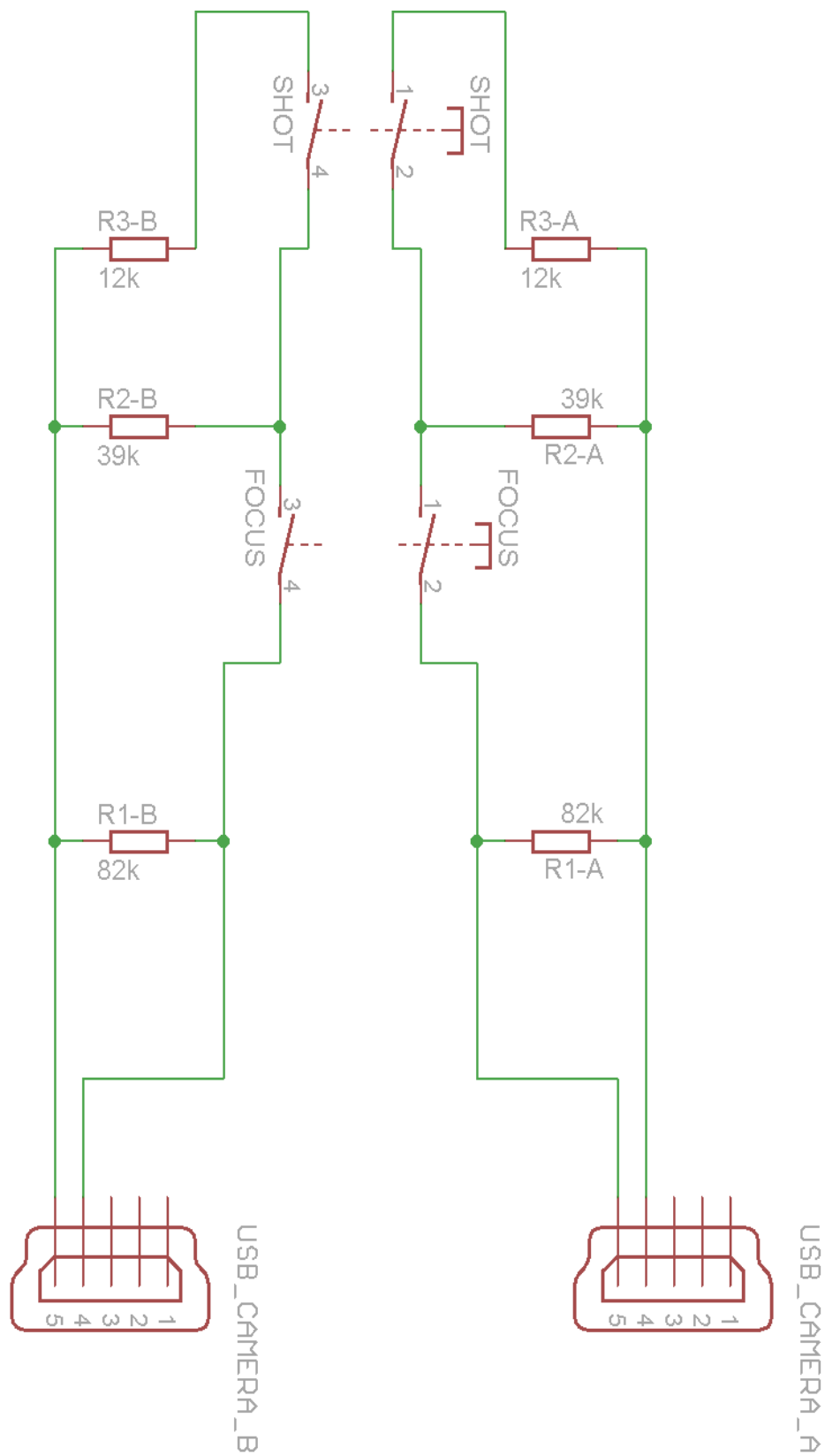
LeftVid = LanczosResize(LeftVid, Floor(width(LeftVid)/2)*2,
Floor(height(LeftVid)/2)*2)
RightVid = LanczosResize(RightVid, Floor(width(LeftVid)/2)*2,
Floor(height(LeftVid)/2)*2)

LeftVid = LeftVid.RGBAdjust(0, 0.7, 0.3)
LeftVid_1 = MergeRGB(LeftVid.ShowGreen, LeftVid.ShowRed, LeftVid.ShowRed)
LeftVid_2 = MergeRGB(LeftVid.ShowBlue, LeftVid.ShowRed, LeftVid.ShowRed)
LeftVid_f = Merge(LeftVid_1, LeftVid_2)
LeftVid_f = LeftVid_f.RGBAdjust(2.0,0,0)

RightVid_f = RightVid.RGBAdjust(0, 1, 1)

Merge(LeftVid_f, RightVid_f)
```

Príloha C: schéma zapojenia diaľkovej spúšte k fotoaparátom Fujifilm FinePix S9600.



Príloha D: DVD médium - bakalárska práca v elektronickej podobe, prílohy v elektronickej podobe, nasnímané fotografie scén, vytvorené rendery scén, prezentácia stereo scén vo forme anaglyfov, použitý softvér, zdroje v elektronickej forme, web aplikácia.