

UNIVERZITA KONŠTANTÍNA FILOZOFA V NITRE
FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED

**Implementácia nastavení reálneho stereoskopického
záznamu pre program
na spracovanie vizuálnych efektov**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program: aplikovaná informatika

Študijný odbor: 9.2.9 aplikovaná informatika

Školiace pracovisko: Katedra informatiky

Školiteľ: Mgr. Boris Lacsny, PhD.

Nitra 2016

Bc. Martin Čičmanec



Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre
Fakulta prírodných vied

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Bc. Martin Čičmanec
Študijný program: aplikovaná informatika (Jednoodborové štúdium, magisterský II. st., denná forma)
Študijný odbor: 9.2.9 aplikovaná informatika
Typ záverečnej práce: Diplomová práca
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Implementácia nastavení reálneho stereoskopického záznamu pre program na spracovanie vizuálnych efektov.

Anotácia: Problematika priestorového vnemu nazývaná stereoskopia je veľmi aktuálna. Na snímanie takéhoto záznamu musí mať dve synchronizované kamery. Na pridávanie vizuálnych efektov, ako napr. virtuálne 3D modely, potrebujeme poznať všetky nastavenia kamery a scény na zachovanie perspektívy a reálnosti. Cieľ práce: Navrhnuť metódu implementácie nastavení kamery a scény pre program na spracovanie vizuálnych efektov. Navrhnutú metódu aplikovať na stereoskopickú sekvenciu.

Kľúčové slová: stereoskopický záznam, 3D model, vizuálne efekty

Školiteľ: Mgr. Boris Lacsny, PhD.
Oponent: RNDr. Júlia Tomanová, PhD.
Katedra: KI - Katedra informatiky

Dátum zadania: 13.10.2014

Dátum schválenia: 08.04.2016


prof. Ing. Milan Turčáni, CSc.
schválil/a

POĎAKOVANIE

Týmto sa chcem poďakovať vedúcemu diplomovej práce Mgr. Borisovi Lacsnému, PhD. za konzultácie, odbornú pomoc a usmernenie pri písaní práce, za cenné rady a informácie a v neposlednom rade za ochotu. Poďakovanie tiež patrí firme Autodesk za poskytnutie verzie 3Ds Max, Bc. Miroslavovi Čičmancovi za poskytnutie 3D objektov a pomoc pri tvorbe vzorovej scény a firme The Foundry za poskytnutie softvéru Nuke a Univerzite Konštantína Filozofa v Nitre za poskytnutie hardvéru na vývoj softvéru.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracoval samostatne, a že som uviedol všetky použité pramene a literatúru, z ktorých som čerpal.

V Nitre,

Dňa 10. Apríl 2016

Podpis: _____

ABSTRAKT

ČIČMANEC, Martin: Implementácia nastavení reálneho stereoskopického záznamu pre program na spracovanie vizuálnych efektov. [Diplomová práca].

Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre. Fakulta prírodných vied.

Školiteľ: Mgr. Boris Lacsny, PhD.

Stupeň odbornej kvalifikácie: Magister odboru Aplikovaná informatika. Nitra : FPV, 2016. 86s.

Práca realizuje technickú podporu v oblasti vizuálnych efektov v postprodukcii so zameraním na stereoskopiu. Oboznamuje čitateľa s problematikou stereoskopie a vizuálnych efektov. Postupne prechádza cez históriu, funkciu očí a technické elementy v stereoskopii. Čitateľ sa dozvie o histórii stereoskopických snímok a vizuálnych efektov. Práca vysvetľuje pojmy súvisiace s vizuálnymi efektmi a zároveň ukazuje postupy využívané v praxi. Prechádza od reality k najmodernejším technikám v tvorbe stereoskopických snímok, prakticky ukazuje ich tvorbu. V rámci práce sme vytvorili stereoskopický systém v prostredí softvéru pre spracovanie vizuálnych efektov. Navrhnutý systém používajúci reálne nastavenia kamier implementujeme a vytvoríme nástroje pre stereoskopickú kompozíciu. Vzniknuté nástroje využijeme pre tvorbu stereoskopického záberu.

Kľúčové slová: Stereoskopický záznam. 3D model. Vizuálne efekty.

ABSTRACT

ČIČMANEC, Martin: Implementation of Setting of the Real Stereoscopic Sequences for the Software for Processing Visual Effects. [Diploma Thesis]. Constantine the Philosopher University in Nitra. Faculty of Natural Sciences. Supervisor: Mgr. Boris Lacsny, PhD. Degree of Qualification: Master of Applied informatics. Nitra : FNS, 2016. 86s.

This diploma thesis realizes the support in a field of visual effects in post-production with a focus on stereoscopy. It informs a reader with the problems of stereoscopy and visual effects. Thesis is going to gradually pass through the history, functions of eyes and technical elements of stereoscopy. The reader can read about the history of stereoscopic shots and visual effects. Thesis explains the concepts relating to visual effects and it also shows the work processes. It goes through reality to the latest techniques of creating stereoscopic shots. Base on thesis we have created a stereo system for visual effects software. We implement the proposed system using real camera settings and we create tools for stereoscopic composition. We use this tool to create a stereoscopic shot.

Keywords: Stereoscopic Shot. 3D model. Visual effects.

OBSAH

Úvod	9
1 História	11
1.1 Stereoskopia	11
1.1 Špeciálne a vizuálne efekty	16
2 Realita	19
2.1 Svetlo.....	19
2.1.1 Farba.....	20
2.2 Ľudské oko	21
2.3 Priestorové videnie	22
2.3.1 Pohybová paralaxa	23
2.3.2 Perspektíva	24
2.3.3 Atmosféra	24
2.3.4 Akomodácia	24
2.4 Binokulárne videnie	25
2.4.1 Zorné pole	25
2.4.2 Konvergencia	26
2.4.3 Binokulárna disparita	27
2.4.4 Horopter	27
3 Digitálna stereoskopia	28
3.1 Digitálny obraz.....	28
3.1.1 Farba ako digitálna informácia.....	28
3.1.2 Správa farieb	30
3.2 Stereo projekcia.....	33
3.3 Paralaxa	35
3.4 Kamerové systémy	37
3.5 Virtuálne kamery.....	40
3.6 Vizuálne efekty v 3D.....	43
3.6.1 Vnímanie priestorovej hĺbky	44
3.7 Vplyv stereoskopie na organizmus	46
4 Zobrazovanie stereoskopie.....	47
4.1 Chyby zobrazovania.....	47

4.2 Pozorovanie voľným pohľadom.....	49
4.2.1 Stereogram	49
4.2.2 Lentikulárny displej.....	50
4.3 Stereoskopické okuliare	50
4.3.1 Anaglyfické okuliare	51
4.3.2 Pasívne 3D okuliare	51
4.3.3 Aktívne 3D okuliare	52
4.3.4 Virtuálna realita.....	53
5 Návrh tvorby stereo záznamu.....	55
5.1 Fotografia	55
5.2 Video	56
5.3 Počítačová grafika	57
5.3.1 Pipeline.....	58
5.3.2 Softvér na spracovanie vizuálnych efektov	59
6 Implementácia nastavení kamery.....	62
6.1 Tvorba systému pre stereo záznam	62
6.2 Stereoskopické renderovanie.....	68
6.3 Stereoskopická kompozícia.....	71
Záver	78
Zoznam použitej literatúry	80
Zoznam príloh	86

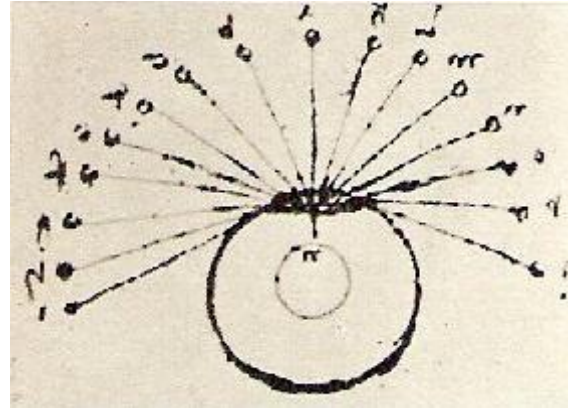
Úvod

Cieľom tejto práce je oboznámiť čitateľa s existenciou vizuálnych efektov a 3D technológií, ktoré sú dnes rozšírené nielen vo filmovom priemysle ale aj nových moderných médiách. Práca priblíži svet ilúzií a trikov, s ktorými sa v dnešnom modernom svete stretávame každodenne v reklamách a filmoch a zároveň poukáže na „skrytú“ prácu ľudí vytvárajúcich vizuálne efekty. Stereoskopické filmy sa v súčasnosti tešia veľkej obľube nehľadiac na vek pozorovateľa. V mnohých filmoch dnes môžeme vidieť scény, ktorých výroba nie je konvenčná. Na ich vytvorenie a realizáciu potrebujeme do scén zasiahnuť počítačovou úpravou. Položme si otázku: Aký postup používajú pri tvorení týchto umelých svetov, ktoré oko diváka v konečnom dôsledku vníma ako film? Aké technológie stoja za vtiahnutie diváka priamo do deja filmu? Daná problematika je natoľko zaujímavá, že ju spracujeme v širšom kontexte. Tvorba vizuálnych efektov je jedným z najrýchlejšie rastúcich odvetví počítačovej grafiky. Pomocou vizuálnych efektov sa môže výrazne zjednodušiť problém scén, ktoré by boli finančne náročné, ktoré sú v realite nebezpečné alebo tých, ktoré sú nemožné. V súčasnom filmovom priemysle sa spájajú technológie spracovania obrazu, vizuálnych efektov, informatiky s praktickými trikmi na mieste natáčania. Počítačom generované objekty sa spájajú s reálne natočenými zábermi, ktoré sú zaznamenávané najmodernejšími digitálnymi kamerami, pre dosiahnutie najlepšieho výsledku. Kompozícia a kompozičné techniky sa dnes používajú pri tvorbe každého filmového diela ako aj pri úprave starších snímok do modernej podoby. Filmoví kompozítori spájajú zábery s počítačom generovanými objektmi do výsledného záberu s cieľom dosiahnuť uveriteľný jednotný záber, ktorý divákovi zostane v pamäti aj po záverečných titulkoch. Pri tvorbe stereoskopického filmu im prácu sťažuje nutnosť tvoriť každý záber dvojmo. Používané techniky a ich tvorcovia by si zaslúžili omnoho väčšiu pozornosť oproti tomu, akú im ľudia venujú dnes. V tejto práci bude venovaná pozornosť nielen definíciám, ale aj praktickej stránke danej problematiky. Zároveň budú predvedené techniky a metódy získané počas mojej práce v obore. Súvislosti skryté za oponou tvorby filmu, hier či virtuálnej reality sú pre laika veľmi prekvapujúce. Pozoruhodná je najmä zložitosť techník používaných v minulosti a taktiež ich súčasné využitie v digitálnej forme. Postupne bude čitateľ oboznámený s históriou týchto efektov, kde prevažná časť bude venovaná stereoskopii. V práci je podrobne rozpracovaný celý proces tvorby filmového záberu pre stereoskopické zobrazovanie. Čitateľ je

oboznámený s teóriou, metódami kompozície, farbami, svetlom, grafickým softvérom a formátmi, ktoré sú modernými štandardmi vo vizuálnych efektov. Práca obsahuje navrhnutý a implementovaný softvér pre program na spracovanie vizuálnych efektov, ktorý umožní a pomôže umelcom tvoriť zábery pre stereoskopické technológie. Prakticky sú ukázané postupy filmových trikov a vo výsledku predvedené spôsoby ako uveriteľne vytvoriť jeden z najťažších a zároveň najpoužívanejších trikov vo vizuálnych efektoch. Práca čitateľa prevedie od dôb minulých až do prítomnosti a ukáže mu spôsoby, akými sa poznanie vizuálnych efektov vyvíjalo a ako to s týmito ilúziami na plátne vyzerá dnes.

1 História

Bol to Euclides, ktorý si v roku 280 pred našim letopočtom ako prvý všimol, že priestorové vnímanie získame, keď každé oko súčasne prijíma rozdielny obraz toho istého objektu. V roku 1584 *Leonardo da Vinci* študoval vnímanie hĺbky a na rozdiel od väčšiny umelcov v tej dobe produkoval obrazy¹ a skice ukazujúce jasné pochopenie tieňovania, textúr a perspektívy. Okolo roku 1600, *Giovanni Battista della Porta* vytvoril prvú umelú 3D kresbu založenú na Euklidových predstavách o tom ako funguje ľudské priestorové videnie. Nasledoval *Kepler* v roku 1611, publikáciou *Dioptrie*, ktorá obsahovala detailný popis teórie projekcie ľudského priestorového videnia. Práce týchto veľikánov stáli na zrode vznikajúceho nového odboru stereoskopia. [1][2]



Obrázok 1 Da Vinciho kresba centrálneho a periférneho videnia

1.1 Stereoscopia

Stereoscopia zahŕňa technológie, ktoré umožňujú priestorový zrkový vnem vyvolaný dvojrozmernou predlohou.

Bolo to v roku 1838, keď *Charles Wheatstone* navrhol teóriu trojrozmerného videnia a vynášiel stereoskop. Preukázal, že dvojica dvojrozmerných obrázkov, každý snímaný z trochu iného pohľadu, môže byť skombinovaná v mozgu v trojrozmerný obraz. Jeho pôvodný nástroj používal zrkadlá, ktoré oddelia obraz pre jednotlivé oči. Môžeme ho nájsť v Londýnskom vedeckom múzeu. Fakt, že bolo nutné používať veľmi presné ľavé a pravé obrázky znamenal, že najskôr sa využívali len jednoduché tvary ako kocka alebo ihlan.

Prínos Sira Charlesa Wheatstona môžeme zhrnúť do troch bodov:

- vynášiel zrkadlový stereoskop
- produkoval prvú stereoskopickú kresbu
- dal svetu správne vysvetlenie stereopsie

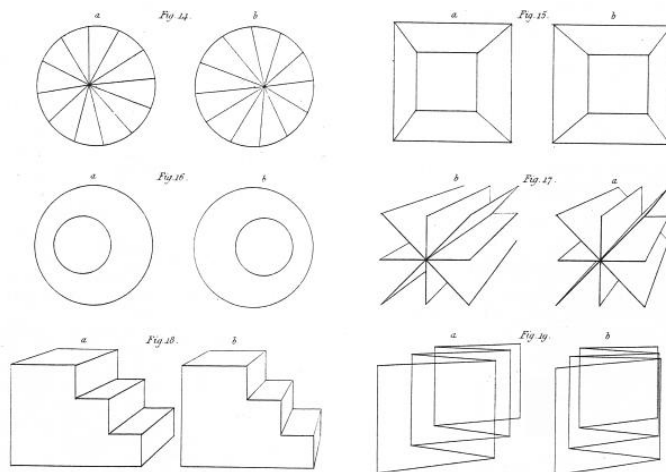
¹ Obrázok 1: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/aa/Eye_Line_of_sight.jpg

Stereopsia - binokulárne videnie, pri ktorom vzniká priestorový vnem, je základnou teóriou vedného odboru stereoskopie.

Pretože v roku 1833 fotografie neexistovali, Wheatstone² používal kresby³. [1][2]

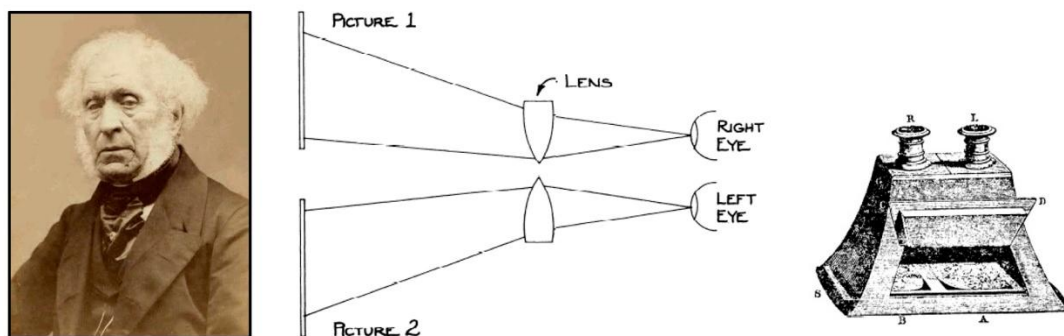


Obrázok 2 Sir Charles Wheatstone



Obrázok 3 Wheastonove stereoskopické kresby

O 14 rokov neskôr *Fox Talbot* a jeho spolupracovníci zachytili prvé stereofotografie sôch, budov a dokonca aj portréty osôb. Jednalo sa o prvé stereofotografie vôbec. [3]



Obrázok 4 David Brewster a jeho stereoskop

O popularitu stereografie sa pričínili *David Brewster*⁴, profesor matematiky v Anglicku. Vynašiel kompaktný prístroj používajúci šošovky, ktorý umožňoval montáž fotografií vedľa seba. Jeho úsilie bolo ocenené na výstave v Londýne v roku 1851, kde kráľovná *Victoria* bola tak uchvátená zobrazením stereoskopie, že prejavovala nadšenie

² Obrázok 2: <http://www.stereoscopy.com/faq/wheatstone.gif>

³ Obrázok 3: <https://michaelscroggins.files.wordpress.com/2013/11/wheatstondrawings.png>

⁴ Obrázok 4: https://kinofilmsmagazine.files.wordpress.com/2012/10/davidwrester_lenticular1.jpg

pre trojrozmerné fotografie, ktoré sa čoskoro stali populárnou zábavou po celom svete. To viedlo k popularizácii stereoskopov, ktorých sa predali milióny. V rokoch 1850-1880 prakticky neexistoval domov bez stereoskopu.

V roku 1850 výsledkom experimentov Francúza *Josepha D'Almeida* bola objavená separácia farieb pomocou farebných filtrov. *William Friese-Green* vytvoril prvé 3D anaglyfické filmy označené ako plastikon alebo plastigram, ktoré zožali veľký úspech. Filmy používali jeden film so zeleným obrazom na jednej strane a červeným na druhej. V roku 1922 bol otvorený interaktívny plastikon v divadle Rivoli v New Yorku s názvom "Movies of the Future" čiže filmy budúcnosti. Film poskytoval divákovi rôzne ukončenie - šťastný koniec cez zelený filter a tragický cez červený.

Začiatkom 20-teho storočia poklesol záujem o túto technológiu, ktorá sa vtedy využívala hlavne na edukačné účely. Ľudia si uvedomili, že poraziť kombináciu sterea a farieb je ťažké. *William Gruber* vynašiel v roku 1938 stereokotúč, umožňujúci prezerat' dvojicu diapozitívov prístrojom View-Master za vzniku priestorového vnemu. *David White* predstavuje v roku 1947 stereofotoaparát⁵, čím prichádza nová



Obrázok 5 Stereofotoaparát Realist od Davida Whita

vlna popularity. Neskôr opäť záujem o túto technológiu upadá, až kým sa v 21. storočí nevyvolá nový záujem o stereoskopické filmy spolu s napredovaním digitálnych technológií.

S nástupom digitálnych technológií prešla tvorba záberov vo filmovom priemysle mnohými významnými zmenami. Spájanie viacerých elementov do jednej ucelenej snímky je jedným z hlavných problémov od počiatku filmovej tvorby. Metodiky riešenia tejto problematiky sa menili spolu so zlepšovaním grafických technológií, hardvéru a softvéru.

Stereoskopia sa neskôr vyvíjala spoločne s vizuálnymi efektmi. Preto v nasledujúcej kapitole budú bližšie rozobrané špeciálne a vizuálne efekty a spomenuté míľniky v tvorbe 3D filmu.

⁵ Obrázok 5: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/77/Realist45fr.jpg/450px-Realist45fr.jpg>

Hoci stereoskopické 3D filmy boli často tlačené na červených a azúrových cievkach, samotné filmy zostali v čiernobielej. Zmenil to až film *Bwana Devil*⁶ v roku 1952, čo bol prvý farebný 3D film. Film používal proces *Miltona Gunzberga* nazývaný *Natural Vision*. Tento film využíval polarizačné filtre. Tieto filtre sa stali štandardom pre väčšinu 3D filmov tohto obdobia.

Mnohí považujú rok 1950 za prvý zlatý vek 3D filmu. Vďaka prekvitajúcej povojnovej ekonomike bolo stále viac divákov a majiteľov kinosál otvorených novým technológiami. Stereoskopické okuliare sú popularizované hlavne deťmi vďaka rôznym 3D komiksom a iným obrázkovým knihám obsahujúce anaglyfické okuliare. V tom čase prispel k tvorbe 3D filmov aj Disney krátkou snímkom *Melody*. Napriek týmto pokrokom, 3D filmy si svoj obdiv neudržali a popularita klesla v polovici tohto storočia. Dôvody boli hlavne technického charakteru. Bolo potrebné, aby 3D projektory zvládali zobrazovať dva kotúče v dokonalej synchronizácii. Drobné chyby v synchronizácii ľahko viedli k únave očí a bolesti hlavy. Spolu s príchodom nových a drahých 3D zariadení, kiná videli 3D filmy ako nie veľmi ideálnu investíciu.

Napriek tomu, že 3D filmy sa považovali za mŕtve, pár odvážnych tvorcov neopustilo 3D formát. Napríklad v roku 1961 uzrel svetlo sveta film *Maska*, ktorý je jedným z najnezvyčajnejších avantgardných 3D filmov dneška. Film bol zobrazený v 2D okrem scény, kde si hlavná postava nasadzuje masku. Diváci boli poučení aby si nasadili anaglyfické okuliare.



Obrázok 6 Diváci pozerajú na prvý farebný 3D film

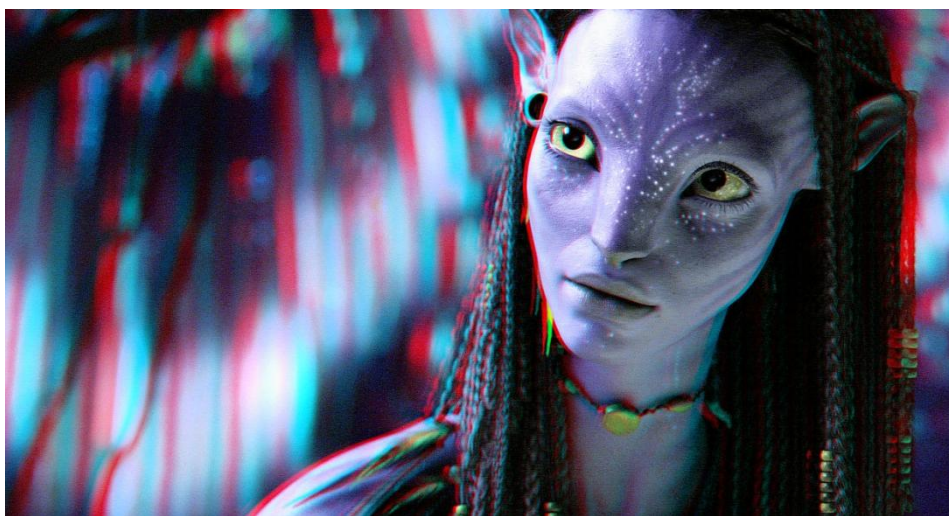
V nasledujúcich rokoch prišli tvorcovia s novými nápismi a vznikali nové firmy zaoberajúce sa touto technológiou, napr. *Stereovision*. Napriek tomu, že v 70-tych a 80-tych rokoch bola 3D technológia stále pridrahá. Divákovi sa zunovalo pozeranie filmov cez lacné anaglyfické okuliare a nastal ďalší úpadok 3D filmu. 3D filmy ustúpili od oka verejnosti, ale nie naddlho. Čakalo sa na lacnejšie a vizuálne pôsobivejšie technológie. *IMAX* sa stal jedným z najsilnejších zástancov 3D filmu v polovici 80-tych rokov. Vynaložili veľké úsilie, aby zabezpečili synchronizáciu filmovým kotúčom a

⁶ Obrázok 6: http://www.citizenarcane.com/files/2005_Feb_06/watching_bwana_devil.jpg

tým odstránili únavu očí a bolesť hlavy divákov spojenú s pozeraním 3D filmov. IMAX 3D ponúkol divákovi vizuálne atraktívny zážitok z veľkého plátna, aký lacné 3D filmy z dávnych čias nemohli.

Disney tiež pokračoval v 3D filmoch a v roku 1986 priniesol 3D technológiu označovanú ako 4D film, pretože pridali laserové efekty, hmlu a hydraulické stoličky, ktoré vtiahli diváka bližšie do deja filmu. IMAX začal rozširovať ponuku 3D filmov a zlom prišiel v roku 1986 vo Vancouvri. Film *Transitions* sa stal prvý 3D film so spárovanými polarizačnými šošovkami. S polarizačnými šošovkami sa lámal obraz cez divákove okuliare. Mozog dostával dva podobné, ale jedinečné toky obrazových dát a spájal ich do jednotnej 3D snímky. Veľkou výhodou bola možnosť pozerania filmu z rôznych uhlov bez straty kvality. IMAX kiná prišli s novými dokumentárnymi filmami ako *Ghosts of the Abyss*, dokument o Titanicu režírovaný *Jamesom Cameronom*. V roku 2004 bol vytvorený prvý animovaný stereoskopický film pre IMAX 3D kiná *The Polar Express*.

Neskôr sa vynorili nové technológie ako Real D 3D, Dolby 3D a masterImage 3D. Ako napredovali vizuálne efekty, tak napredovali aj 3D filmy a s jednoduchšou 3D postprodukciou prišli prvé konverzie 2D filmov do 3D kín. Jedným z prvých takýchto konverzií je *Superman Returns*. Úspech konverzií otvoril nové obzory a do kín prichádzalo stále viac a viac 3D filmov a s nimi aj najúspešnejší 3D film všetkých čias *Avatar*⁷ od Jamesa Camerona. *Avatar* priviedol na svet nové technológie zo stereoskopie, kamery a z vizuálne efekty. Obrovský úspech filmu otvoril brány mnohým novým technickým špecializáciám a odborom. [1][2][4][5][6]



Obrázok 7 Avatar v 3D(anaglyf)

⁷ Obrázok 7: <http://www.3d-anaglyph.com/3D-gallery/2010/09/3D-Avatar.jpg>

1.1 Špeciálne a vizuálne efekty

Špeciálne efekty sú ilúzie využívané vo filme, televízii a celom zábavnom priemysle. Tieto ilúzie sa využívajú k realizovaniu takých záberov a scén, ktoré sú bežným spôsobom nedosiahnuteľné.

Špeciálne efekty sú technické triky, ktoré vdychujú filmom život. Termín popisuje celú radu efektov, kamerové "optické" efekty, mechanické "špeciálne" a digitálne "vizuálne" efekty vytvorené počas post-produkcie.

Mechanické efekty⁸ sa zvyčajne využívajú na mieste počas natáčania. Zahŕňajú mechanické roboty, umelé scény, miniatúry, animatroniku, pyrotechniku a atmosférické efekty ako tvorba vetru, dažďa, hmla, snehu a oblakov.



Obrázok 8 Praktické špeciálne efekty- miniatúry v Star Wars

Optické efekty (často nazývané aj fotografické efekty) sú techniky, pri ktorých sa obrázky alebo filmové snímky tvoria opticky, teda využitím fotoaparátu alebo kamery. Pred revolúciou počítačovej grafiky boli miniatúrne modely značne využívané v tvorbe objektov "mimo tohto sveta" ako vesmírne plavidlá klasickej sci-fi sérií "Star Wars" a "Star Trek". Napriek dostupnosti počítačovej grafiky, *Peter Jackson* sa rozhodol použiť miniatúrne modely pre vytvorenie Middle Earth v trilógii "Lord of the Rings". Samozrejme modely nemusia byť vždy miniatúrami. Pre výrobu filmu "2001: A Space Odyssey" bol vytvorený obrovský model centrifúgy, ktorý bol navrhnutý tak, aby v ňom herci mohli chodiť z dôvodu simulácie priestoru vo vnútri kozmickej lode. Táto

⁸ Obrázok 8: <http://pbblogassets.s3.amazonaws.com/uploads/2016/05/ATATPRACTICAL-865x505.jpg>

technika bola neskôr preskúmaná a prijatá tímom firmy Double Negative, keď sa stretol s výzvou vytvoriť dynamickú scénu ľudskej mysle pre trháč *Inception*.

Rozvojom nástrojov pre digitálnu úpravu filmu sa rozšíril rozdiel medzi špeciálnymi a vizuálnymi efektmi.

Vizuálne efekty sú postupy, kde vizuálna stránka je vytváraná alebo upravovaná mimo kontext živej akcie počas nakrúcania. Reprezentujú digitálnu post-produkciu.

V 90-tych rokoch rozvojom počítačov prichádzajú do popredia špeciálnych efektov nové technológie vytvárajúce počítačom generované obrázky - **CGI**.

Pojem **počítačom generované obrázky (CGI)**⁹ zahŕňa aplikáciu počítačovej grafiky pre tvorbu obrazov v umení, tlači, videohrách, filmoch, televízii, reklame a simulátoroch. Rozdeľujú sa na statické (obrázky) a dynamické (počítačová animácia). Môžu byť dvojrozmerné alebo trojrozmerné. Počítačová grafika dáva tvorcom lepšiu kontrolu, predstavivosť a umožňuje tvoriť množstvo efektov.



Obrázok 9 Aplikácia CGI vo filme Iron Man 3

Vizuálne efekty využívajúce počítače sa čoraz častejšie stávajú súčasťou vysoko nákladových filmov a sú prístupnejšie amatérskym filmárom prostredníctvom grafických programov.

Vizuálne efekty sú často včlenené do filmových príbehov. Hoci väčšina vizuálnych efektov je vytvorená počas post-produkcie, zvyčajne musí byť veľmi starostlivo naplánovaná už v prípravnej fáze filmu. To isté platí aj pri tvorbe vizuálnych efektov pre 3D filmy.

⁹ Obrázok 9: https://pbs.twimg.com/media/CERMrdqWIAAk1_-jpg

Stereoskopický 3D zážitok je kľúčovou súčasťou modernej celovečernej filmovej produkcie pre kiná a stredobodom pozornosti v oblasti komerčnej televízie a zábavy v domácnosti. Dnešné publikum očakáva od stereoskopických snímok premyslenosť a bezchybnosť. Už spomínaný 3D efekt sa pokúša reprodukovat' proces, pri ktorom vidíme na vlastné oči a pociťujeme hĺbku priestoru. K tomu potrebujeme dve kamery pre zachytenie samostatných obrazov rovnakého objektu z mierne odlišných uhlov, ale z pevného stanoviska. Pri prehrávaní musí byť ľavý obraz vidieť iba ľavým okom a pravý obraz zas pravým okom. Mozog obrazy spracuje a spojí v jeden celok.

Pri tvorbe efektov v 3D je nutné predstaviť divákovi kreatívne riešenia, ktoré optimálne využijú stereoskopický 3D efekt pomocou techník ako úprava konvergenencie a úprava hĺbky obrazu.



Obrázok 10 Film Gravity a medziprodukt konverzie do 3D

Množstvo problémov pri tvorbe sa vyskytuje už pri výrobe, ako napríklad: vertikálne vychýlenie, nesúlad v zaostrení a rozdiely lokálnych farieb. Ak by zostali tieto problémy neopravené, môžu viesť k zlej kvalite alebo nepohodlnému zážitku zo sledovania. Dnes umelci konvertujú 2D¹⁰ snímky do stereoskopického 3D pričom tiež čelia mnohým výzvam, aby zabezpečili vysokú kvalitu obrazu a splnili požiadavky príbehu a poskytli príjemný 3D zážitok. Výroba 3D stereoskopie si vyžaduje sofistikované nástroje, ktoré kombinujú automatizované, technické a kreatívne úpravy. Pomocou týchto nástrojov je možné zvýšiť produktivitu, pokiaľ sú správne zasadené do tvorby filmu. [7][8]

¹⁰ Obrázok 10: https://library.creativecow.net/articles/kaufman_debra/Gravity-3D-Conversion

2 Realita

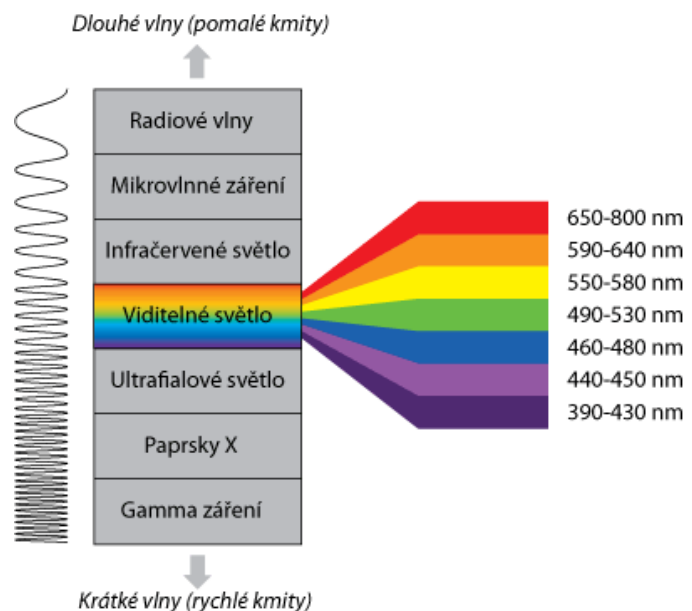
Predtým, než budú predstavené digitálne technológie, venujeme pár riadkov tomu, ako naše oči a mozog vnímajú viditeľný svet. Aj keď väčšina z nás trávi celý svoj život pozeraním sa okolo seba, len zriedka sa zastavíme a uvedomíme si, ako náš mozog vníma to, čo vidia naše oči. Väčšinu času okamžite redukuje informácie do symbolickej reprezentácie okolia.

V určitom okamihu musí umelec prekonať zábrany a naučiť sa vidieť. Slovom básnika Johann Wolfgang von Goethe "To je najťažšie zo všetkých vecí, aj keď by sa mohlo zdať ako najjednoduchšie: vidieť to, čo je pred očami." [9]

Jednou z najdôležitejších vecí tvorby obrázkov je integrácia prvkov do scény, v ktorej sú vyvážené farby, jas a kontrast. Schopnosť ľudí rozlišovať a súdiť farby je rôzna, ale nie je to dedičná vlastnosť. Naopak, mať dobrý cit pre farby je učiteľská schopnosť vyžadujúca prax. [8]

2.1 Svetlo

Viditeľné svetlo¹¹ nie je definované trojicou farieb RGB (červená, zelená, modrá) ako v informatike. V reálnom svete je svetlo úzkou zložkou elektromagnetického žiarenia. Elektromagnetické žiarenie zodpovedá veľmi širokému pásmu vlnových dĺžok od dlhých rádiových vln po gama žiarenie. Viditeľné svetelné spektrum tvorí malý kúsok v rámci tejto širokej škály. Skutočné vlnové dĺžky, ktoré dokážeme vidieť, siahajú od červenej pri 800nm do modrej pri 390nm. Vlnové dĺžky dlhšie ako 800nm sú známe ako infračervené a tie kratšie ako 390nm ako ultrafialové svetlo.

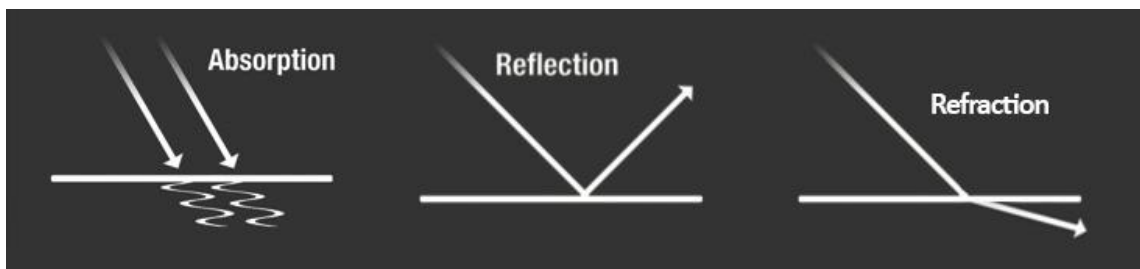


Obrázok 11 Vlnová dĺžka viditeľného svetla

¹¹ Obrázok 11: http://www.fotoroman.cz/techniques3/light/rom_svetlo_1_02.gif

Hoci viditeľné spektrum je spojité, naše oči nevnímajú rovnako všetky jeho frekvencie. Sú to len vzorky z troch regiónov, ktoré sme nazvali červená, zelená, modrá. Oko, rovnako ako monitor je RGB zariadenie. Zariadenia zobrazujú dáta vyžarujúce svetlo v frekvenčných pásmach podobným tým, na ktoré je ľudské oko citlivé. Tie boli starostlivo navrhnuté tak, aby boli kompatibilné s ľudským vnímaním farieb. [8][10]

Pri dopade svetla¹² na nejaký povrch nastávajú 3 javy:



Obrázok 12 Dopad svetla na povrch

Absorpcia ak sa svetlo pohltí.

Reflektcia ak sa svetlo odrazí.

Refrakcia ak materiál svetlo láme.

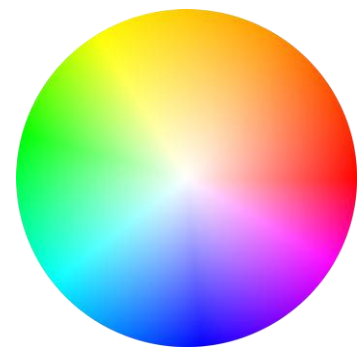
[8][10][11]

2.1.1 Farba

Farbu¹³ môžeme definovať ako vizuálne vnímanie kvality povrchu, ktoré je spôsobené odrazeným svetlom a vo všeobecnosti vyjadrené odtieňom, saturáciou a jasom. V digitálnom svete môžeme svetlo definovať zložkami okolitého, difúzneho, odrazeného, prenášaného a vyžarovaného svetla.

Dôležitá vec, ktorú treba pochopiť je, že to, ako vnímame vizuálny svet je súhrou svetla v scéne. Učiť sa pochopiť zložitost' osvetlenia objektov je základným princípom všetkého v počítačovej grafike. Koniec koncov, bez svetla by väčšina obrázkov bola pochmúrna a oveľa

menej zaujímavá. Ako všetko v prírode potrebuje svetlo k životu, aj počítačová grafika a film sa bez svetla nezaobídu. [8]



Obrázok 13 Škála farieb(Colorwheel)

¹²Obrázok 12: http://missionscience.nasa.gov/ems/03_behaviors.html

¹³Obrázok 13: https://color.adobe.com/build2.0.0-buildNo/resource/img/kuler/color_wheel_730.png

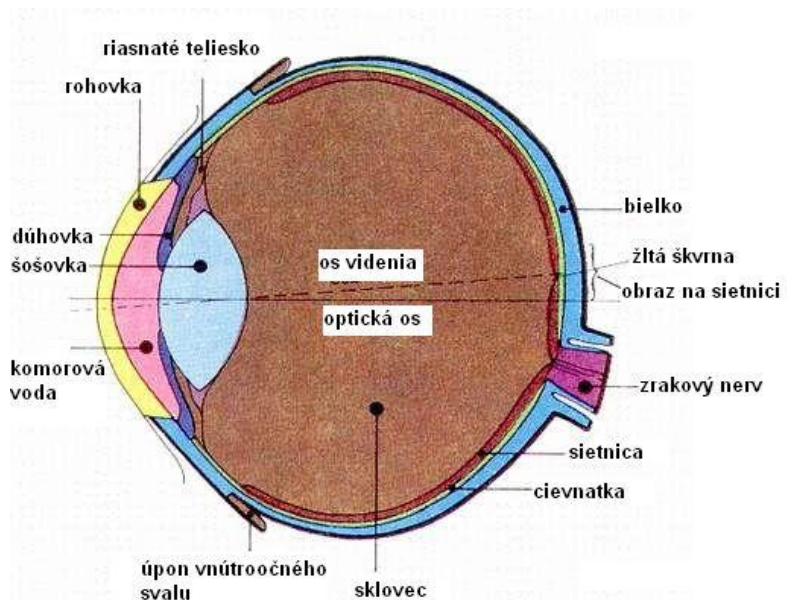
2.2 Ľudské oko

Už na začiatku 11 storočia zaznel výrok filozofa *Avicenna*, ktorý znie: "Oko je ako zrkadlo a všetky viditeľné objekty sú ako odrazy v zrkadle".

Oko je len nástrojom videnia. Zvyšok zabezpečuje náš mozog. Keď všetko funguje ako má, tento zložitý systém nám zabezpečuje jeden z najdôležitejších piatich zmyslov. Zrak nám sprostredkováva až 80% informácií z okolia, umožňuje orientovať sa v priestore a vnímať svetlo. Preto je na spracovanie zrakových vnemov vyhradená 1/10 mozgovej kôry.

Ľudské oko¹⁴ býva svojou funkciou prirovnávané k fotografickým prístrojom. Vlastnú komoru tvorí dutina vyplnená sklovcom. Pigmentová vrstva cievnatky zabezpečuje elimináciu reflexov. Rohovka, komorová tekutina a šošovka predstavujú objektív.

Svetelný lúč prechádza k sietnici skrz štruktúry: predná plocha rohovky, hmota rohovky, zadná plocha rohovky, komorová voda, predná plocha



Obrázok 14 Časti oka

šošovky, hmota šošovky, zadná plocha šošovky a sklovec.

Ľudské oko je tvorené jednoduchým objektívom z dvoch členov. Sú nimi rohovka a šošovka. Množstvo svetla, ktoré vstupuje do oka, je riadené **dúhovkou**, ktorá sa nachádza medzi rohovkou a šošovkou. Uprostred dúhovky je **zrenica**, ktorá sa v závislosti na intenzite osvetlenia sťahuje alebo roztahuje, a tým reguluje vstup svetelných lúčov do oka. Svetlo sa ďalej šíri priehľadným sklovcom a na svetlocitlivej sietnici vytvára prevrátený obraz.

Sietnica je svetlocitlivá časť oka a zodpovedá senzoru, prípadne filmu vo fotoaparáte. Pokiaľ by sa sietnica vyrovnala do plochy, vytvorila by kruh o priemere

¹⁴ Obrázok 14: <http://www.edi.fmph.uniba.sk/~jaskova/ped/02/pictures/oko1.jpg>

asi 42mm, ktorý sa zhoduje s uhlopriečkou filmu. Sietnica je tvorená svetlocitlivými bunkami - asi 130 miliónmi **tyčíniek** a 7 miliónmi **čapíkov**. V tomto prípade môže oko fungovať ako 137 megapixelový fotoaparát. Čapíky sú menej citlivé, ale sú schopné rozlišovať farbu. Tyčinky sú omnoho viac citlivé, ale ich úlohou je sprostredkovanie len čiernobieleho videnia.

Aby oko správne fungovalo, nesmieme zabudnúť spomenúť ešte niektoré prídavné orgány, ktoré majú tiež veľký vplyv na dokonalé videnie. Patria sem **okohybné svaly**, ktoré zabezpečujú pohyby samotného oka a vďaka nim môžeme meniť smer pohľadu. Ďalej sem môžeme zaradiť **očnicu**, ktorá predstavuje kostenú schránku, v ktorej je oko uložené a jej hlavnou funkciou je ochrana **očnej gule** a v neposlednom rade je nutné ešte spomenúť **očné viečka** a **slzný aparát**.

Viditeľný obraz môžu vytvoriť len lúče s vlnovou dĺžkou 390 - 800 nm. Usmernenie svetelných lúčov do jedného bodu na sietnici sa nazýva optická mohutnosť oka alebo sila lomivosti a je určená zakrivením svetlo lámajúcich plôch oka a indexom lomu. Optická mohutnosť sa udáva v dioptriách.

Najdôležitejšie lámavé plochy oka sú rohovka a šošovka. Optická mohutnosť rohovky je asi 43 dioptrií a šošovky 20 dioptrií. Optická mohutnosť oka však nie je stále rovnaká, ale môže sa meniť. Je to dané elasticitou šošovky, ktorá umožňuje zmenu jej zakrivenia a tým aj zmenu optickej mohutnosti. Táto činnosť, nazývaná akomodácia, nám umožňuje vidieť ostro predmety vzdialené aj blízke. Pri pohľade do blízka sa musí oko prispôbiť, šošovka sa viac vydúva, čím zvyšuje svoju optickú mohutnosť. Naopak, pri pohľade do diaľky (predmety vzdialené viac ako 5-6 metrov od oka) sa šošovka splošťuje a znižuje svoju optickú mohutnosť. Napríklad pri čítaní zo vzdialenosti 25 cm musí šošovka zvýšiť svoju dioptrickú hodnotu o 4 dioptrie, z 33 cm o 3 dioptrie. Všetko sa to deje automaticky, bez našej vôle. [10][12][13][14]

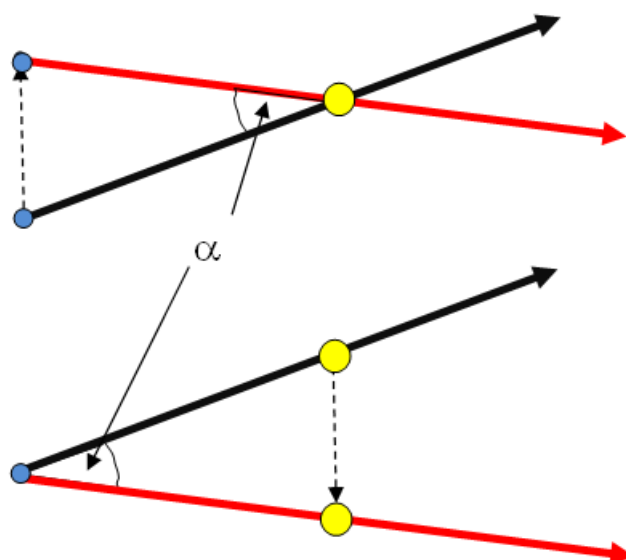
2.3 Priestorové videnie

Vnímanie priestoru sa deje za účinnosti zrakového aj pohybového analyzátora. Dominantnú úlohu má avšak zrakové vnímanie. Ide o vnímanie priestorových vzťahov pozorovaných objektov ako veľkosť, rozmiestnenie, hĺbka a iné. Pri priestorovom vnímaní zohrávajú veľkú rolu aj skúsenosti. Mozog dokáže spracovať a vyhodnotiť priestor aj jedným okom. Jedným okom, teda monokulárnym aparátom dokážeme vnímať nasledovné aspekty. [5][6]

2.3.1 Pohybová paralaxa

Paralaxa je pojem používaný hlavne v astronómii, pre zmenu uhlovej pozície dvoch stacionárnych bodov vzhľadom k pozorovateľovi. Pre túto prácu vzhľadom na vizuálne efekty sa tento pojem používa skôr pre sprievodný jav, ktorý zapríčini zmenu tohto uhla. Tým javom je pohyb, ktorý vytvára zdanlivé posunutie objektu vzhľadom na jeho pozadie pri zmene pozorovateľa. Pozorovať okolie môžeme očami alebo kamerami. Nezáleží na tom, či sú pozorovatelia reálni alebo digitálni, paralaxa funguje rovnako v reálnom ako aj virtuálnom svete a je veľmi dôležitá pre mnohé typy efektov.

Pri monokulárnom videní môžeme vidieť pohybovú paralaxu¹⁵. Ako už bolo spomenuté, vzniká pohybom pozorovateľa/kamery. Ak sa teda pohybujeme zdá sa nám, že sa aj predmety v našom okolí pohybujú, pretože v rámci nášho zorného poľa sa



Obrázok 15 Pohybová paralaxa pri pohybe pozorovateľa(hore) a objektu(dole)

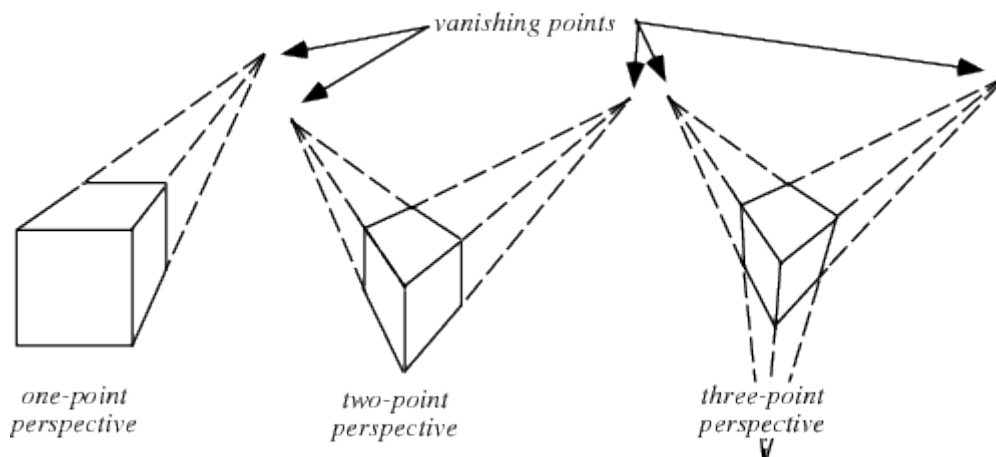
objekty zdanlivo posúvajú vzhľadom k pozadiu. Pokiaľ máme znalosti o smere a rýchlosti pohybu pozorovateľa, pohybová paralaxa nám môže poskytnúť absolútne informácie o hĺbke. Tento aspekt je veľmi dôležitý pre pochopenie tvorby stereoskopických obrazov. K paralaxe sa ešte vrátíme pri tvorbe virtuálnych svetov.

[15][16]

¹⁵Obrázok 15: https://en.wikipedia.org/wiki/Parallax#/media/File:Parallax_geo_or_helio_static.PNG

2.3.2 Perspektíva

Je to jeden z najdôležitejších javov videnia. Perspektíva¹⁶ je optický jav spôsobujúci optickú ilúziu, že vzdialenejšie objekty vyzerajú menšie. Vytvára sieť neviditeľných paralelných línií zbiehajúcich sa v nekonečnu. Umožňuje nám rekonštruovať relatívnu vzdialenosť v rôznych častiach scény alebo v krajinných prvkoch.



Obrázok 16 Typy perspektívy

Perspektíva zapríčiňuje už naznačený jav - **relatívnu veľkosť**. Ak sú dva objekty rovnako veľké (napríklad stromy), ale nevieme ich absolútnu veľkosť, tak relatívna veľkosť v prostredí nám poskytuje informácie o hĺbke týchto dvoch objektov. [15][16]

2.3.3 Atmosféra

Svetlo sa rozptyľuje kvôli časticiam v atmosfére. Preto majú objekty v diaľke nižší kontrast jas aj nižšiu sýtosť farieb. V počítačovej grafike je to efekt nazývaný "distance fog" čiže hmla počítaná vzdialenosťou od kamery. Popredie má vysokú sýtosť farieb aj kontrast a objekty menia farbu v rôznych hĺbkach. Farby sa so vzdialenosťou posúvajú smerom k modrej časti spektra. [15][16]

2.3.4 Akomodácia

Jedná sa o spomínanú vlastnosť oka ovplyvňovať šošovku pomocou svalov, čím je možné ostríť na objekty v rôznej vzdialenosti. Poskytuje nám ďalšie informácie

¹⁶ Obrázok 16: http://mathworld.wolfram.com/images/eps-gif/Perspective_730.gif

o vnímaní priestorovej hĺbky. Čím ďalej je pozorovateľ od pozorovaného (zaostreného) objektu, tým je viac rozmazaný.

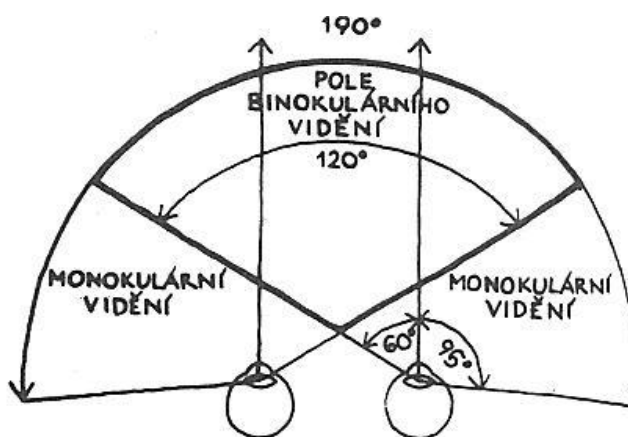
Spomenuli sme základné monokulárne aspekty, ktorými vnímame priestorovú hĺbku. Samozrejme k nim dopomáhajú aj iné sprievodné javy ako osvetlenie a vrhanie tieňa objektov. Prekrývanie objektov, ktoré nám povie usporiadanie objektov od pozorovateľa a iné. V nasledujúcej časti sa zameriame na binokulárne aspekty videnia, ktoré vedú k priamej tvorbe stereoskopických obrazov. [15][17]

2.4 Binokulárne videnie

Základom správneho priestorového videnia (stereopsie) je binokulárne videnie. Zo zorného uhla pravého a ľavého oka vzniká v mozgovej kôre obraz s priestorovou dimenziou. Časť odrážaného priestoru padá do identických bodov sietnice, časť do disparátnych. Disparátnosť vyhodnotí mozgová kôra tak, že do týchto bodov môžu dopadať len lúče z rôznych častí priestoru, a tak vzniká priestorový vnem. Pri dokonalejšom pociťovaní priestoru hrajú dôležitú úlohu aj impulzy z okoohybných svalov pri akomodácií. [5][6][18]

2.4.1 Zorné pole

Je oblasť¹⁷, ktorú dokážu oči obsiahnuť bez toho, aby sa pohybovali. To znamená, že je pohľad fixovaný na jeden bod. Rôzne živočíchy majú rozdielne zorné polia. Zorné pole človeka oboma očami je asi 200 stupňov. Jedného oka asi 160 stupňov. Prienik zorných polí očí je oblasť, ktorú vidíme trojrozmerné. Odporúčané zorné



Obrázok 17 Zorné pole človeka

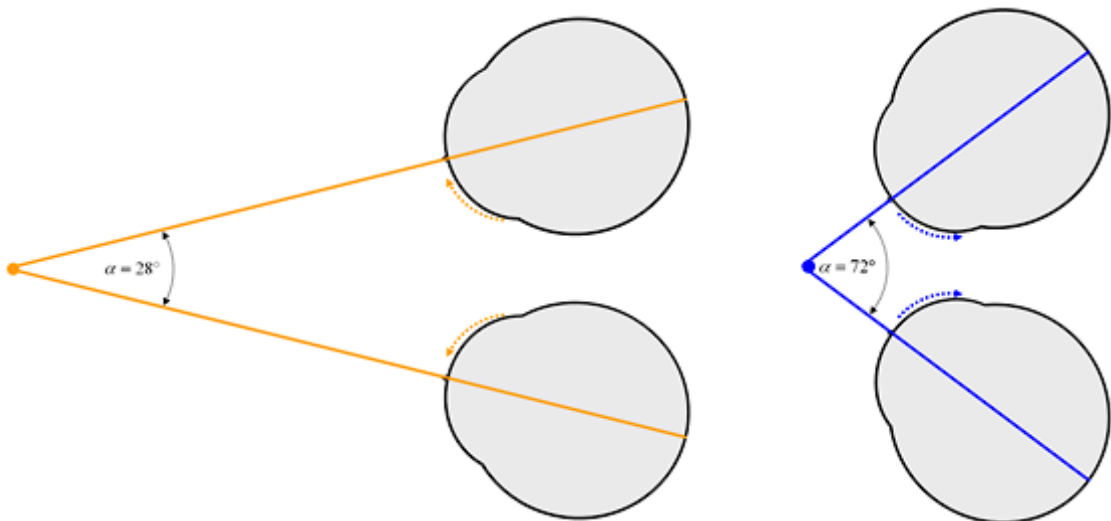
¹⁷ Obrázok 17: <http://www.n-i-s.cz/userfiles/kamenikova/handicapovani/obr%208.jpg>

pole je okolo 60 stupňov vo všetkých smeroch, kde najlepšie vnímame priestor a pohyb. Preto aj najdôležitejšie vizuálne prvky by mali byť do tohto rozsahu konštruované. Je to takzvaná oblasť foveálneho videnia, kde je najcitlivejšie zrakové vnímanie. [15][18]

2.4.2 Konvergencia

Konvergencia očí¹⁸ vyplýva z vlastností trojuholníka. Svaly posúvajú oči tak, aby bol pohľad upriamený na predmet. Mozog dokáže rozpoznať konvergenciu a tá napomáha pri binokulárnom vnímaní priestorovej hĺbky.

Zjednodušene povedané: konvergencia vytvára trojuholník. Jeho základňou je fixná vzdialenosť očí a príslahlé uhly sú miery konvergencie pravého a ľavého oka. Sčítaním týchto uhlov získame uhol konvergencie. Kinestetické impulzy z očných svalov vedené do mozgu nám poskytujú informácie na vnímanie hĺbky. Aj keď nie dosť presné, aby udávali absolútnu vzdialenosť, môžu jednotlivcovi umožniť povedať, ktorý z dvoch predmetov je ďalej.



Obrázok 18 Konvergencia očí

Pri nízkej vzdialenosti objektu od oka sa za pomoci konvergencie dá veľmi presne odhadnúť vzdialenosť objektu. To už ale neplatí pri väčšej vzdialenosti ako 20 metrov od očí. Oči sú vtedy už v skoro paralelnej polohe. [15][17]

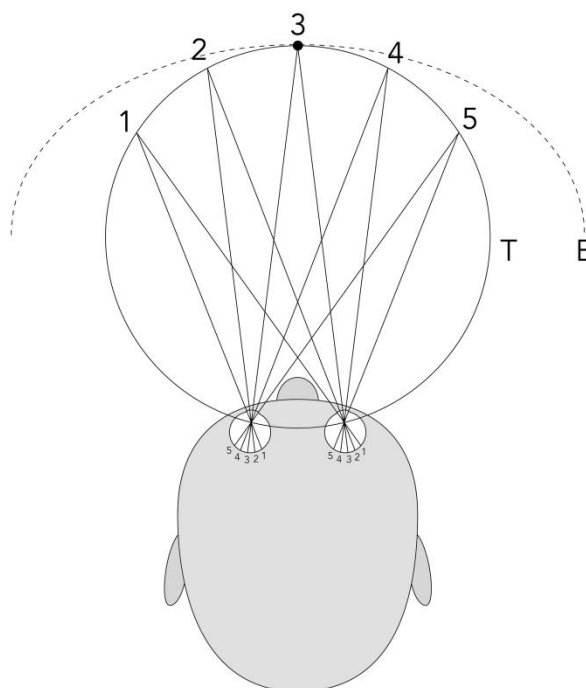
¹⁸ Obrázok 18: <http://cse.csusb.edu/tong/courses/cs621/images/3dmovie/convergence80.png>

2.4.3 Binokulárna disparita

Naše oči sú vo vzdialenosti cca 6.35 cm. Každé oko teda zaznamenáva mierne odlišné zorné pole a tým aj rozdielne obrazy. Mozog tieto obrazy porovnáva a ich rozdiel dodáva mozgu veľmi dôležité informácie o polohe objektov v priestore. Napríklad, ak držíme palec pred nosom, je rozdiel obrazu značný. Pri tvorbe 3D filmov sa simuluje táto disparita posunutím kamier od seba na niekoľko centimetrov. Pri tvorbe v grafických programoch máme možnosť túto disparitu meniť a tým simulovať rozmanitejšie výsledky.

2.4.4 Horopter

Horopter¹⁹ označuje oblasť bodov, ktoré sa pri pohľade na fixný objekt premietnu na sietnicu oboch očí s nulovou disparitou. Ak sa obrazy očí vo foveálnej oblasti sietnic prekrývajú, majú nulovú disparitu. Oblasť nazvali horopter alebo aj Vieth-Mullerova kružnica. Body z kružnice sa premietajú na obe sietnice pod rovnakým uhlom. Empirický horopter nie je však dokonalá



Obrázok 19 Empirický a teoretický horopter

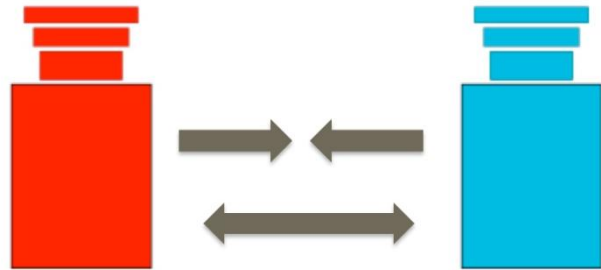
kružnica, ale oblá krivka, ktorá je znázornená na obrázku pod označením E. Mozog dokáže vyhodnotiť obraz s drobnými odchýlkami ako nulovú disparitu. Oblasť, v ktorej mozog vidí rovnaké obrazy sa nazýva Panumová oblasť. Mimo nej dochádza k zdvojenému videniu.

Týmto sme prešli históriou vizuálnych efektov, princípmi fungovania binokulárneho videnia a súvisiacimi aspektmi. Nasledujúca kapitola bude zameraná na stereoskopiю v digitálnom formáte. Ukážeme si základné poznatky, ktoré sú potrebné pre zachytávanie a úpravu stereoskopických snímok. [19][20]

¹⁹ Obrázok 19: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/62/Horopter.png/220px-Horopter.png>

3 Digitálna stereoskopia

Digitálne technológie v dnešnom svete dominujú. Všade tam, kam sa pozrieme, sa bez počítačov a nástrojov pre zachytávanie a správu dát nezaobídeme. Zistili sme, že oči fungujú ako zložitý binokulárny systém, kde mozog pracuje ako počítač. Spracováva a vyhodnocuje dáta získané z vnímania priestoru okolo nás. Priemerná vzdialenosť očí je približne 6,35 cm. V digitálnom



Obrázok 20 Vzdialenosť kamier od seba (Interaxial)

svete sa táto vzdialenosť ovplyvňuje vzájomnou vzdialenosťou dvoch kamier. Táto vzdialenosť sa nazýva interaxial a aktívne ovplyvňuje efekt hĺbky v scéne. [21]

3.1 Digitálny obraz

Na to, aby sme dokázali správne zachytiť a spracovať digitálnu snímku, musíme pochopiť, z čoho sa skladá digitálny obraz. Digitálne obrázky majú svoju vnútornú štruktúru. To znamená, že sú vytvorené zo základných prvkov, ktoré sú zostavené tak, aby vytvárali digitálny obraz. Základnou jednotkou digitálneho obrázku je pixel. Množstvo týchto bodov je umiestnených do poľa, v ktorom sú usporiadané v jednej alebo viacerých vrstvách.

Vo filmovom priemysle existujú štandardy, ktoré sa využívajú pri spracovaní stereoskopických záberov. Potrebné znalosti pre tvorbu stereoskopických snímok budú popísané v nasledujúcej časti. [8][22][23]

3.1.1 Farba ako digitálna informácia

Digitálny obrázok, či už sa jedná o fotografiu alebo vytvorený snímok pomocou grafických nástrojov, si uchováva informácie o farbách pixelov. Farby sú reprezentované farebnými kanálmi. Najčastejšie sa využíva trojica kanálov RGB(červená, zelená, modrá). Jednotlivé kanály je možné zobrazit' v stupňoch šedej ako hodnotu svetlosti jednotlivých farieb. Keď tieto kanály zlúčime dostaneme farebný obrázok. Každý pixel obsahuje dáta v troch kanáloch RGB. Výsledná farba sa zobrazuje

pomocou zobrazovacích zariadení. V počítačovej grafike sa používajú častejšie kanálové obrázky. Najznámejším je 4 kanálový formát RGBA, kde posledný kanál reprezentuje alfu, čo je maska obrázku znázorňujúca priehľadnosť.

Existujú dva základné typy obrázkov. Sú nimi: fotografické snímky a grafické obrázky. Fotografické snímky sú obrázky zachytené kamerou prípadne fotoaparátom (digitálnym alebo analógovým). Ich charakteristickou vlastnosťou je, že ich hodnoty pixelov sa líšia značne v celom obrázku, čo im dotvára komplexný význam. Grafické obrázky sú na druhej strane jednoduchšie, vytvorené grafickým programom ako je napríklad *Adobe Photoshop*.

Veľkosť súboru každého RGB obrázku môže byť značne znížená prechodom na indexovaný farebný obrázok. Počítač vytvorí štatistickú analýzu všetkých farieb RGB v obraze a vyprodukuje tabuľku LUT (Look-Up Table)²⁰ len z 256 farieb. Takzvané Lutky sa často používajú pri doladovaní farieb a nálady snímku. Existuje veľké množstvo prednastavených nastavení farebných tabuliek, ktoré ovplyvňujú výsledný vzhľad záberu a dodávajú typický filmový nádych.

Na tabuľku LUT sa môžeme pozerať ako na matematický problém

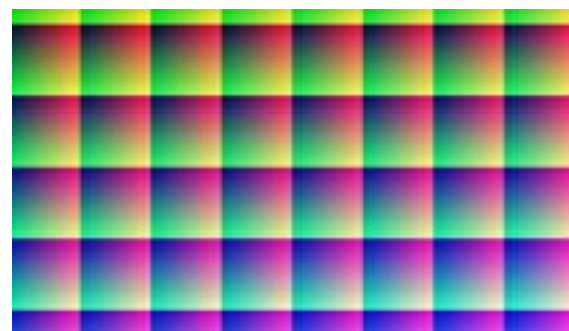
$$R = S + L$$

R - je výsledok aký chceme dosiahnuť

S - je náš zdroj, teda počiatočný obrázok

L - je LUT inak povedané rozdiel medzi zdrojom a požadovaným výsledkom.

Vo všetkých prípadoch používania tejto tabuľky pre úpravu farieb platí, že je rozdielom medzi zdrojom a výsledkom. Grafik, ktorý určuje farby, by mal farebne zjednotiť požadované zábery dodatočnými úpravami. Lut-ky v žiadnom prípade nenahradia správne kalibrované farebné



Obrázok 21 LUT tabuľka

korekcie v snímke. Napriek tomu veľmi pomáhajú a urýchľujú prácu na filmoch či fotografiách pri väčšom tíme ľudí, kde si každý grafik môže pomocou aplikovania

²⁰ Obrázok 21: <http://nofilmschool.com/sites/default/files/uploads/2011/05/lut-buddy.jpg>

farebnej korekcie na základe LUT pozrieť požadovaný farebný výsledok, a tým prispôbiť aj svoju prácu pre čo najlepší a jednotný výsledok. [8][23][24][25][26]

3.1.2 Správa farieb

Správa farieb je proces, ktorý pomáha dosiahnuť predvídateľné a konzistentné farby. Technológie zaoberajúce sa problematikou spracovania farieb sú často neznáme aj skúseným používateľom a grafikom. Preto by sme v tejto časti radi poukázali na kľúčové technológie a osvedčené postupy používané vo filmovej a televíznej distribúcií.

Proces začína vyhodnotením zariadení. Obrázky vytvárame pomocou fotoaparátu, kamery alebo grafického softvéru. Cielime ich na displej počítača, televízoru alebo projektora. Rozdiel farebných priestorov zariadení môžeme demonštrovať na príklade, kde snímku natočíme na RED EPIC kameru, záznam spracujeme na kvalitnom monitore a výstup zobrazíme na domácom kine.

Kľúčom je pochopenie možností a obmedzení každého zariadenia počas tohto reťazca zobrazovania. Na základe toho je potrebné prispôbiť svoju produkciu. Tento proces zahŕňa kombináciu profilovania, kalibrácie a kontroly softvéru. Pri filmoch je najviac obmedzujúcim zariadením projektor alebo displej domáceho kina. Takže tento proces je pomerne jednoduchý a univerzálny.

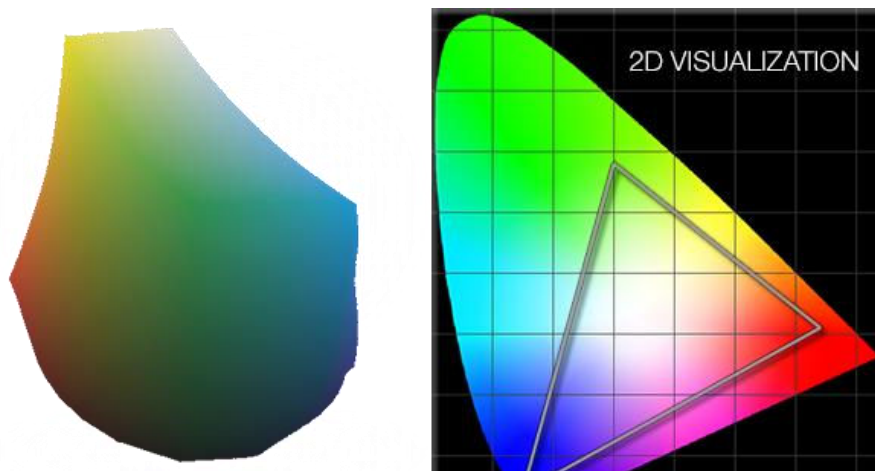
Schopnosť zariadení²¹ kvantifikovať a zviditeľniť obraz sa nazýva farebný priestor, ktorým je trojrozmerná oblasť obsahujúca všetky vyrobiteľné farby. Tie sú zvyčajne definované tak, že horizontálne a vertikálne smery popisujú zmeny sýtosti a jasú.



Obrázok 22 Správa farieb naprieč zariadeniami

²¹ Obrázok 22: <http://www.red.com/learn/red-101/cinema-color-management>

Aby sme si farebné priestory dokázali ľahšie predstaviť, sú typicky reprezentované dvojrozmerné s 50% jasom. Farby v pozadí sú kvalitatívne a zobrazujú referenčný priestor nezávislý na zariadení s plnou škálou farieb ľudskeho zraku.



Obrázok 23 3D farebný priestor(vľavo) a zaužívané zobrazenie(vpravo)

Prakticky každý displej alebo projektor vytvára snímky kombináciou primárnych farieb v rôznych pomeroch a intenzitách. Primárne farby sa líšia a určujú najextrémnejšie farby aké dané zariadenie dokáže zobrazit'. Pretože väčšina displejov používa tri základné farby, ich farebný priestor sa dá zobrazit' tromi vrcholmi ako trojuholník.

Farebné priestory sú najsilnejšie, keď sú použité na odhalenie reprodukovateľnosti farieb medzi dvoma alebo viacerými zariadeniami. Pri prechode z väčšieho na menší farebný priestor nebudú všetky farby reprodukovateľné a budú musieť byť stlačené do menšieho farebného priestoru. Tento proces sa nazýva "gamut mapping" a môže mať vplyv na medzil'ahlé farby a prechody v sýtosti farieb. Už z toho vyplýva, že gamut je dosiahnuteľná oblasť farieb v určitom farebnom priestore. Odhadnúť, kedy toto mapovanie nastáva, vyžaduje zoznámenie sa so štandardnými farebnými priestormi²² používanými v digitálnej kinematografii. Medzi ne patria:

ITU Rec.709 je medzinárodný štandard farieb HD televízie. Má relatívne malý gamut a je relatívne zhodný s bežne používaným farebným priestorom sRGB pre publikovanie web stránok.

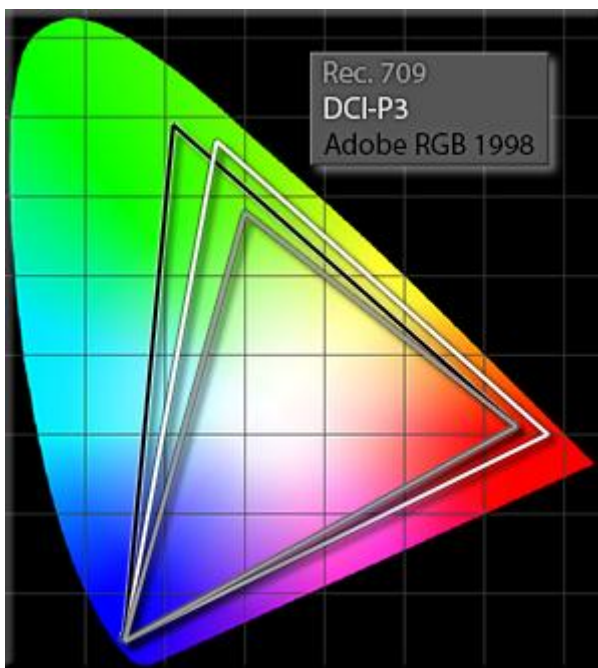
DCI-P3 je novší štandard pre digitálne premietanie filmov. Bol navrhnutý tak, aby priblížil plnú škálu farebného filmu. Jeho gamut je teda pomerne veľký a má výraznejšiu zelenú a červenú v porovnaní s Rec.709.

²² Obrázok 23: <http://www.red.com/learn/red-101/cinema-color-management>

Adobe RGB 1998 je štandard používaný primárne pre fotografie a obrázky vo vydavateľskom svete. Je taktiež relevantným štandardom do kín, pretože mnoho z kvalitných počítačových displejov sa úzko približuje k tejto škále farieb.

CIE XYZ je priestor nezávislý na zariadení. Kládne si za cieľ obsiahnuť všetky farby postrehnuteľné ľudským okom z vedeckej štúdie z roku 1931. Iné farebné priestory sa zvyčajne zobrazujú ako podmnožiny tohto priestoru. Je to štandardné kódovanie pre DCI kompatibilné kinoprojektory a je vhodný pre distribúciu, pretože zahŕňa prakticky akékoľvek výstupné zariadenia.

Ako digitálne kamery a fotoaparáty spadajú pod vyššie



Obrázok 24 Najpoužívanejšie štandardy farieb

uvedené farebné priestory? Mnohé z kamier a fotoaparátov dokážu produkovať snímky so širokou škálou farieb. Eventuálne gamut je obmedzením farebného priestoru, ktorý sa používa počas úpravy farieb, nie je to obmedzenie samotného zariadenia. Trojuholníkové farebné priestory sú primárne určené pre zobrazovacie zariadenia. Snímacie zariadenia majú rozsiahlejšie farebné rozlíšenie a dokážu tvoriť RAW súbory, ktoré majú nižší šum a lepší dynamický rozsah farieb.

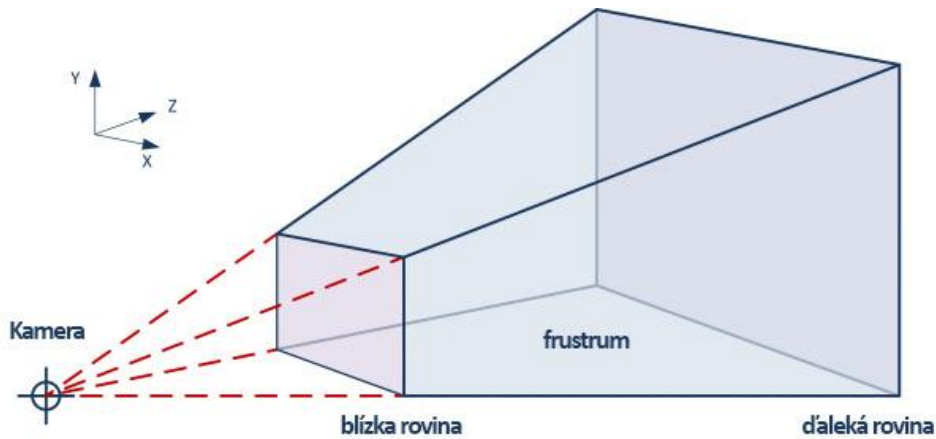
Štandardný postup pri spracovaní farieb pre kiná zahŕňa prevod medzi dvoma alebo viacerými farebnými priestormi²³.

V stereoskopii sa často využívajú 3D objekty v spojení s reálne získaným materiálom. Výsledkom je fakt, že softvér a kamera môžu pracovať pod iným farebným priestorom. Pre uľahčenie a sprehl'adnenie práce, firma Sony Pictures Imageworks (SPI) vytvorila nástroj ColorOpenIO neskôr ako OCIO(OpenColorIO). OCIO umožňuje farebné transformácie a zobrazenia obrazu. Na rozdiel od iných riešení OCIO sa zameriava na postprodukcii moderných filmov a snímok s dôrazom na vizuálne efekty. Je nezameniteľným pomocníkom aj pri spracovaní stereoskopických záberov z dvoch kamier ako aj pomocou grafických editorov. [24][25][27][28]

²³ Obrázok 24: <http://www.red.com/learn/red-101/cinema-color-management>

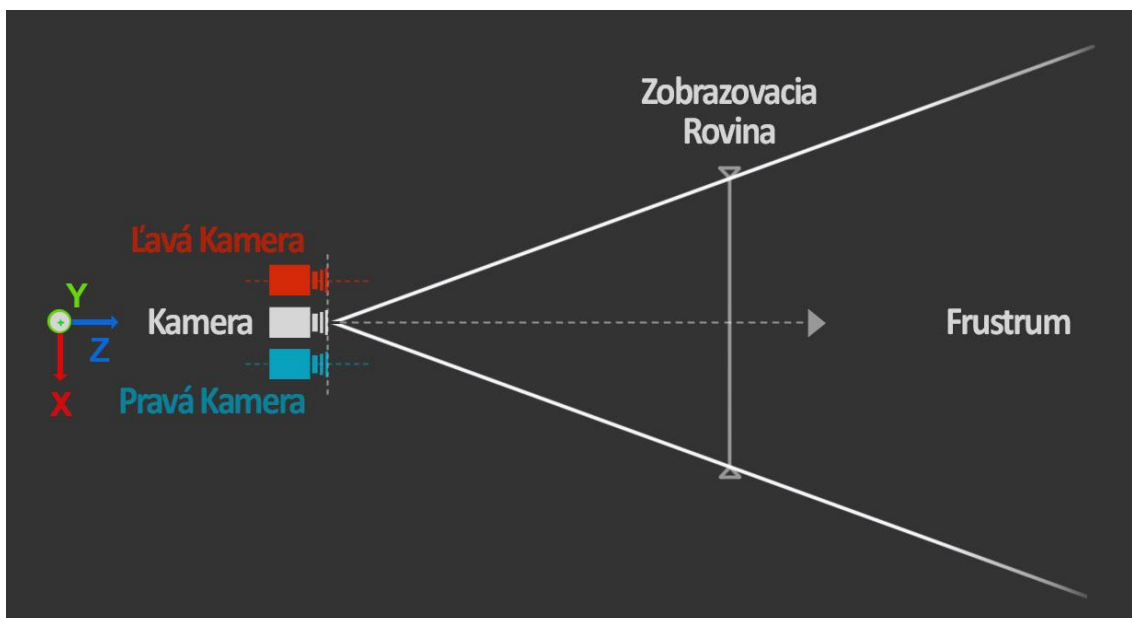
3.2 Stereo projekcia

Projektívny priestor kamery²⁴ vieme zobrazit' ako frustrum kamery. Frustrum kamery má tvar zrezaného ihlanu. Jeho podstava symbolizuje virtuálnu obrazovku. Plochu na ktorú sa projektuje výsledný obraz.



Obrázok 25 Frustrum kamery prezentované zrezaným ihlanom

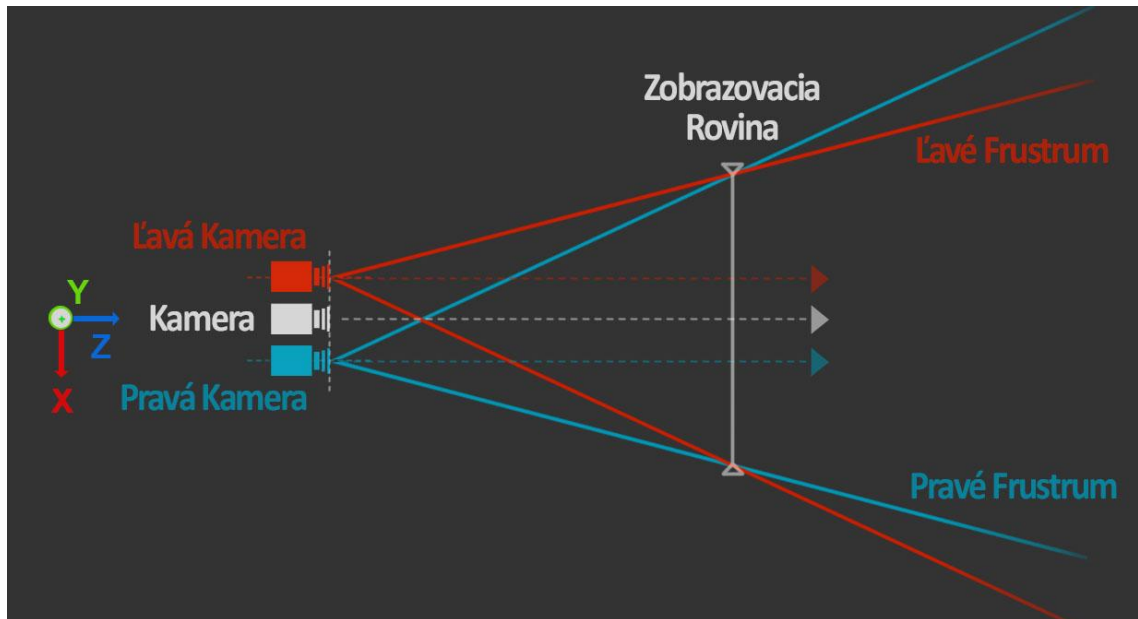
Už vieme, že pre zobrazenie stera potrebujeme dve kamery v istej vzájomnej vzdialenosti. V digitálnej stereoskopii projekčná matica pre zachytenie stera vyplýva z horizontálneho posunu projekčnej matice centrálnej kamery. Tento posun je udávaný ako posunutie ľavého aj pravého oka pozdĺž osi X.



Obrázok 26 Projekcia centrálnej kamery na rovinu

²⁴ Obrázok 25: http://murlengine.com/tutorials/en/tut0101_view_frustum.png

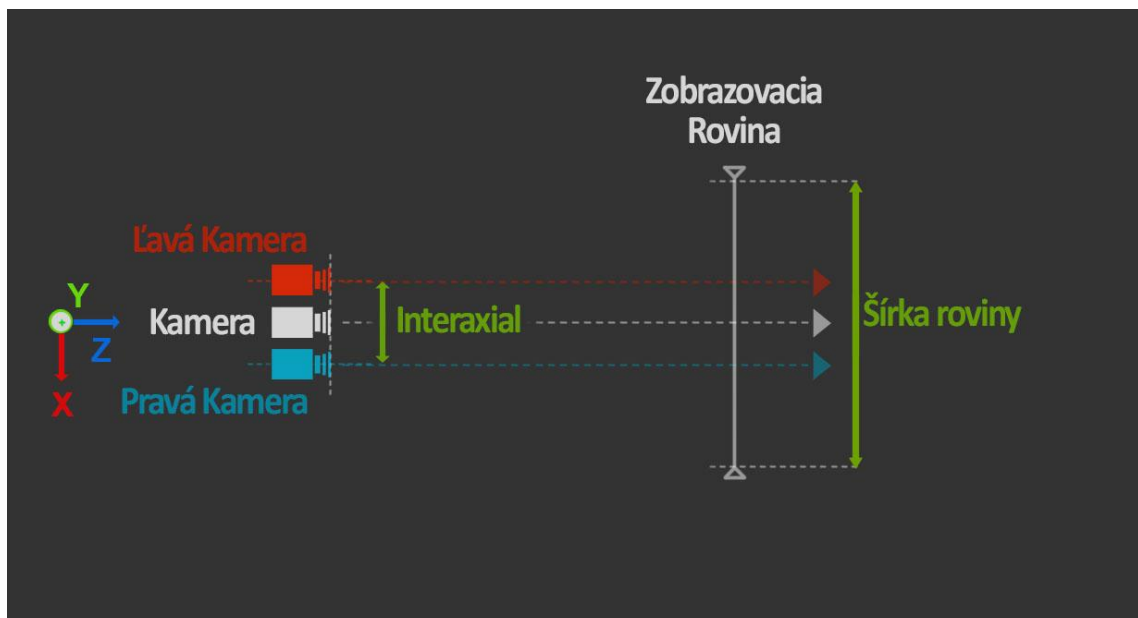
Pre správne stereo, musí byť smer projekcie paralelný s pôvodnou centrálnou kamerou/okom. Ľavé aj pravé frustrum konverguje na zobrazovaciu rovinu.



Obrázok 27 Ľavé a pravé frustrum kamier

Vzdialenosť medzi týmito dvomi virtuálnymi očami nazývame už spomínaným termínom interaxial. Smerovanie všetkých kamier musí byť paralelné.

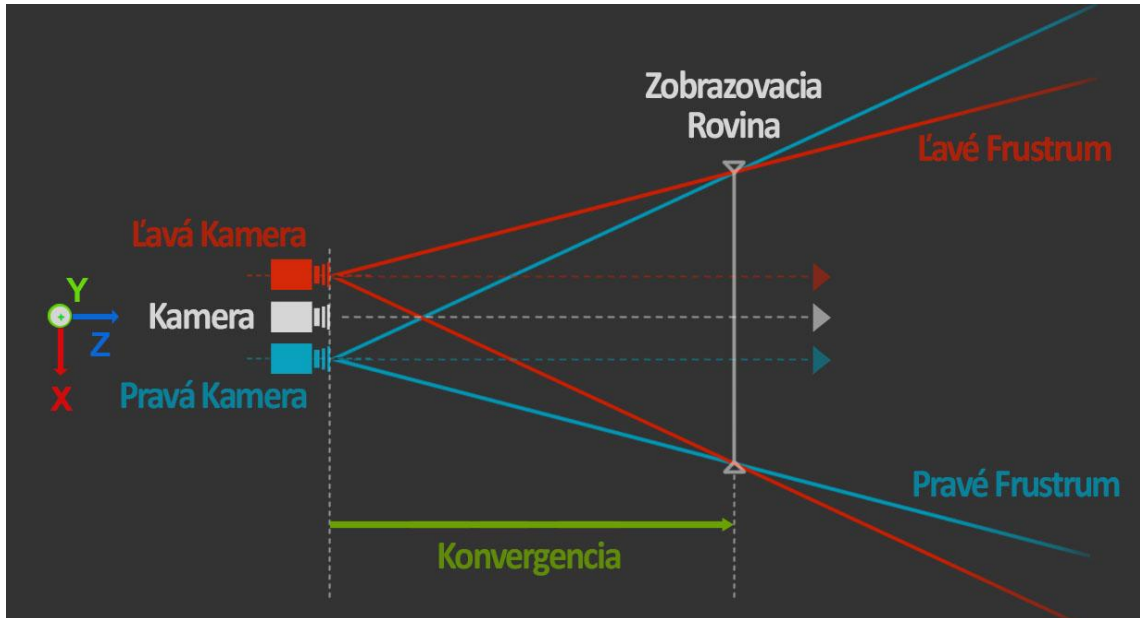
Separácia je normalizovaná vzdialenosť kamier ku šírke zobrazovacej roviny.



Obrázok 28 Ukážka vzťahu pre separáciu

$$Separácia = \frac{interaxial}{šírka\ zobrazovacej\ roviny}$$

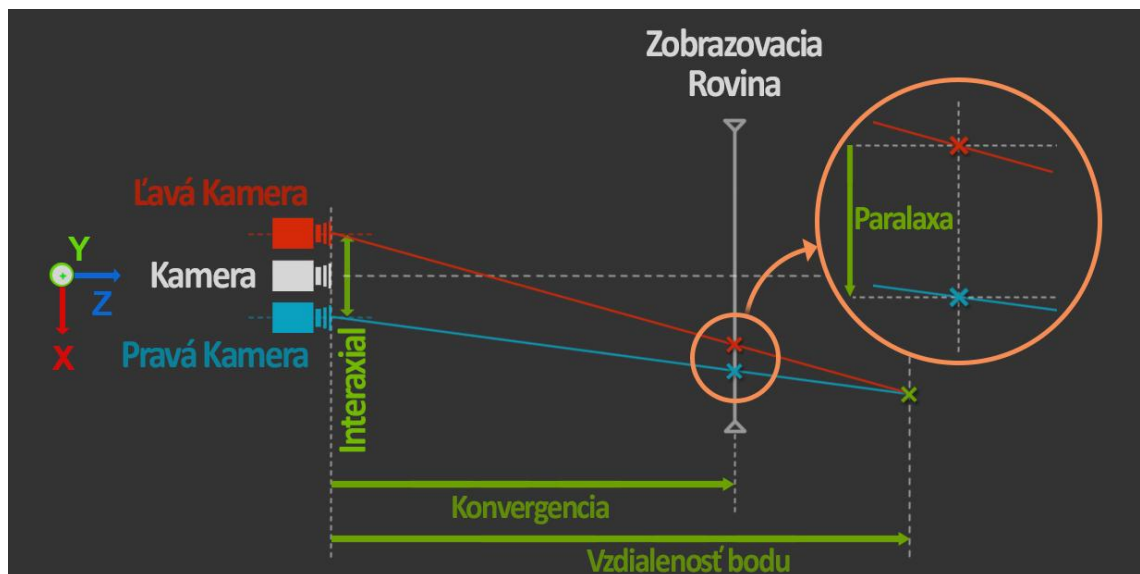
Už vieme, že vzdialenosť očí ovplyvňuje vnímanie hĺbky v priestore. Vieme, že oči konvergujú na pozorovaný bod. V našom prípade virtuálne oči/kamery konvergujú na zobrazovaciu rovinu, ktorá môže predstavovať virtuálnu obrazovku. [29]



Obrázok 29 Kamery konvergujú na zobrazovaciu rovinu

3.3 Paralaxa

V digitálnom svete rozpoznávame paralaxu ako vzdialenosť projekčných pozícií na zobrazovacej rovine. Tieto body vznikli projekciou jedného bodu v priestore na rovinu pomocou ľavého a pravého oka. Viac napovie nasledovný obrázok.



Obrázok 30 Paralaxa ako posunutie bodu v dvoch snímkach

Paralaxa je nutnou vlastnosťou všetkých stereo záznamov. Už na pohľad sa dá pozorovať odchýlka pri prekrytí ľavého a pravého obrazu. Zjednodušene povedané, paralaxa je odchýlka ľavého a pravého obrazu na zobrazovacej rovine teda na našej virtuálnej obrazovke.

Rozlišujeme pozitívnu, nulovú a negatívnu paralaxu.

Pozitívnu paralaxu pozorujeme pri nenulovej odchýlke medzi bodmi ľavého a pravého záberu. Poukazuje na objekty, ktoré majú byť za zobrazovacou rovinou. Obraz je posunutý vľavo pre ľavé oko a vpravo pre pravé oko. To znamená, že ak je hĺbka objektu v priestore ďalej než konvergencia očí, tak nastáva pozitívna paralaxa a objekt sa zdá byť v diaľke za obrazovkou.

Pri nulovej odchýlke bodov ľavého a pravého záberu pozorujeme **nulovú paralaxu**. Pre ľavý aj pravý pohľad očí sú objekty v rovnakej pozícii. Inak povedané, pokiaľ je objekt v priestore v oblasti konvergenencie, nastáva nulová paralaxa a objekt sa zdá byť na obrazovke.

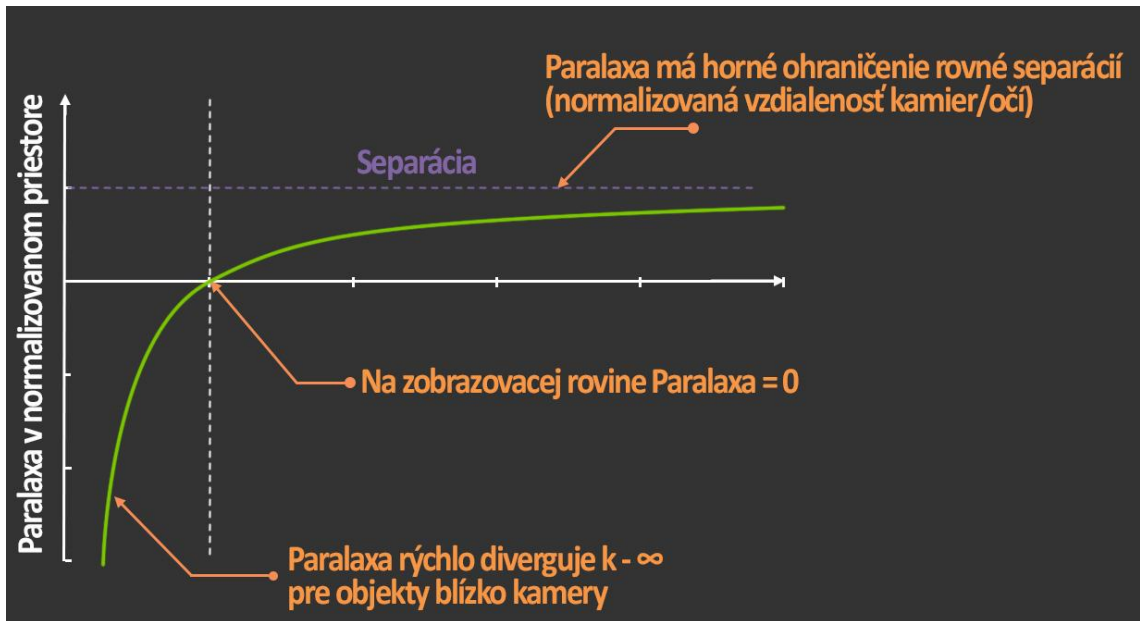
Negatívna paralaxa nastáva v prípade, ak je spomínaná odchýlka nenulová a zároveň poloha objektov v zábere je opačná. Obraz je posunutý doprava pre ľavé oko a doľava pre pravé. V prípade, že objekt je bližšie v priestore než nastáva konvergencia, pozorujeme negatívnu paralaxu a objekt zdanlivo vystupuje z obrazu bližšie k nám. [5][21][29]

Schopnosti akomodácie, konvergenencie a divergenencie očí nám umožňujú vnímať celkovú hĺbku stereoskopických záberov.

Pri tvorbe záberov sa treba vyhnúť extrémnej konvergencii, ako aj samotnej divergencii.

Nasledovný graf podľa [29] ukazuje funkciu paralaxy v normalizovanom priestore v závislosti od vzdialenosti objektu.

$$Paralaxa = Separácia * (1 - Konvergencia/Vzdialenosť)$$

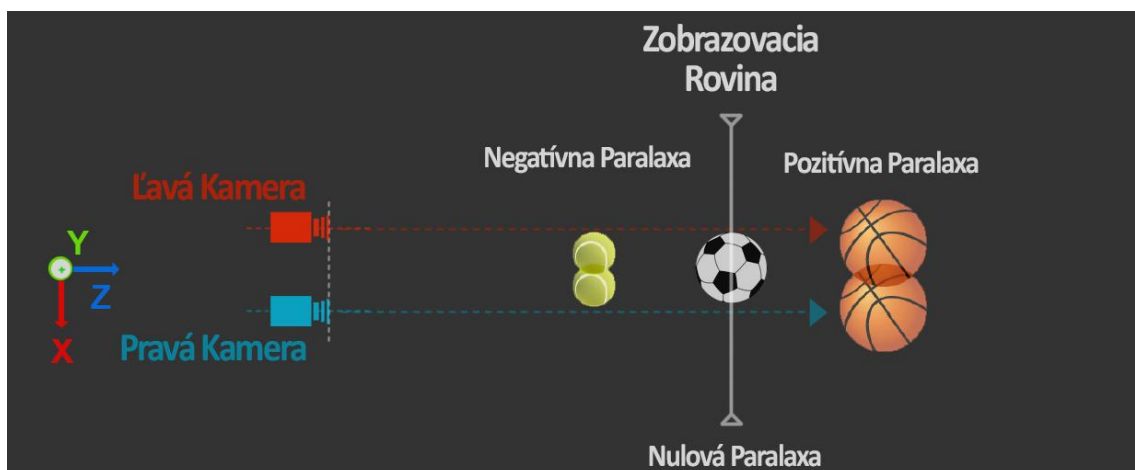


Obrázok 31 Paralaxa v normalizovanom priestore

3.4 Kamerové systémy

Pre vytvorenie stereoskopického hĺbkového dojmu vo filme či fotografii, musíme pozorovať dva mierne odlišné obrazy v rovnakom čase, každý zobrazený jednému oku.

Aby bolo možné zachytiť pohybujúce sa objekty, je potrebné zachytiť v presne rovnakom okamihu dva obrazy. Z toho dôvodu je nutné snímať dvoma kamerami, ktoré sú synchronizované. Kamery musia mať rovnakú geometriu, expozíciu, vyváženie farieb, zaostrenie a synchronizovaný zoom. Okrem toho, že kamery musia byť geometricky presne ustanovené, aby sa minimalizovalo množstvo stereoskopických chýb, musí byť dvojica kamier správne uchytená s horizontálnou odchýlkou (interaxial)



Obrázok 32 Závislosť odchýlky obrazov od pozície objektu (rozlišovanie paralaxy)

s možnosťou pohybovať kamerami vo všetkých osiach. Pre výrobcu 3D filmu je taktiež potrebné, aby sa horizontálna odchýlka dala nastavovať pomocou diaľkového ovládania. Stroje, ktoré držia kamery musia mať vysokú stabilitu, aby sa nedeformovali pri pohybe, napríklad pri záberoch zo žeriavu. V opačnom prípade by sa mohlo ovplyvniť alebo zničiť zarovnanie kamier. V dôsledku riešenia týchto problémov, mnohé firmy navrhli pomocné prístroje, ktoré držia kamery a ponúkajú možnosti čo najlepšej manipulácie s kamerami. Tieto stroje sa nazývajú 3D rig.

Podľa [30] je **3D rig** zariadenie pre montáž dvoch samostatných kamier dohromady do jedného 3D-systému pre nahrávanie stereoskopických filmov a obrázkov.

Všeobecne existujú dva typy 3D rigov: paralelné a zrkadlové.

Paralelný 3D rig - kamery sú uchytané paralelne²⁵. Vzhľadom k fyzickej veľkosti objektívov, je ťažké dosiahnuť malú horizontálnu odchýlku. Je vhodný najmä pre zábery krajín alebo športových vysielaní. Nemožno tvoriť blízke zábery kvôli vyššie spomínanej obmedzenej minimálnej vzdialenosti kamier.

Výhodou paralelných rigov kamier je hlavne jednoduchá stavba týchto rigov, ktoré sú konštrukčne jednoduchšie, a preto aj lacné. Poskytujú taktiež väčšie možnosti ovládania horizontálnej odchýlky kamier, pričom môžu byť kamery ďalej od seba než v zrkadlových sústavách.



Obrázok 33 Paralelný 3D rig

Zrkadlový 3D rig používa súpravu kamier. Jedna je umiestnená horizontálne a druhá vertikálne. Polopriehľadné zrkadlo odráža scénu do zvislej kamery pričom umožňuje horizontálnej kamere vidieť cez zrkadlo. Zrkadlo je krehké, náchylné na prach a znižuje svetelnosť objektívu o jedno clonové číslo a vyžaduje prevrátenie obrazu z jednej kamery. Dodatočne sú nutné farebné korekcie záberov.

²⁵ Obrázok 33:

http://stereotec.com/wordpress/wp-content/uploads/2011/06/stereotec_5MB_sbs_mini.jpg

Výhodou týchto systémov je možnosť veľmi malých odchýlok kamier prakticky až na nulu. Zrkadlové rigy²⁶ sú veľmi vhodné na blízke zábery. Nevýhodou je starosť o ďalšie zložitejšie zariadenia náchylné na poškodenie a prah. Cena je taktiež omnoho vyššia. Zariadenie obsahuje špeciálne zrkadlo, ktoré rozdeľuje lúče svetla na dve kamery. Zrkadlá musia byť dostatočne veľké a kvalitné, inak môžu produkovať nezhody vo farbách a iné stereoskopické chyby. [5][30]



Obrázok 34 Zrkadlový 3D rig

Momentálne sa najčastejšie používajú 3 typy kamier. Nasledovný text poukáže na najpoužívanejšie značky kamier vo filmovom priemysle. Najznámejšia z nich, používaná pre svoje vynikajúce rozlíšenie a kvalitu do IMAX kín, je **4K IMAX 3D kamera**²⁷. Tvorcovia vytvorili jedno relatívne ľahké telo, ktoré obsahuje vymeniteľné objektívy, pričom dvojica objektívov je reprezentovaná ako jedna súčiastka. IMAX kamery sú veľmi populárne a história ich firmy zaručuje kvalitu. Kamery IMAX stáli na zrode filmov ako *Transformers*, *Avatar*, *Avengers* a iné. [31]

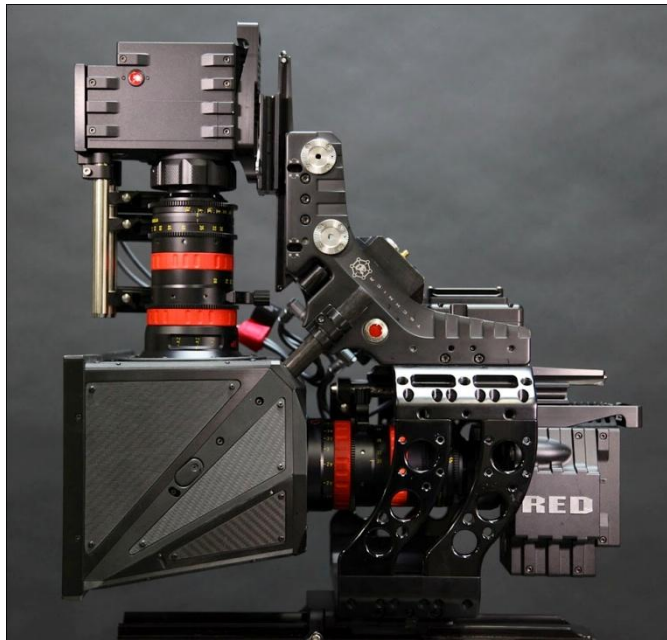


Obrázok 35 4K IMAX 3D kamera - paralelné postavenie objektívov

²⁶ Obrázok 34: <http://www.hurricane-rig.com/wp-content/uploads/2011/02/front-left-view.jpg>

²⁷Obrázok 35: http://nofilmschool.com/sites/default/files/styles/article_wide/public/uploads/2014/06/Michael-Bay-IMAX.jpg?itok=hawtp_Vv

K veľikánom digitálnych kamier patrí firma **RED**²⁸, ktorá má množstvo kvalitných kamier s veľkou ponukou objektívov aj 3D rigov. V tomto prípade je na rozdiel od IMAX 3D kamery nutné vlastniť dvojicu RED kamier a zapojiť ju do 3D rigu. Na tieto kamery sa točilo veľké množstvo filmov, z ktorých pripomeniem snímky ako *Hobbit* či *Pacific Rim*. [32]



Obrázok 36 RED kamera v zrkadlovom 3D rigu

Treťou kamerou je **ALEXA**²⁹. Je to menej známa kamera, no napriek tomu sa na ňu natáčalo a stále natáča množstvo snímok počnúc *Guardians of Galaxy*, *Gravity* (výherca Oscara za vizuálne efekty), *Birdman* a množstvo iných. [33]



Obrázok 37 ALEXA v zrkadlovom 3D rigu

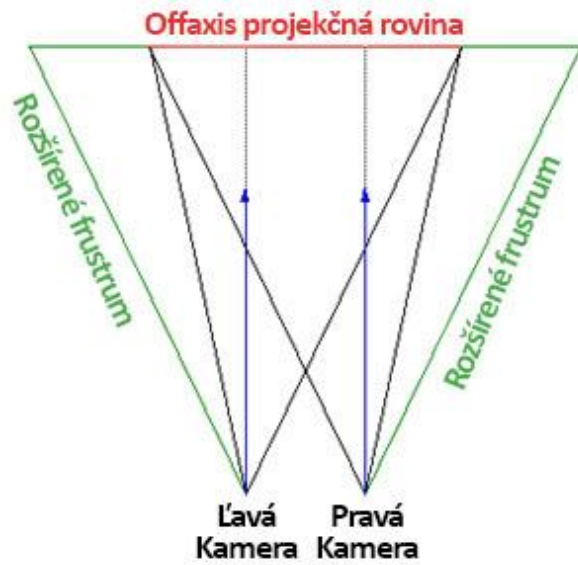
3.5 Virtuálne kamery

Ako aj u reálnych kamier, tak aj u virtuálnych existuje niekoľko metód zoskupenia dvojice kamier a renderovania dvoch párov obrazov. Keďže množstvo metód produkuje

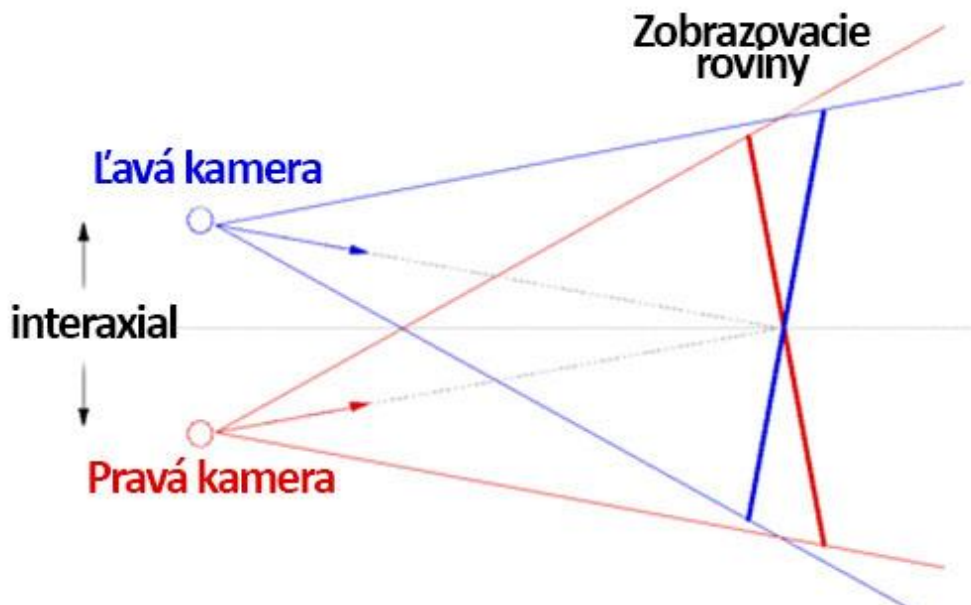
²⁸ Obrázok 36: <https://i1.creativecow.net/u/1/element-technica-atom.jpg>

²⁹ Obrázok 37: <https://www.abelcine.com/store/image.php?type=D&id=2538>

nesprávne výsledky prejdeme si najpoužívanejšie z nich. Základnou metódou je rozložiť kamery paralelne. **Paralelné kamery**³⁰ sa síce dajú rýchlo zostaviť. Nevýhodou je potrebné následné orezávanie obrazu. Je nutné renderovať aj nepotrebné časti obrazu, ktoré je následne nutné odstrániť. Výhodou je rýchlosť zostavenia takéhoto virtuálneho 3D rigu. Nevýhodou je potreba dodatočného odstraňovania častí obrazu a teda aj nutnosť renderovania do vyššieho rozlíšenia.



Obrázok 38 Paralelné kamery



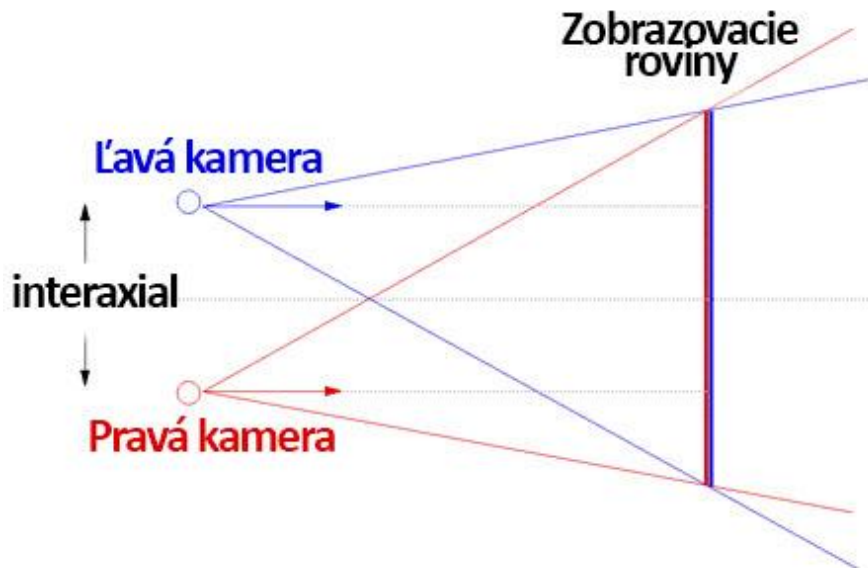
Obrázok 39 Toe-In kamery

Príkladom nesprávnej, ale používanej metódy je **Toe-in**³¹. Hoci produkuje chybné výsledky, je to stále často používaná metóda. Toe-in je populárne pre nižšie náklady a je jednoduchšie ako paralelné kamery, ktoré vyžadujú následné orezávanie obrazu. Pri tejto projekcii majú kamery rovnaké nastavenia, pričom obe kamery sú zamerané na jedno ohnisko. Snímky vytvorené metódou Toe-in produkujú stereoskopiu, ale vertikálna paralaxa zvyšuje diskomfort.

³⁰ Obrázok 38: <http://paulbourke.net/stereographics/stereorender/diagram2.gif>

³¹ Obrázok 39: <http://paulbourke.net/stereographics/stereorender/toein.gif>

Zatiaľ jediná korektná metóda sa nazýva **Off-axis**³². Nevytvára vertikálnu paralaxu a vytvára menej stresujúce stereo snímky. Vyžaduje však nesymetrické kamerové frustrum, ktoré je podporované niekoľkými renderovacími balíkmi, najmä tými, ktoré sú založené na OpenGL. Doteraz sme sa zaoberali kamerami, ktoré mali symetrické frustrum. Ak zvažíme, že každé oko(kamera) má trochu iný pohľad na svet a frustrá kamier sú nesymetrické(často nazývané offaxis frustrum), dokážeme zobrazit' stereo snímky pomocou dvojice kamier bez potreby orezania snímky. Drvivá väčšina fotoaparátov podporuje len symetrické frustrá, pričom špeciálne kamery musia mať nastavenia umožňujúce vybočiť os objektívu.



Obrázok 40 Offaxis kamery

Podľa [34][35] možno vytvoriť asymetrické frustrum tým, že vytvoríme paralelné kamery a odstránime stĺpce z každej snímky, s cieľom vytvoriť požadovanú projekciu. Potrebujeme vypočítať presnú hodnotu, akú si môžeme dovoliť odstrániť zo snímok. Tá môže byť vypočítaná pomocou údajov o odchýlke kamier(interaxial) a konvergenčnej vzdialenosti, čiže vzdialenosť kamier k nulovej paralaxe. Veľkosť odrezku *delta* a nový fov' kamery je definovaný nasledovne:

$$delta = \frac{interaxial * w}{2 * konvergencia * \tan(fov/2)}$$

³² Obrázok 40: <http://paulbourke.net/stereographics/stereorender/offaxis.gif>

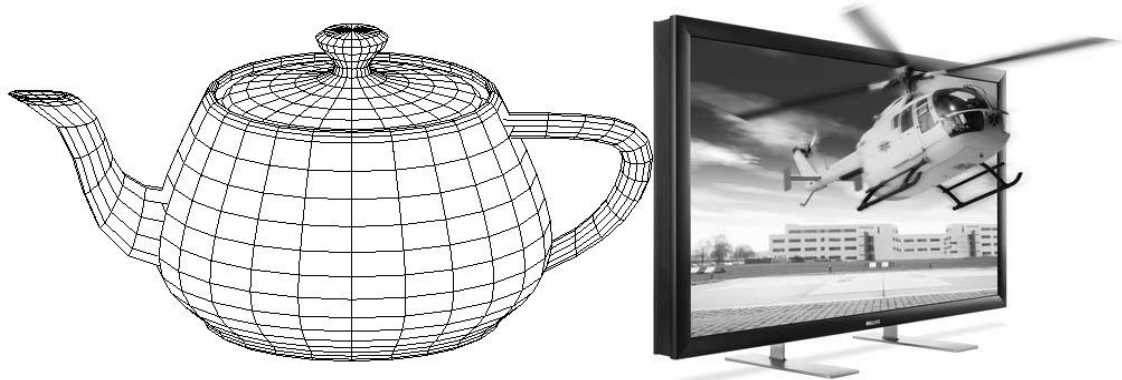
$$fov' = \frac{(w + delta) * \tan(fov/2)}{w}$$

Vo vzťahu počítame *delta* reprezentujúcu šírku orezu obrazu. Použitím odchýľky kamier interaxial, požadovanej šírky obrazu(*w*) a zorného poľa kamery(*fov*) vypočítame nové zorné pole, ktoré je nutné na kamerách nastaviť.

V nasledovnom texte sa pozrieme na rozdiel medzi 3D grafikou a 3D zobrazovaním. [5][34][35]

3.6 Vizuálne efekty v 3D

Keď sa pozrieme na nasledujúci obrázok, čo je skutočné 3D³³ ? Známa kanvica z Utahu je symbolický 3D model, ktorý sa využíva pri výskume v oblasti počítačovej grafiky.



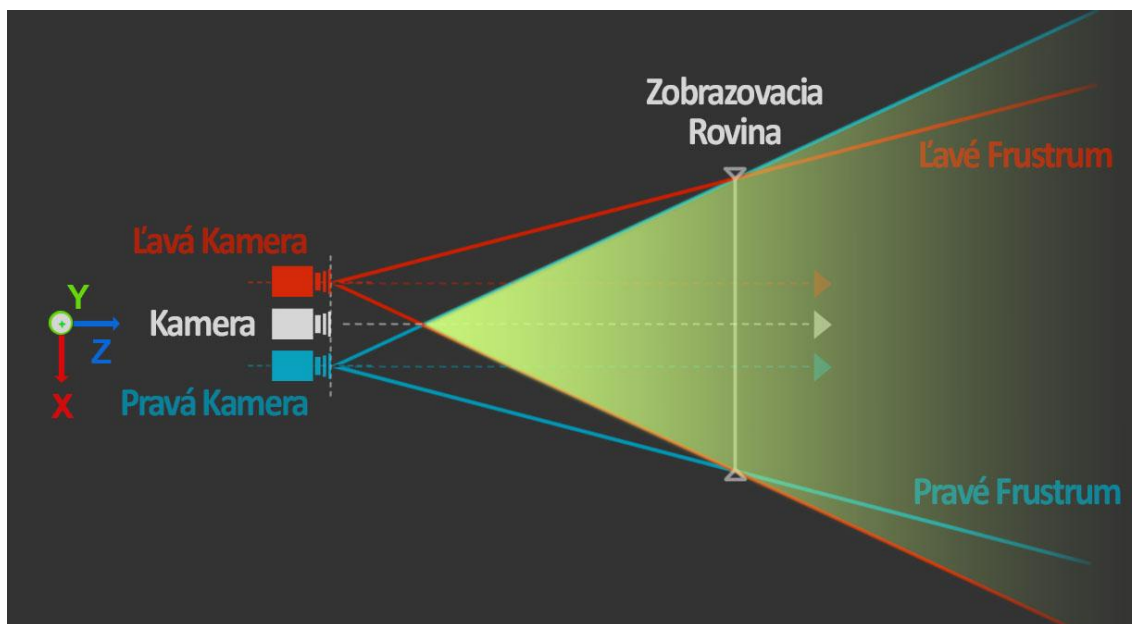
Obrázok 41 Utah teapot(3d objekt) a 3D monitor

Vrtuľník predstavuje akciu, ktorá sa snaží osloviť diváka cez 3D displej. V skutočnosti je taký účinok nemožný a 3D efekt pre diváka vzniká v oblasti medzi ním a obrazovkou. Množstvo vizuálnych efektov vo filmoch sa priamo tvorí pre 3D filmy. Grafici tvoria rôzne elementy, ktoré neskôr zasadzujú do natočených scén. Je potrebné, aby všetci dodržali základné pravidlá pre príjemné stereo a aby boli oboznámení s faktormi ovplyvňujúcimi vnímanie priestorovej hĺbky. Existujú pravidlá, ktoré by mali zaisťiť komfortné a príjemné pozeranie stereoskopických záberov. Niektoré z nich stereo efekt umocňujú a iné zabezpečia komfort pre oči. [5][6][36]

³³ Obrázok 41: [6], <https://www.fourmilab.ch/autofile/www/figures/figure2587.gif>

3.6.1 Vnímanie priestorovej hĺbky

Vnímanie hĺbky je závislé na niekoľkých faktoroch. Aby jej vnímanie bolo pohodlné, je dôležité netvorit' extrémne paralaxy. Pre dosiahnutie príjemného pozerania je potrebné vhodné **rozmiestnenie objektov** v scéne. Na obrázku je vidieť priestor, v ktorom objekty budú vplývať na diváka prirodzene a nebudú spôsobovať nepríjemné pozeranie.



Obrázok 42 Priestor vhodný pre umiestnenie objektov pre príjemné stereo

Ďalším nepísaným pravidlom je voľba odchýlky kamier. Je zrejmé, že čím je odchýlka väčšia, tým je väčší stereo efekt. Existujú dve možnosti, ako správne určiť **interaxial**:

1. Použijeme vzdialenosť ľudských očí.
2. Interaxial vypočítame vzhľadom k veľkosti objektov v scéne.

Prvá možnosť nám poskytne korektný zážitok ako z reálneho sveta. Funguje vo väčšine prípadov vo fotografii a v renderovaní scén v reálnej mierke.

Druhá možnosť nám poskytuje možnosť ovplyvňovať hĺbkový dojem na základe veľkosti objektov. Vhodné pri točení miniatúr a veľkých scén.

V tomto prípade sa využíva najznámejšie pravidlo nazývané "**rule of thumb**". Je to pravidlo pre bezpečné stereo. Podľa tohto pravidla interaxial nesmie byť väčší ako $1/30$ vzdialenosti k najbližšiemu objektu. V skratke ak je objekt, ktorý točíme vzdialený 2 metre, interaxial nezvolíme väčší ako 6,5 centimetra.

$$\text{Interaxial} = \frac{\text{Minimalna vzdialenosť objektu}}{30}$$

Ďalšie pravidlo nám umožní kontrolovať paralaxu za pomoci určenia **pozorovacej vzdialenosti**. Cieľom je poskytnúť čo najhlbší efekt s najnižšími hodnotami paralaxy. Toto čiastočne dosiahneme znížením odchýlky kamier. Zároveň efekt ovplyvňuje vzdialenosť pozorovateľa od zobrazovacieho zariadenia ako aj veľkosť obrazovky/plátna. Nedodržanie pravidla vedie k diskomfortu až bolesti hlavy. Musíme sa vyhnúť divergencii očí diváka, a preto pozitívna paralaxa nesmie presiahnuť hodnoty vzdialenosti očí pozorovateľa. Podľa pravidla o kontrole paralaxy sa neodporúča presiahnuť paralaxu zvierajúcu s očami diváka viac ako o 1,5 ° uhol³⁴. Z toho vyplýva, čím ďalej je divák od obrazovky tým väčšia môže byť paralaxa. To je potrebné dodržať hlavne v kino sálach.

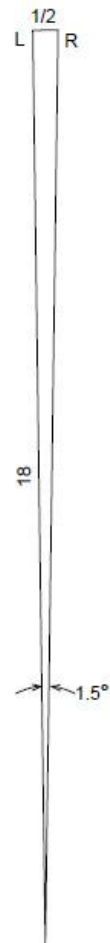
Veľkosť zobrazovacieho zariadenia rapídne ovplyvňuje vnímanie hĺbky. Všeobecne platí, že zmenšovanie obrazovky komprimuje rozsah hĺbky, zatiaľ čo zväčšovanie obrazovky rozširuje rozsah hĺbky. Základný vzťah pre vnímanie hĺbky objektu:

$$d = \frac{e * D}{e - s}$$

s - paralaxa na obrazovke

D - vzdialenosť k obrazovke

e - interaxial(odchýlka očí)



Obrázok 43
Pravidlo 1,5 °

Zo vzorca vyplýva, že čím ďalej je divák od obrazovky a čím je obrazovka väčšia, tým väčší je stereo zážitok. V skratke, ak chceme, aby objekty vyzerali obrovské, sadnime si dozadu v kine. Ak ich chceme vidieť zblízka tak si sadnime do prednej časti kina. [5][6][17][21][29][34][35][37]

³⁴ Obrázok 43: [37]

3.7 Vplyv stereoskopie na organizmus

Stereoskopia sa snaží ovplyvniť mozog vo vnímaní hĺbky. Na oči aj mozog je to v podstate dvojité záťaž. Každé oko vníma trochu iný snímok a mozog sa to snaží spracovať a ovplyvniť. Existujú ľudia, ktorým pozorovanie spôsobuje bolesti hlavy, závrate a iné problémy. Taktiež je určité percento ľudí, ktorí 3D efekt nevidia. Je to špeciálna porucha, ktorá zapríčiňuje, že si stereoskopický efekt v kine neužijete.

Podľa [38] pozorovanie 3D filmov môže zvýšiť symptómy nevoľnosti, dezorientácie najmä u žien s vnímavým vizuálno-vestibulárnym systémom. Sú nutné potvrdzujúce štúdie zahŕňajúce vyšetrenia klinických príznakov divákov, aby sa našli nezvratné dôkazy o účinkoch 3D filmov. Štúdia na Eindhoven University of Technology v Holandsku našla približne 17% subjektov vykazujúcich príznaky nevoľnosti po vystavení 3D textu vo vzdialenosti troch metrov. Dôvod je jednoduchý. Mozgu vravíme očami, že sa telo pohybuje, napriek tomu vestibulárny systém vo vnútornom uchu a receptory v kĺboch vravia, že sedíme v pokoji. Zmätok vedie k vyššie uvedeným vedľajším účinkom. Nevyplývajú z toho však nepriaznivé zdravotné následky. Dôležité je, aby bola snímka natočená podľa pravidiel komfortného stera, aby nespôbovalo diskomfort pri pozeraní. Neodporúča sa sledovanie 3D filmov deťom do troch rokov, pokiaľ nie sú oči a pozorovacie schopnosti vyvinuté úplne. Iné štúdie neodporúčajú časté sledovanie 2D a 3D filmov nie len deťom, ale aj mladším tínedžerom. [38][39][40]

4 Zobrazovanie stereoskopie

Existuje veľké množstvo prípadov použitia stereoskopie. Z toho vyplýva aj nutnosť existencie rôznych zariadení, ktoré stereoskopiu zobrazia. Spomenuli sme prvé zobrazovacie zariadenie - stereoskop pre prezeranie páru obrázkov. Keďže so stereoskopiou sa môžeme stretnúť doma, v kine, na festivaloch a rôznych iných miestach, pozrieme sa najprv na najčastejšie vyskytujúce sa chyby v zobrazovaní.

4.1 Chyby zobrazovania

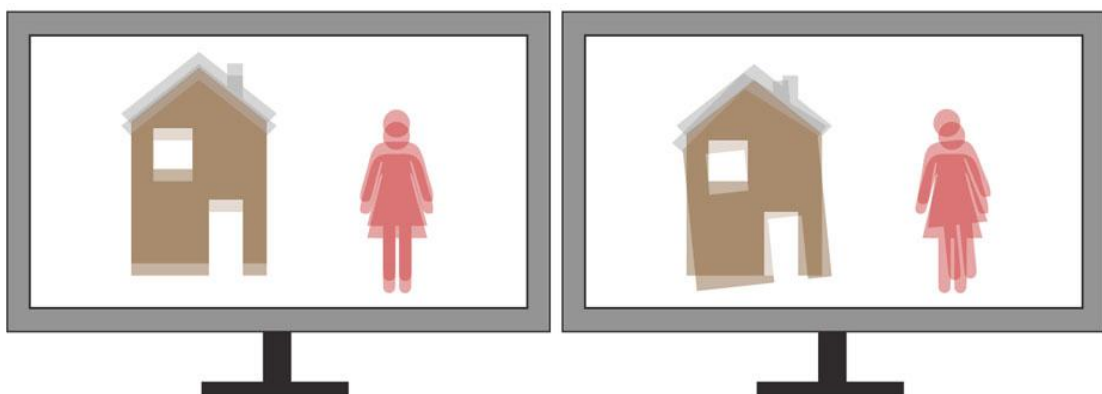
Chýb sa dopúšťajú ľudia i zariadenia. Aj preto je potrebné, byť oboznámený s možnými chybami, ktoré sa môžu vyskytnúť pri stereoskopii. Vedieť ich identifikovať a odstrániť. Každá chyba môže mať za následok nepríjemný obraz. V stereu to platí dvojnásobne. Môžu prispieť k nekonzistencii obrazu a spôsobiť nepríjemné pozeranie, bolesti očí a hlavy. Medzi základné chyby patrí:

Vertikálne vychýlenie

S vertikálnym posunutím snímok sa naše oči snažia zachytiť konzistentný obraz, musia pohybovať v zvislom smere od seba. Jedná sa o neprirodzený a veľmi nepríjemný pohyb pre naše oči.

Rotačná chyba³⁵

Kamerové posunutie môže nastať chybou vo forme otočenia. Chyba je väčšinou najviac viditeľná na okrajoch obrazu.



Obrázok 44 Vertikálne vychýlenie(vľavo) a rotačná chyba(vpravo)

³⁵ Obrázok 44: [21]

Nesúlád priblíženia

V prípade, že kamery majú nastavené rozdielne ohniskové vzdialenosti nastáva nesúlád vo veľkosti medzi ľavým a pravým okom.

Nesúlád farieb

Nastáva v prípade, že kamery nemajú korektnú nastavenú expozíciu a vyváženú bielej.

Retinálna rivalita

Chyba, ktorá zapríčini nekorektnú dvojicu obrazov. Nastáva v prípade, ak sa v jednom obraze objaví nejaký prvok, ktorý v druhom nie je. Jedno oko napríklad vidí odlesk, odraz objektívu alebo iný artefakt a druhé nie.

Pseudoskopia

Tiež známa chyba ako falošné, obrátené stereo. Ľavý a pravý obraz bol medzi sebou zamenený. Pre odhalenie tejto chyby stačí prevrátiť okuliare.

Ghosting/Crosstalk

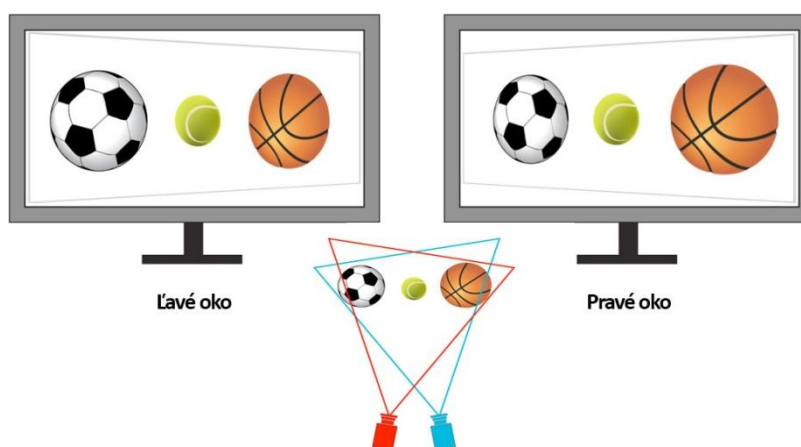
Vzniká únikom signálu medzi očami. Objavuje sa obrázok určený pre ľavé oko čiastočne v pravom oku a naopak. Vyskytuje sa najmä u vysoko kontrastných snímok.

Nesúlád zaostrenia

Rozdielne zaostrenie kamier produkuje dva obrazy s rozdielnym rozostretím a preto nie je možné túto chybu postproduktne opraviť. Záber sa musí natočiť znovu.

Skreslenie(Keystoning)³⁶

Je chyba, ktorá nastáva pri usporiadaní kamier Toe-In. Konvergencia kamier spôsobuje geometrické deformácie snímok. Zosúladením okrajov snímky sa dá skreslenie odstrániť v postprodukcii.



Obrázok 45 Chyba skreslenia pri Toe-In kamerách

³⁶ Obrázok 45: [21]

Porušenie hrany

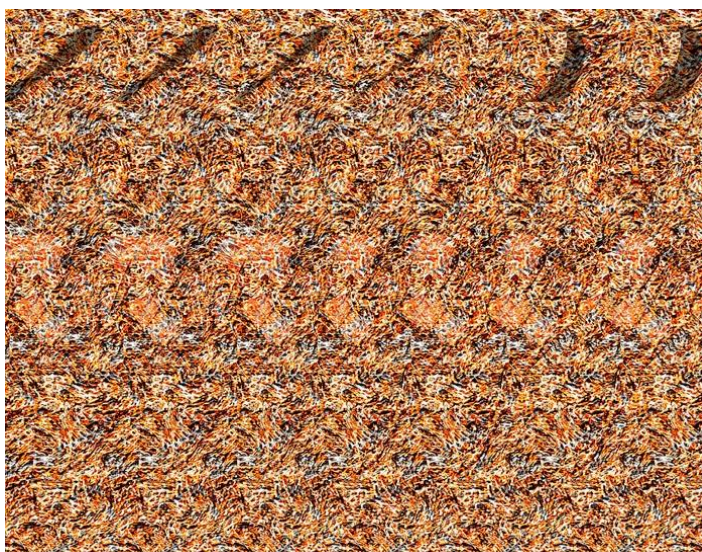
Ak akcia vychádza z obrazovky, čo je dôsledok negatívnej paralaxy a objekty sú odrezané okrajom obrazovky, spôsobuje narušenie hrany. Obraz sa zdá byť pred obrazovkou, napriek tomu je odrezaný rámom. Takže sa zároveň zdá byť za plátnom. Spôsobuje to očiam konflikt. Táto chyba sa rieši nanosením krycej masky na ľavú stranu obrazu a pravú stranu obrazu, čo poskytuje ilúziu, že obrazovka je na vrchu snímky. [5][21]

4.2 Pozorovanie voľným pohľadom

Vidieť stereoskopické obrazy bez špeciálneho displeja alebo okuliarov je veľmi užitočná zručnosť pre stereo grafikov. Verejnosti bol tento proces ukázaný v 90-tych rokoch zverejňovaním stále populárnych kníh autostereogramov s názvom *Magic Eye*. Obraz je skrytý v opakovaných vzoroch. Ľavý a pravý obraz sú ukázané bok po boku, do kríža alebo paralelne. Keď škúlime, tak sa nám v určitom prípade zdajú obrazy ako 3D a objekty sa vznášajú pred nami. Uvoľnením konvergenie očí môžeme vidieť 3D obraz ďalej od nás. S trochou tréningu, si môžeme vytvoriť gestá, ktoré nám umožnia pozerat' 3D voľným pohľadom bez úsilia. [6][41]

4.2.1 Stereogram

Populárna forma voľného pozerania 3D. Je to obrázok navrhnutý tak, aby vytvoril ilúziu hĺbky. Najjednoduchší typ autostereogramu sa skladá z vodorovne opakovaných vzorov. Pri správnom pohľade sa opakujúce sa vzory vznášajú nad alebo pod pozadím³⁷.



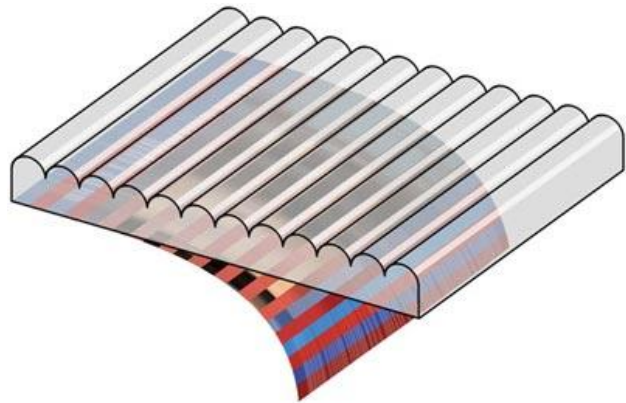
Obrázok 46 Stereogram ruky

³⁷ Obrázok 46: <https://brainbashers.com/gifs/stereo/large20160126a/Hand.jpg>

Stereogramy teda patria k najjednoduchším spôsobom, ako synteticky vytvoriť 3D vnem. Existuje veľa druhov stereogramov. Jeden z najznámejších je SIRD(Single Image Random Dots). Značnou výhodou je skutočnosť, že nepotrebujeme pre sledovanie žiadne zariadenie. Nevýhodou je nedostatok detailov a vizuálnych informácií. [6][41]

4.2.2 Lentikulárny displej

Lentikulárnu tlač³⁸ si môžeme predstaviť ako špeciálne pripravenú grafiku pracujúcu spolu s lentikulárnou bunkou, ktorá umožňuje vidieť rôzne obrazy závisiac od uhlu pohľadu. Lentikulárna fólia je zo strany, na ktorú sa tlačí hladká a z druhej je spravená z lentikúl, ktoré sa správajú ako zväčšovacie sklo a ukážu obraz pod ňou, závisiac od pohľadu.



Obrázok 47 Lentikulárna tlač

Lentikulárny displej funguje na podobnom princípe. Displej je potiahnutý lentikulárnou fóliou. Na obrazovke sa zobrazia dve sady rovnakého obrazu a každé oko vidí len jeden záber, čo mozog spracuje ako trojrozmerný obraz. Nevýhodou týchto displejov sú nízke pozorovacie uhly a časté rozmazanie obrazu. Niektorí ľudia trpia nevoľnosťou pri niekoľko minútovom pozeraní na lentikulárne displeje. [42][43]

4.3 Stereoskopické okuliare

Pozeranie stereoskopických snímok si vo väčšine prípadov vyžaduje zariadenie, ktoré zobrazí snímku a okuliare³⁹, ktoré nám sprostredkujú obraz zvlášť pre ľavé a pravé oko. Na digitálny video prenos sa kombinujú



Obrázok 48 Anaglyfické, polarizačné a aktívne 3D okuliare

³⁸ Obrázok 47: <http://www.imagiam.com/wp-content/uploads/2013/11/plastic.jpg>

³⁹ Obrázok 48: <http://3dvision-blog.com/wp-content/uploads/2010/12/different-stereo-3d-glasses.jpg>

obrazy pre ľavé a pravé oko v jeden tok dát tým, že stlačíme vodorovne obe snímky do formátu *side-by-side(SBS)*. Ten je potom rozšírený zobrazovacím zariadením. Na prezeranie 3D snímok sa používajú nasledovné typy okuliarov.

4.3.1 Anaglyfické okuliare

Tieto okuliare poskytujú alternatívnu metódu prezentovania dvojice obrázkov na ľavé a pravé oko. Ide o pomerne starý prístup, ktorý sme spomenuli v historickej časti tejto práce. Ilustruje základný princíp zobrazovania obrázkov nezávisle na každom oku. Ľavý a pravý snímok je kódovaný pomocou dvoch farieb, zvyčajne červená a azúrová. Okuliare obsahujú filtre s týmito farbami.

Vyznačujú sa zlým podaním farieb, pričom obraz trpí hlavne chybou ghosting/crosstalk. Napriek tomu sú ľahko dostupné, ekonomicky výhodné a používajú sa od tlačovín, on-line materiálov po videá. Anaglyf je možné premietat' pomocou bežného projektoru, sledovať na monitore počítača alebo vytlačiť ako fotku v časopise. [21][44][45]

4.3.2 Pasívne 3D okuliare

Najčastejšie používané okuliare spájané s 3D projekciou. Dnes existuje rada špeciálnych pasívnych 3D monitorov a televízorov. Spoločným znakom tejto technológie sú 3D okuliare, ktoré obsahujú polarizačné filtre. Pretože tieto okuliare neobsahujú elektroniku ani batérie, označujú sa za pasívne 3D okuliare. Pre pasívne 3D potrebujeme dva projektory pracujúce v synchronizovanom režime. Zo zdroja sa potom privádza oddelený obraz pre ľavé oko do jedného projektoru a pre pravé oko do druhého. Pred projektormi je umiestnený špeciálny polarizačný filter, ktorý prepúšťa svetlo len v určenej rovine.

Pre zachovanie polarizácie aj po dopade na plátno je potrebné využívať pri 3D pasívnej projekcii špeciálne upravený povrch plátna. Najčastejšie majú špeciálny strieborný povrch.

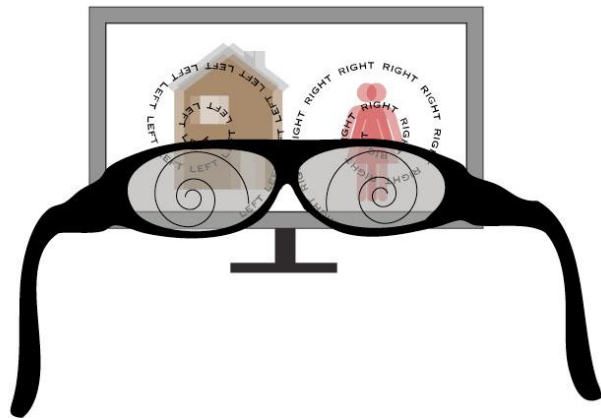
Polarizáciu využívajú aj 3D monitory a 3D televízory. Keďže displej má len jednu zobrazovaciu plochu, pracuje sa s polarizáciou trochu inak. Najčastejšie je na povrch displeja umiestnená prekladaná maska zložená z polarizačných prúžkov, ktoré prechádzajúce svetlo polarizujú v odlišných rovinách.

Ďalej je možné vidieť u monitorov a televízorov **aktívno-pasívnu technológiu**, kde sa sekvenčne zobrazuje obraz pre ľavé a pravé oko a polarizačný konvertor každý snímok polarizuje. Vďaka tomu je možné použiť aj lacné pasívne 3D okuliare a využiť plné rozlíšenie zariadenia.

Polarizácia môže byť lineárna alebo kruhová.

Lineárne polarizované okuliare sa využívajú na polarizované premietanie prezentácií, multimediálnych displejov, koncertov, filmov, simulátorov jász a iných médií. Pri lineárnej polarizácii je nutné sa pozerať kolmo na obrazovku. Nemôžeme teda natáčať hlavu.

Kruhovo polarizované okuliare⁴⁰ sú využívané čoraz častejšie. Fungujú pre pozerať všetkých pasívnych 3D televízorov a všetkých Pixar a Dolby Digital filmov a 1/3 IMAX 3D filmov. Ľavé oko je polarizované v smere hodinových ručičiek a pravé oko je polarizované proti smeru hodinových ručičiek. Okuliare obsahujú kruhový polarizačný filter pre každé oko. Pasívne 3D okuliare sú veľmi lacné na výrobu i kúpu. [21][44][45]



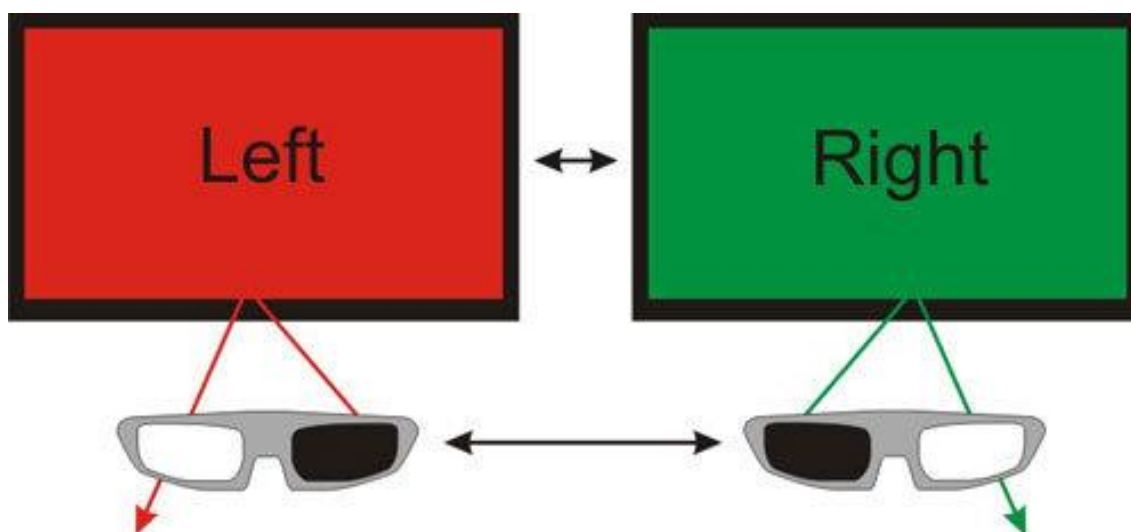
Obrázok 49 Kruhová polarizácia

4.3.3 Aktívne 3D okuliare

S aktívnou stereoskopickou 3D zobrazovacou technológiou sa môžeme stretnúť u 3D projektorov, monitorov a televízorov. Spoločným znakom tejto technológie sú aktívne 3D okuliare, ktoré sú vždy vybavené batériou a elektronikou pre riadené stmavenie jednotlivých očníc. Pretože okuliare vyžadujú napájanie, označuje sa táto technológia ako aktívne 3D. Pre aktívne 3D nám stačí jeden 3D projektor, ktorý pracuje v dvojnásobnej zobrazovacej frekvencii ako obyčajné projektory. Obraz sa privádza v špeciálnom formáte, pričom dátový tok je dvojnásobný, pretože v sebe nesie striedajúce sa obrazy pre ľavé a pravé oko. 3D projektor obrazy spracuje a korektne sekvenčne zobrazí na plátne. Pre oddelenie obrazu slúžia aktívne 3D okuliare, ktoré sú

⁴⁰ Obrázok 49: [21]

dialkovo riadené IrDA signálom. LCD panel v okuliaroch striedavo stmaví očné tak, aby oku bol prezentovaný správny obraz.



Obrázok 50 Aktívna 3D technológia

Na podobnom princípe fungujú aj aktívne 3D monitory či televízory⁴¹. Zobrazovacia jednotka strieda ľavé a pravé snímky a 3D okuliare s batériami sú ovládané infračerveným signálom. Medzi výhody aktívnej 3D technológie patrí kvalita zobrazenia, využitie ľubovoľnej projekčnej plochy a jedného projektora. Aktívne 3D okuliare sú ale výrazne drahšie ako pasívne. Treba ich dobíjať alebo vymieňať batérie. Tieto skutočnosti komplikujú masívne využitie vo veľkých 3D kinách. Aktívne 3D sa ale značne používa pre hranie 3D hier a sledovanie filmov v domácnostiach. [21][44][45]

4.3.4 Virtuálna realita

S nastupujúcim rokom 2016 sa do popredia dostáva množstvo nových technologických vylepšení a aplikácií virtuálnej reality. Ide vlastne o virtuálny zážitok priestoru, ktorý sprostredkuje nejaké zobrazovacie zariadenie. Väčšinou ide o špeciálne umiestnenie displeja na hlavu v podobe headset-u. Virtuálna realita je pohlcujúci zážitok, v ktorom sú prevedené pohyby hlavy do trojrozmerného virtuálneho sveta, takže sa hodí pre hry a filmy. Virtuálna realita prenikla do sveta v 90-tych rokoch a dnes tvorí revolúciu v zábavnom priemysle.

⁴¹ Obrázok 50: <http://cdn2.pcadvisor.co.uk/cmsdata/features/3370867/3D-Active.jpg>

Podľa [43][44] headset⁴² využívajú spoločnosti ako Oculus, Sony, Samsung, Google a zvyčajne vyžadujú tri veci. Počítač, konzolu alebo smartfón k spusteniu aplikácie alebo hry a headset, ktorý zabezpečí displej pred očami(môže byť displej mobilného telefónu) a nejaký vstup ako sledovanie hlavy, regulátory, sledovanie pohybov rúk, hlasu a ovládacie tlačidlá.

Cieľom hardvéru je vytvoriť 3D virtuálne prostredie životnej veľkosti bez hraníc, ktoré monitor alebo televízia jednoznačne má. Takže obrazovka je pripevnená na tvári. Na rozdiel od rozšírenej reality, ktorá rozširuje pohľad skutočného sveta, virtuálna realita vytvára nanovo celé okolité prostredie.



Obrázok 51 Sony PlayStation VR headset

Ďalej môžeme zobrazovať virtuálne prostredie pomocou volumetrických zariadení, ktoré nejakým spôsobom udávajú farbu voxelom(volumetric element). Patrí sem hologram a iné technológie. Niektoré sú vo fáze prototypov a iné nie sú rozšírené kvôli vysokej cene. [46][47][48][49]

⁴² Obrázok 51: <http://www.wearable.com/media/images/2015/06/prototype-03-low-res-14254195450-1434465788-6FUS-full-width-inline.jpg>

5 Návrh tvorby stereo záznamu

Tvorba stereoskopických snímok, videí a grafiky je náročná. Ak dodržíme postupy pre správne stereo, vyhneme sa tak chybám a môžeme vytvoriť snímku, ktorá má priestorovosť a hĺbku.

5.1 Fotografia

Najjednoduchším médiom pre tvorbu sterea je fotografia. Stereofotografia sa tvorí fotoaparátmi prispôbenými na zachytenie stereoskopických snímok. Sú to fotoaparáty obsahujúce dva objektívy. Pre naše účely sme si vybrali foteenie nehybných objektov. V tomto prípade môžeme použiť jeden obyčajný fotoaparát. Pri správnom posunutí fotoaparátu môžeme zachytiť dva snímky, ktoré po úprave pôsobia stereoskopicky. V našich podmienkach sme využili zrkadlovku Canon EOS 450D, ktorú sme posunuli približne o 1,5 cm horizontálne. Využili sme pravidlo pre správne stereo, ktoré vraví, že vzdialenosť očí/objektívov má byť menej ako $1/30$ vzdialenosti k najbližšiemu objektu. Objekt, v našom prípade malý kvet na stole bol vo vzdialenosti 50 cm od fotoaparátu.



Obrázok 52 Tvorba stereofotografie

Fotky pre obe oči sme spojili v kompozičnom softvéri The Foundry Nuke. Zlúčili sme obrázky v jeden anaglyfický obrázok. Pri pozeraní sa cez anaglyfické okuliare môžeme vidieť hĺbku obrazu. Drobné nezrovnalosti spôsobené nepresnosťami posunu fotoaparátu sú v slabo osvetlených scénach zanedbateľné. Podobne pri fotkách určených pre menšie rozlíšenie nie sú chyby veľmi viditeľné. Tento postup je pre počiatkové foteenie stereoskopických snímok vhodný hlavne z dôvodu nízkych nákladov. Pri premietaní v kinosále by nepresnosti mohli byť už viditeľné. Pre vysokokvalitné

stereofotografie je potrebné vlastniť prispôsobený fotoaparát alebo statív, ktorý má možnosť posúvať stabilne fotoaparát v horizontálnom smere.



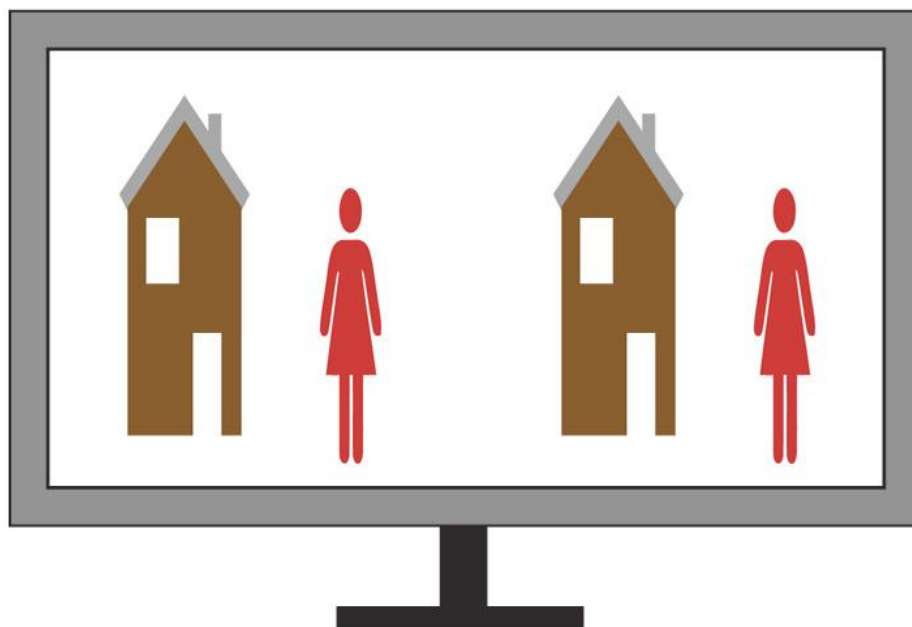
Obrázok 53 Vytvorená anaglyfická stereofotografia

Pre fotenie objektov v pohybe je nutné použiť stereoskopický fotoaparát alebo dvojicu fotoaparátov so synchronizovanou spúšťou.

5.2 Video

Stereoskopické video obsahuje video stopu pre ľavé aj pravé oko. Pre zachytenie stereo videa môžeme použiť už spomínané kamerové rigy s dvojicou kamier alebo stereo kamery. Video vo vizuálnych efektoch sa najčastejšie považuje za sekvenciu obrázkov. Videá z kamier sa konvertujú na sekvencie obrázkov, pričom sa zanecháva znateľný názov sekvencií pre jednoduchšie rozpoznanie snímky pre ľavé a pravé oko. Napríklad sa používa tvar: S001_v01_1_####.dpx. Prvé písmeno S reprezentuje skratku z anglického slova Shot. Číslo značí poradie záberu v strihu alebo na pamäťovom médiu. Nasleduje číslo verzie záberu a písmeno l alebo r označujúce ľavú alebo pravú sekvenciu obrázkov. Pre určenie sekvencie obrázkov sa používajú mriežky. Počet mriežok určuje počet čísiel v názve sekvencie a za bodkou sa píše obrázkový formát. Pre natočený materiál sa používajú formáty dpx alebo tiff. Pre renderované sekvencie z grafických softvérov sa využíva formát OpenEXR.

Na prehliadanie stereoskopických videí sa používajú špeciálne formáty. Medzi najbežnejšie patrí **SBS(side-by-side)**⁴³ formát. V tomto prípade sú obe videá spojené do jedného toku dát. Často sa pre zachovanie formátu strán videa stlačia obrázky vodorovne k sebe.



Obrázok 54 SBS formát - obrázky sú stlačené a usporiadané vedľa seba

Obrázky sa sploštia, ale majú nižší tok dát a menšiu dátovú veľkosť. Zariadenie na zobrazenie 3D videa spojí oba obrázky do jedného a rozšíri ich do správneho formátu. Pre zachovanie vyššej kvality sa môžu ponechať videá aj v pôvodnom formáte. V tom prípade má ale výsledné video dvojnásobnú šírku. Ďalšou možnosťou je usporiadanie obrázkov horizontálne. Taktiež môžu byť sploštené pre zachovanie formátu alebo majú dvojnásobnú výšku. Väčšina zariadení vie rozpoznať o aké usporiadanie sa jedná a zvolí správny prístup pozerania 3D. V počítači môžeme využiť aj špeciálne stereoskopické prehrávače akým je napríklad *Stereoscopic Player* od firmy *3dTV*. Ten umožňuje zvoliť typ stereoskopického zobrazovania. Pokiaľ užívateľ nedisponuje 3D monitorom môže zvoliť anaglyické zobrazenie. [50]

5.3 Počítačová grafika

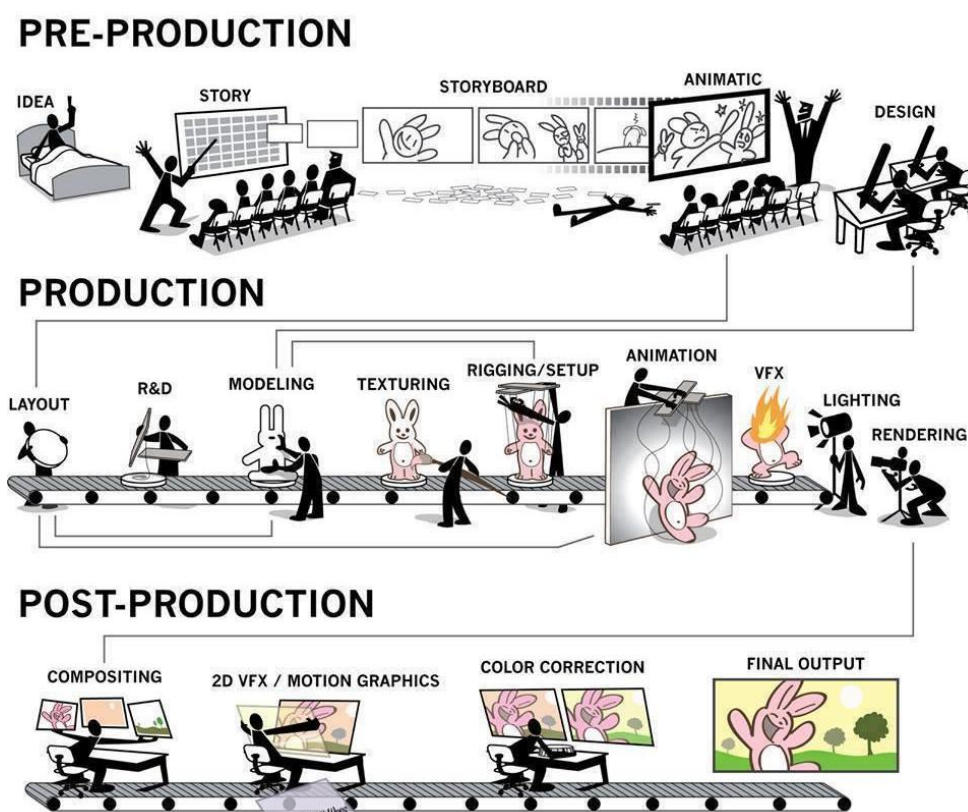
Bez počítačovej grafiky by sa dnešné filmy, reklamy a celý zábavný priemysel nezaobišiel. V tvorbe vizuálnych efektov sa využívajú najmodernejšie postupy

⁴³ Obrázok 54: [21]

a grafické softvéry, ktoré nám umožňujú tvoriť animácie, virtuálne svety a vizualizovať dáta. Spolu s postupujúcim trendom v stereoskopickom zobrazovaní pribudlo množstvo úloh a problémov, ktoré je treba spracovať. Z tohto dôvodu je potrebné priblížiť zákulisie tvorby záberov a grafické softvéry, ktoré využívame v tejto práci pre tvorbu nástrojov.

5.3.1 Pipeline

Pipeline⁴⁴ pri tvorbe vizuálnych efektov reprezentuje akúsi „výrobnú linku“, ktorou sa musí prejsť, aby vznikol finálny produkt. Tento pojem si môžeme predstaviť ako sled postupov a technológií, ktoré sa využívajú po ceste od počiatočného nápadu po finálny obraz. Samotná pipeline obsahuje nie len postupy, ktoré sa vykonávajú v nejakom slede, ale aj samotné grafické programy a komunikačné linky medzi jednotlivými oddeleniami. Obsahuje rôzne nástroje, ktoré sa využívajú pri modelovaní, textúrovaní, ako aj pri spracovaní animačných a vedeckých dát. Každé grafické štúdio má prispôbenú pipeline pre svoje potreby.



Obrázok 55 Pipeline pre tvorbu snímky s vizuálnymi efektami

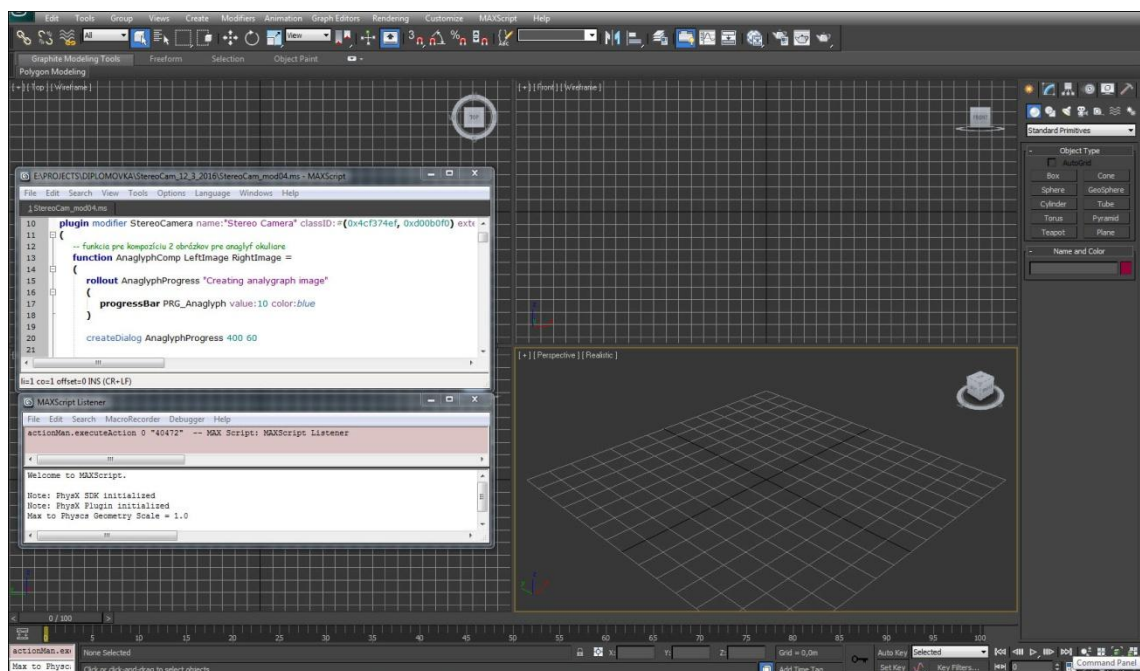
⁴⁴ Obrázok 55:

https://thebrandradio.files.wordpress.com/2015/08/wpid-3d_production_timelines.jpeg?w=585

V závislosti od ich zamerania využívajú rôzne techniky a sady nástrojov, ktoré umožnia grafikom rýchlu a efektívnu prácu a zároveň komunikáciu medzi sebou. Pipeline môže obsahovať aj manažérske nástroje pre kontrolu zamestnancov, kde vidia, v akej fáze sa nachádza tvorba jednotlivých záberov. Je veľmi dôležité, aby každý článok v tomto reťazi vykonával svoju úlohu zodpovedne a využíval nástroje, ktoré uľahčia a urýchlia tvorbu. Pre tieto potreby vznikli rôzne skriptovacie jazyky v grafických softvéroch, ktoré umožňujú tvorcom si prispôbiť daný softvér podľa svojich predstáv a zasadiť ho do svojej výrobnéj linky. V produkcii je dôležité neustále optimalizovať pipeline. Celý tento proces tvorby snímok zásadne ovplyvňuje cenu a kvalitu výsledného diela. [36][51]

5.3.2 Softvér na spracovanie vizuálnych efektov

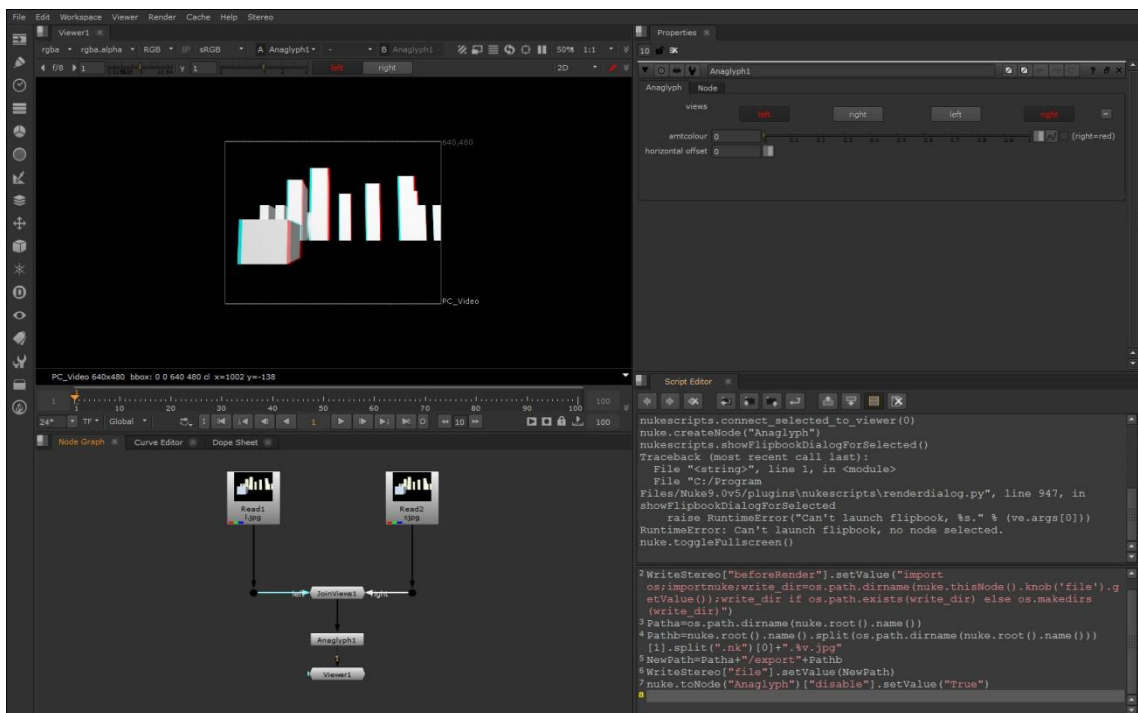
Existuje mnoho grafických softvérov. V tejto práci sa venujeme tvorbe stereoskopických snímok, preto sme vybrali v praxi najpoužívanejšie softvérové balíky, aby vytvorené nástroje pomohli čo najväčšiemu množstvu užívateľov. Využili sme skriptovacie jazyky obsiahnuté v daných softvéroch. Po komplexnom zhodnotení a kvôli praktickým skúsenostiam v obore sme zvolili nasledovné grafické softvéry a ich skriptovacie jazyky. Oba softvéry ponúkajú voľné verzie pre edukačné účely. Najskôr sme sa zamerali na 3D vizualizačný program 3ds Max.



Obrázok 56 Základné okno programu 3ds Max s oknami MAXScript a Listener

Autodesk 3ds Max je 3D modelovací, animačný a renderovací softvér. Obsahuje množstvo funkcií a nástrojov pre tvorbu virtuálnych scén a vizuálnych efektov a počítačových hier. Je určený pre architektov, filmový a herný priemysel, medicínu a množstvo iných odvetví. Obsahuje animačné nástroje pre konzolu Xbox a umožňuje využitie animácie postáv, deformačných efektov a časticových systémov. Je svetovo najrozšírenejší animačný a vizualizačný program. Aj pre tieto dôvody sme vybrali práve tento softvér, do ktorého sme implementovali náš stereoskopický systém. [52][53]

MAXScript je vstavaný skriptovací jazyk pre Autodesk 3ds Max. Umožňuje skriptovať väčšinu funkcií 3ds Maxu od modelovania a animácií po materiály a rendering. Program sa ovláda prostredníctvom interaktívneho okna príkazového riadka *Listener*. Umožňuje vytvárať štandardné grafické rozhrania. Môžeme ním rozšíriť ponuku nástrojov od modifikátorov, objekty a efekty. Umožňuje taktiež nahrávať akcie programu ako príkazy v MAXScripte. Tento skriptovací jazyk je veľmi významný nástroj 3ds Maxu. Jeho využitie môže zvýšiť produktivitu a nájsť riešenia, ktoré nie sú k dispozícii v základnom softvéri. Tento konkrétny jazyk sme využili pre tvorbu nášho stereoskopického systému z viacerých dôvodov. Jedným z nich je, že ním dokážeme ovládať beh samotného programu a ďalším je možnosť vytvárať nové rozšírenia. Z týchto dôvodov je ideálnou voľbou pre náš systém. [54]



Obrázok 57 Základné okno programu The Foundry Nuke so stereoskopickým nastavením

The Foundry Nuke je najpoužívanejší kompozičný softvér s uzlovo orientovaným grafickým prostredím. V roku 2001 získal Oscara za technický úspech. Obsahuje množstvo nástrojov pre spracovanie videa, stereoskopické nástroje ako aj podporu 3D scén. Pôvodne ho vyvinula firma *Digital Domain* a neskôr bol doplnený o množstvo nových funkcií a prístupný verejnosti už pod firmou The Foundry. Dnes je tento softvér štandardom v tvorbe vizuálnych efektov pre filmy a reklamy. Vyznačuje sa jednoduchým ovládaním pomocou uzlov, ktoré reprezentujú jednotlivé obrazové operácie. Po tom, ako bolo možné pridať skriptovací jazyk Python, umožnili tvorcovia užívateľom tvoriť vlastné nástroje. V tejto práci použijeme práve tento softvér. Vybrali sme ho pre jeho aktuálnosť, ako aj pre možnosť získania dostupnej licencie. [55][56]

Python je open source, multi-paradigmaticý, dynamický, objektovo-orientovaný programovací jazyk, ktorý sa využíva v mnohých oblastiach vývoja softvéru. Ponúka významnú podporu k integrácii s ostatnými jazykmi a prichádza s mnohými knižnicami. Vytvoril ho *Guido van Rossum* pôvodne ako skriptovací jazyk pre Amoeba OS. Je veľmi populárny pri programovaní aplikácií pre vizuálne efekty. Je podporovaný v mnohých grafických softvéroch. Podporuje ho aj The Foundry Nuke, v ktorom sa za jeho pomoci dajú vytvoriť nové nástroje. Spomínaný jazyk bude použitý v kompozičnom softvéry a využitý k tvorbe nástrojov pre uľahčenie práce na stereoskopických snímkach. [57][58]

6 Implementácia nastavení kamery

Naším cieľom je vytvoriť a implementovať stereoskopický systém pre program na vizuálne efekty. Systém musí byť dostatočne rýchly, musí prepočítavať pozíciu kamier v reálnom čase a hlavne nastaviť pozíciu kamier pre správne stereoskopické zobrazenie.

6.1 Tvorba systému pre stereo záznam

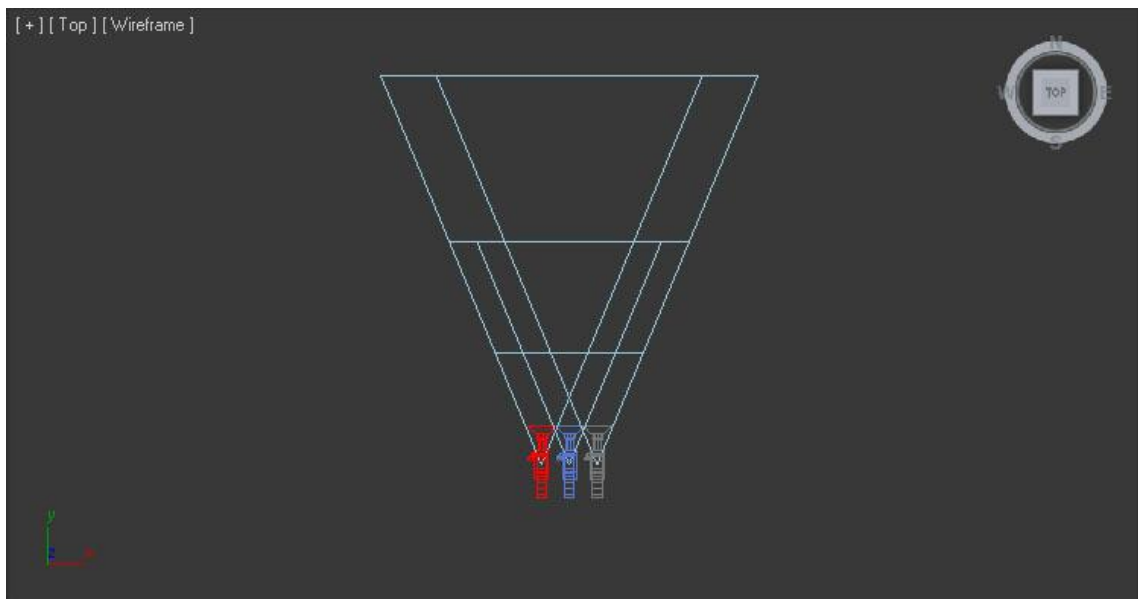
V prvom rade bolo nutné zvoliť program pre spracovanie vizuálnych efektov, pre ktorý budeme stereoskopický systém tvoriť. Do úvahy spadali dva najväčšie grafické balíky od firmy Autodesk a to Maya a 3ds Max. Oba programy sú k dispozícii v študentskej verzii. Na základe rozšírenia stereoskopických filmov v Česku a Slovensku vytvoríme stereo systém pre tvorcov vizuálnych efektov. Množstvo umelcov nepoužíva špecifické nástroje k tvorbe stereo záznamov, ale riadi sa viac svojou intuíciou a tvoria zábery od oka. To prispieva k mnohým stereoskopickým chybám. Softvér Autodesk Maya obsahuje stereoskopické nástroje a má lepšiu administráciu kamier než 3ds Max. 3ds Max neobsahuje tieto nástroje, ale je to populárnejší softvér pre tvorbu vizualizácií. Preto sme sa rozhodli vytvoriť stereoskopický systém kamier práve pre tento softvér. Využíva sa hlavne na vizuálne efekty, napr.: výbuchy, deštrukcie a množstvo iných typicky filmových efektov. Nezameniteľné postavenie má v oblasti reklamy, kde je stále najpoužívanejším nástrojom. Začína byť veľký dopyt po špecialistoch, ktorí tvoria technologicky precízne a príjemné efekty v 3D. Mnohé z týchto dôvodov nás zaujali k tvorbe stereoskopického systému kamier práve pre program 3ds max. V rámci prípravy bolo nutné zanalyzovať program 3ds Max a vyhodnotiť najlepší postup pre tvorbu stereoskopického systému. Keďže 3ds Max je obširny nástroj, umožňuje veľké množstvo prístupov tvorby dodatočných programov. Pôvodne navrhnuté postupy sme v rámci optimalizácie museli úplne prehodnotiť.

Tvorbu programu sme rozdelili na 3 základné kroky:

- 1) Analýza nástrojov softvéru 3ds Max
- 2) Tvorba základných funkcionalít skriptovacím jazykom Maxscript
- 3) Optimalizácia matematických princípov programu
- 4) Vytvorenie grafického rozhrania

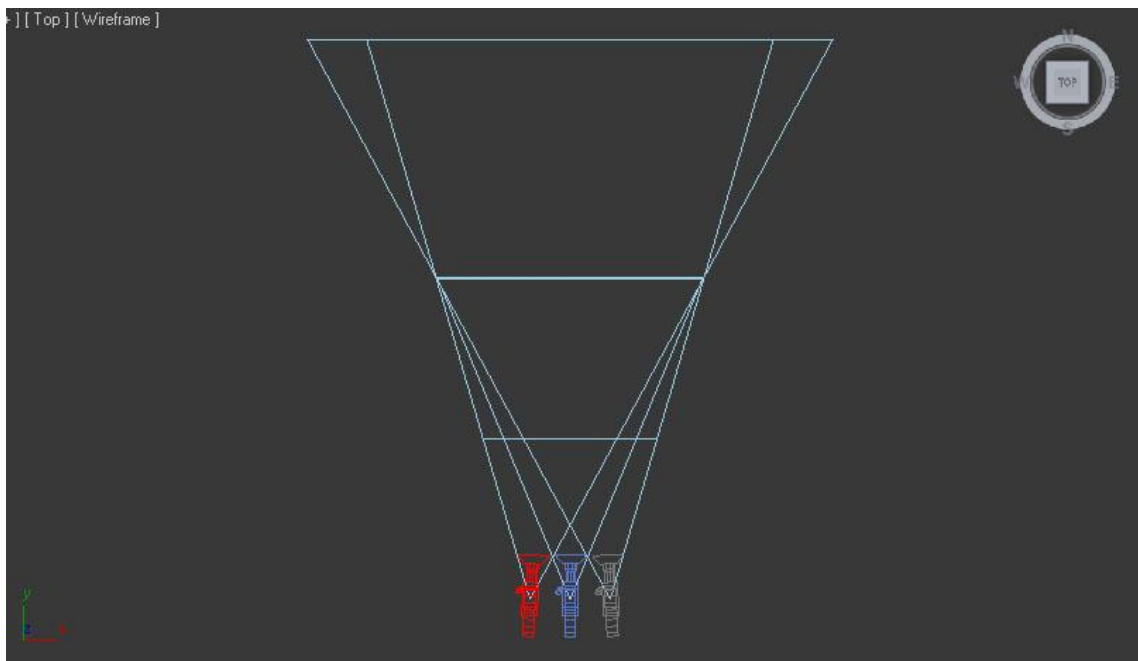
V rámci analýzy softvéru 3ds Max sme zistili, že tvorbu skriptu môžeme viesť viacerými spôsobmi. Tento softvér obsahuje špeciálne operácie, ktoré môžu byť aplikované na rôzne objekty. Nazývajú sa modifier. Slúžia na modifikovanie objektu alebo jeho vlastností. Bola to prvá možnosť, ktorú sme zvažovali. Ďalšou možnosťou bolo vytvorenie pluginu s vlastným grafickým rozhraním. Využívajú sa pri tom špeciálne vlastné definované triedy s názvom *customAttribute*. Táto metóda bola prvá, ktorou sme sa rozhodli postupovať. Keďže zahŕňa tvorbu špeciálnych tried a viacerých skriptov, ktoré sa spúšťajú v rámci behu a manipulácie programu, jedná sa o zložitejšiu techniku tvorby skriptu. Prvá úloha, ktorú sme si vytýčili bolo zabezpečenie ovládania odchýlky kamier interaxial. Je to nutný a hlavný ovládací prvok pri reálnych kamerách a rapídne ovplyvňuje vnímanie hĺbky v scéne. Interaxial je zabezpečený podskeptom, ktorý ovláda pozíciu ľavej a pravej kamery.

```
LeftCamera.position.controller = position_script()  
LeftCamera.position.controller.AddTarget"Interaxial" this.InteraxialDistance.controller  
LeftCamera.position.controller.script = "[-(Interaxial)/2.0, 0.0, 0.0]"
```



Obrázok 58 Náš modifier vytvoril ovládateľné bočné kamery

V prvom riadku skriptu môžeme vidieť, že pozičný kontroler ľavej kamery je ovládaný podskriptom. Ten využíva ovládací prvok z GUI s názvom *InteraxialDistance*. Samotný skript obsahuje zápornú polovičnú hodnotu tohto ovládača. Pozícia bočných kamier sa počíta ako x-ová pozícia v rámci centrálnej kamery. Preto je nutné mať pre ľavú kameru zápornú polovičnú hodnotu ovládača *InteraxialDistance*. Pozičný skript ovláda pozíciu kamier vo všetkých troch osiach a preto je nutné nastaviť okrem x-ovej pozície aj zvyšné pozície na nulové. V tomto prípade dokážeme už ovládať odchýlku kamier a docielili sme dve paralelné kamery. Paralelné kamery sa často používajú pri animovaných filmoch. Ďalšou vytýčenou funkcionalitou je ovládateľné usporiadanie kamier typu offaxis. To znamená, že musíme upraviť frustrum kamier. Autodesk Maya má implementované nastavenie skosenie frustra kamery. 3ds Max to neobsahuje, a preto je zložité vytvoriť korektné posunuté frustrum v tomto virtuálnom prostredí.



Obrázok 59 Modifier umožňuje v prostredí 3ds Maxu offaxis pozíciu kamier

Môžeme ho ale simulovať prostredníctvom modifera *Skew*, ktorý nám daný softvér ponúka. *Skew* modifier závisí na veľkosti objektu v priestore, a preto je zložité odhadnúť, aké hodnoty tohto modifikátora potrebujeme pre dané skosenie priestoru kamery. *Skew* modifikátor na kamerách funguje tak, že podľa zadanej osi modifikátor zošikmí frustrum kamery, na ktorú modifikátor aplikujeme. Veľkosť skosenia dokážeme vypočítať z odchýlky kamier a vzdialenosti, kam kamera konverguje. V 3ds Max sa táto vzdialenosť nazýva *target distance*. Zistili sme, že na správne

prepočítanie nám stačí zistiť veľkosť gizma, ktoré aplikuje skew modifikátor. Ak touto veľkosťou potrebný posun vydělíme, získame potrebnú hodnotu, o ktorú sa musí zošikmiť frustrum kamier. To rieši nasledovný skript:

```

CameraScript= float_Script()
RightCamera.modifiers[1].amount.controller = CameraScript
CameraScript.AddNode "C" (RightCamera)
CameraScript.AddTarget "Parallel" this.Parallel.controller
CameraScript.script = "Position = C.position.controller.value.x\n"
CameraScript.script += "Distance = C.Target_distance\n"
CameraScript.script += "MaxSkew = (getModContextBBoxMax C C.modifiers [1]).z\n"
CameraScript.script += "MinSkew = (getModContextBBoxMin C C.modifiers [1]).z\n"
CameraScript.script += "ResultAmount = (Parallel/100)*(Position/Distance)*(MaxSkew-
MinSkew)\n"
CameraScript.script += "ResultAmount"

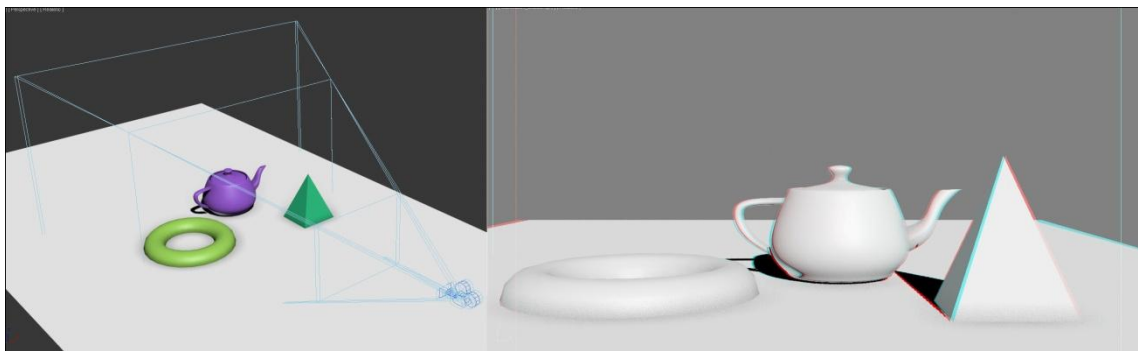
```

Tento skript vypočítava správne hodnoty pre skew modifikátor v reálnom čase a zároveň dokáže meniť kamery z offaxis na paralelne a naopak. Na to potrebujeme pomocnú hodnotu, ktorá bude v percentách reprezentovať použitú metódu usporiadania kamier nazývanú *Parallel* a pozíciu kamery v *x*-ovej osi vzhľadom k centrálnej kamere a už spomínanú vzdialenosť konvergencie. Pomocou špeciálnych príkazov Maxscriptu, skript zistí veľkosť gizma skew modifikátora a použije nasledovný vzťah:

$$Skew = (Parallel/100) * (Position/Distance) * (MaxSkew - MinSkew)$$

Ak aplikujeme túto metódu pre obe bočné kamery získame stereoskopický systém kamier, ktoré dokážu simulovať paralelne aj offaxis usporiadanie. V rámci prvého návrhu skriptu bol vzorec zložitejší o goniometrické funkcie. Taktiež prvý postup tvorby bol príliš výpočtovo náročný. Preto sme museli upustiť od navrhovanej metódy tvorby systému a v rámci optimalizácií sme vytvorili novú verziu systému, ktorý je rýchlejší, stabilnejší a umožňuje mať v scéne viacero stereoskopických kamier. V tomto bode prvá verzia systému založená na *customAttributes* a spúšťaní samostatných skriptov zlyhávala. Pre neustály prepočet kamier sme nedokázali vytvoriť samostatný skript, ktorý by neustále kontroloval stavy pozícií a modifikátorov všetkých kamier

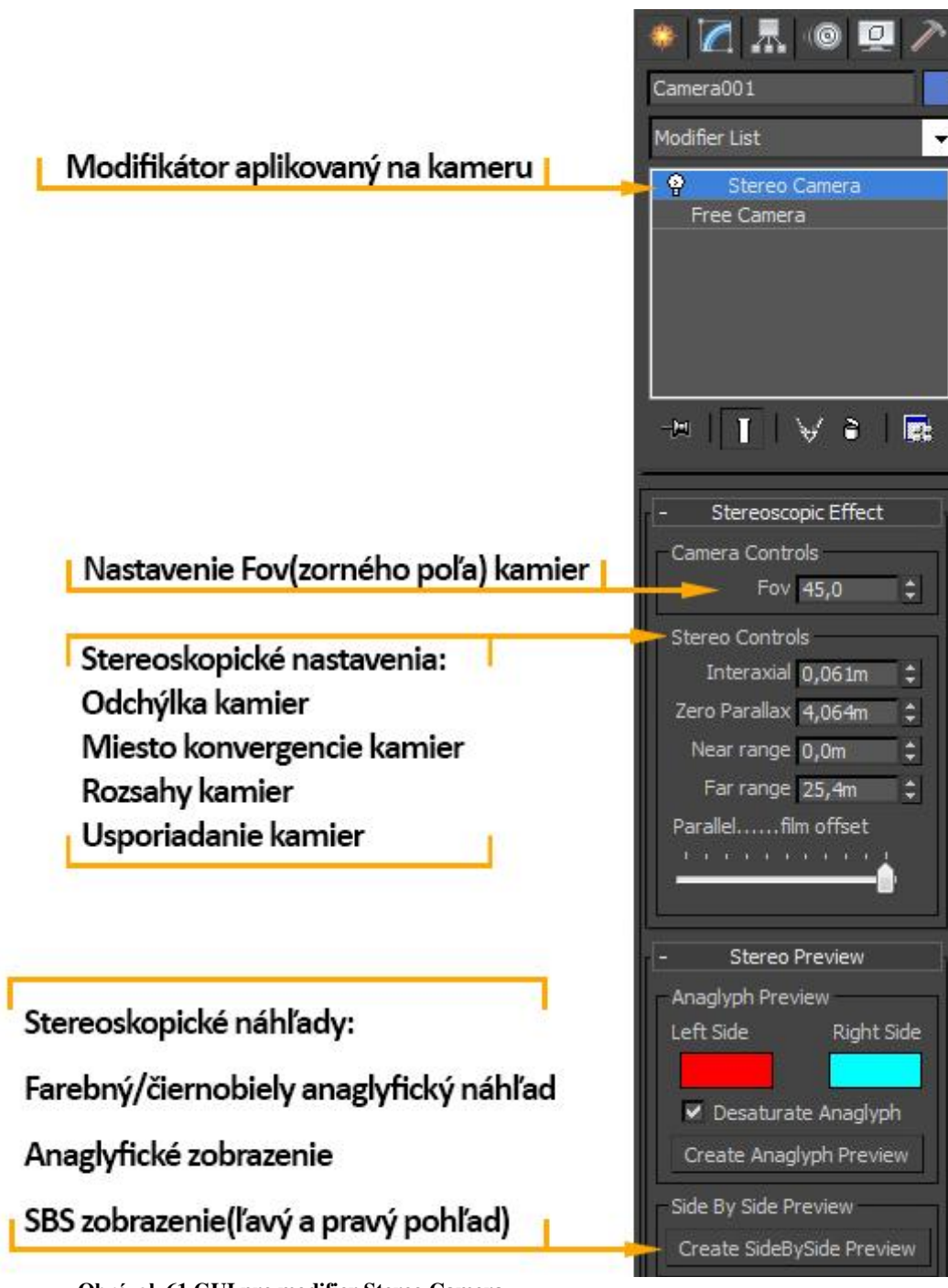
v scéne. Preto sme zmenili postup a vytvorili celý nový modifikátor, ktorý po aplikovaní na kameru v scéne 3ds Maxu vytvorí bočné kamery, nastaví vzťahy a v reálnom čase kontroluje nastavenia daných kamier. Keďže kamery sú vytvorené vlastným modifikátorom, dokážeme ovládať pomocou centrálnej kamery aj tieto bočné kamery. Tento princíp zjednodušil výpočty, keďže nie je potrebné spúšťať dodatočné skripty zabezpečujúce prepočítanie pozícií a ostatných nastavení. Zjednodušili sa aj nároky na grafické rozhranie, keďže môžeme využiť nástroje 3ds Maxu a vytvoriť pomocou kontrolerov potrebné ovládacie prvky. Po početných optimalizáciách bolo nutné docieľiť správne mazanie týchto kamier. V prípade odstránenia modifikátora je nutné odstrániť zákonitosti aj samotné bočné kamery. Pre túto úlohu sme využili funkcie *callback*, ktoré kontrolujú beh programu 3ds Max. Dodali sme skript, ktorý kontroluje odstránenie modifikátora a ak táto udalosť nastane, odstráni vzťahy kamier k centrálnej kamere a tieto kamery vymaže.



Obrázok 60 Použitý modifikátor v scéne a skriptom vytvorený náhľad pre anaglyfické okuliare

Užívateľom sme umožnili kontrolovať stereoskopický výstup počas práce na snímke. Dodali sme funkciu pre náhľad v zobrazení pre anaglyfické okuliare. Zobrali sme pohľady bočných kamier v scéne a spojili. Táto funkcia umožní užívateľovi počas práce vidieť výstup bez nutnosti renderovania prostredníctvom typických červeno modrých okuliarov. Táto funkcia skriptu funguje nasledovných krokoch:

- 1) Zisti názov ľavej kamery
- 2) Zachyť a ulož pohľad ľavej kamery vo viewporte
- 3) Zisti názov pravej kamery
- 4) Zachyť a ulož pohľad pravej kamery vo viewporte
- 5) Spoj zachytené obrázky do jedného anaglyf výstupu(červený kanál z ľavého obrázku, zelený a modrý kanál z pravého obrázku)
- 6) Vytvor náhľadové okno s výsledným obrázkom



Obrázok 61 GUI pre modifier Stereo Camera

Týmto spôsobom stačí užívateľovi stlačiť tlačidlo pre náhľad a skript vytvorí stereo obrázok priamo v prostredí 3ds Maxu za pomoci zachytenia pohľadu kamier vo viewporte. Ďalšou možnosťou kontroly stereoskopického výstupu je náhľad priamo na 3D monitory. To sme dosiahli využitím typického horizontálneho rozloženia obrázkov, keď je ľavý a pravý snímok vedľa seba v jednom obrázku. Tento vstup 3D monitor rozozná a zobrazí svojou technológiou v stereoskopickom prevedení. Táto funkcia ušetrí množstvo času pri ladení nastavení stereo kamier. Taktiež sme doladili

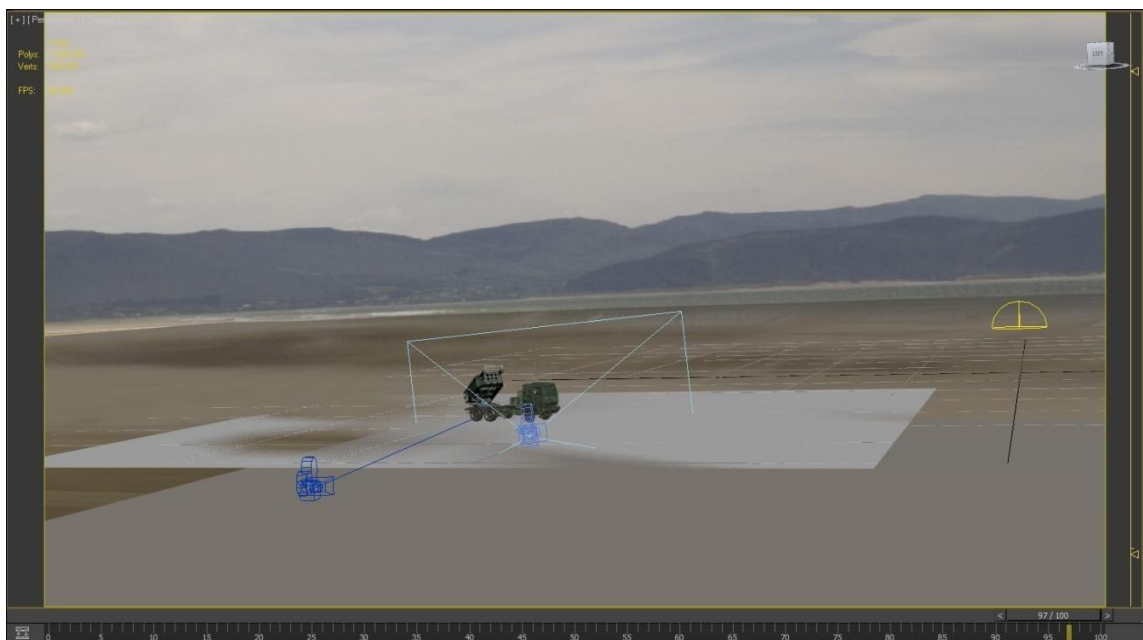
grafické rozhranie modifikátora. Využili sme typické posuvníky, kde umožňujeme užívateľovi meniť najpoužívanejšie nastavenia kamery. Užívateľ, ako je vidno na obrázku, pridá náš modifikátor na objekt kamery v scéne 3ds Maxu. Ten vytvorí bočné kamery, ktoré nastaví podľa matičnej kamery. Modifikátor vytvorí grafické rozhranie, ktoré umožní ovládať základné stereoskopické nastavenia ako odchýlku a typ rozloženia kamier. Ďalej umožní nastaviť úroveň konvergencie pod názvom *Zero Parallax* a nastavenia rozsahu kamier na blízko a diaľku. V spodnej časti grafického rozhrania sa nachádza tlačidlo pre náhľad scény pre anaglyf okuliare. Môžeme vidieť farebný alebo desaturovaný výstup. Farby strán napovedajú aký typ okuliarov je potrebné pre náhľad použiť. Pod týmto tlačidlom sa nachádza ďalšie pre náhľad obrázkov vedľa seba pre 3D monitory.

Celý skript je obsiahnutý v prílohe. Kamery sme testovali v rámci rôznych scén. V nasledovnej časti sa pozrieme na použitie nášho skriptu v ukázkovej scéne.

6.2 Stereoskopické renderovanie

Renderovanie je časť tvorby počítačovej grafiky. Je to časovo náročný proces, pretože sa z vytvorenej scény v grafickom softvéri vypočíta na základe pozície kamery, objektov a svetiel výsledný obraz. Pri stereoskopickom renderovaní musíme prepočítavať obraz zvlášť pre ľavé a pravé oko. Výsledný čas renderovania stereoskopickej snímky je dvojnásobný. Pre grafické editory existuje množstvo dodatočných programov, ktoré zabezpečujú renderovanie. Medzi najpoužívanejšie vo filmovom priemysle patria *Arnold* od Solid Angle a *Renderman* od Pixaru. V reklamnom priemysle sa najčastejšie využíva *V-Ray* od Chaos Group a *Mental Ray*, ktorý je implementovaný vo väčšine programov. Spomenuté renderovacie programy podporujú množstvo moderných renderovacích algoritmov. Pre renderovanie do stera musíme spustiť a nastaviť renderovanie pre dve kamery zvlášť. Musí sa správne nastaviť cesta ukladania obrázkov ako aj názvy, aby boli jednoznačne odlišiteľné. Renderuje sa do už spomínanej sekvencie obrázkov a väčšinou do formátu OpenEXR. Taktiež je potrebné nastaviť ukladanie jednotlivých podporných obrázkov, ktoré vznikajú pri renderovaní. Napríklad môžeme zvlášť ukladať obrázok reprezentujúci len osvetlenie objektu, tieň alebo iné. Tie pomáhajú neskôr pri ladení finálneho obrázku a prípadnom odstraňovaní chýb vzniknutých pri renderovaní.

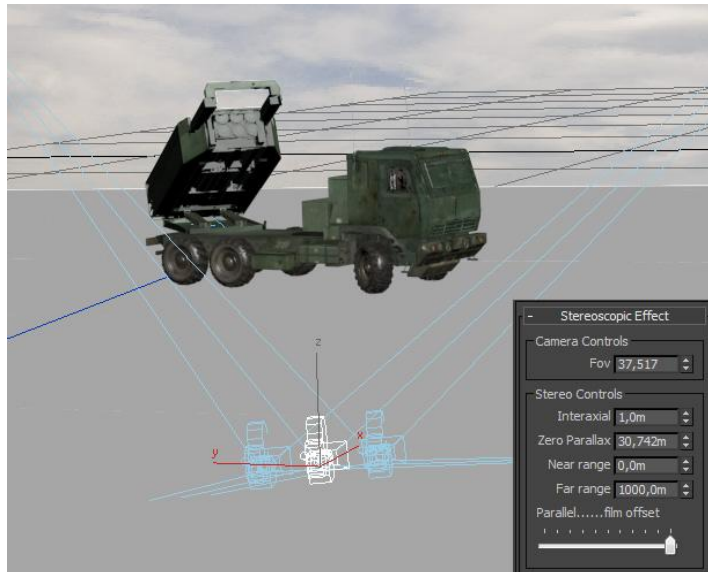
Naša pripravená scéna je vytvorená v programe 3ds Max a budeme ju renderovať v Mental Ray-i. Scéna obsahuje objekt bojového vozidla a projektované pozadie na geometriu planiny reprezentujúcej zem a cylindra pre hory a nebo v pozadí. Táto projekcia zabezpečí priestorovosť scény, zatiaľ čo pozadie je len obyčajná fotografia. V scéne je animovaná kamera. Na to, aby sme túto scénu mohli vyrenderovať stereoscopicky, musíme aplikovať náš modifier Stereo Camera na animovanú kameru. Ten vytvorí bočné kamery. Ďalej si zvolíme dĺžku animácie, ktorú chceme renderovať. V našom prípade 100 framov. V nastaveniach modifikátora Stereo Camera nastavíme posuvníkom Zero Parallax miesto konvergencie kamier. Nastavíme ich v poslednom snímku animácie na stred nášho objektu bojového vozidla, čo je približne 30 metrov. Následne využijeme pravidlo pre správne stereo a nastavenú hodnotu konvergencie kamier vydělíme číslom 30 a výsledok vložíme ako novú hodnotu nastavenia interaxial, čiže odchýlky kamier.



Obrázok 62 Pripravená scéna v 3ds Max

Odchýlka kamier nastavená na hodnotu 1 meter sa môže zdať priveľa. Vo virtuálnom svete môžeme nastaviť túto odchýlku na skutočnú vzdialenosť ľudských očí. V tom prípade ale nedosiahneme také výsledky, aké vidíme v moderných filmoch. Ide nám o dosiahnutie čo najväčšieho dojmu hĺbky, pričom musí byť pozorovanie výsledku príjemné a nesmie spôsobovať bolesti hlavy alebo nevoľnosť. Nastavíme animáciu na prvý snímok a vytvoríme náhľad pre anaglyf zobrazenie.

V prípade monitora je výsledok postačujúci. Ak zoberieme do úvahy fakt, že výsledné video sa môže zobrazovať na väčšom zariadení, napríklad pomocou projektora, môže pôsobiť tento efekt trochu nepríjemne. Preto znížime hodnotu interaxial na polovicu. Pravidlo 1/30 funguje hlavne ako štartovací bod. Vo veľa prípadoch je na



Obrázok 63 Aplikovaný modifier na centrálnu kameru s nastavenou odchýlkou 1 m.

veľkých zariadeniach táto hodnota prehnaná. V skutočnosti v praxi sa častejšie využíva nastavenie pre odchýlku kamier skôr 1/50 vzdialenosti k objektu. S novým nastavením môžeme vytvoriť ďalší náhľad.



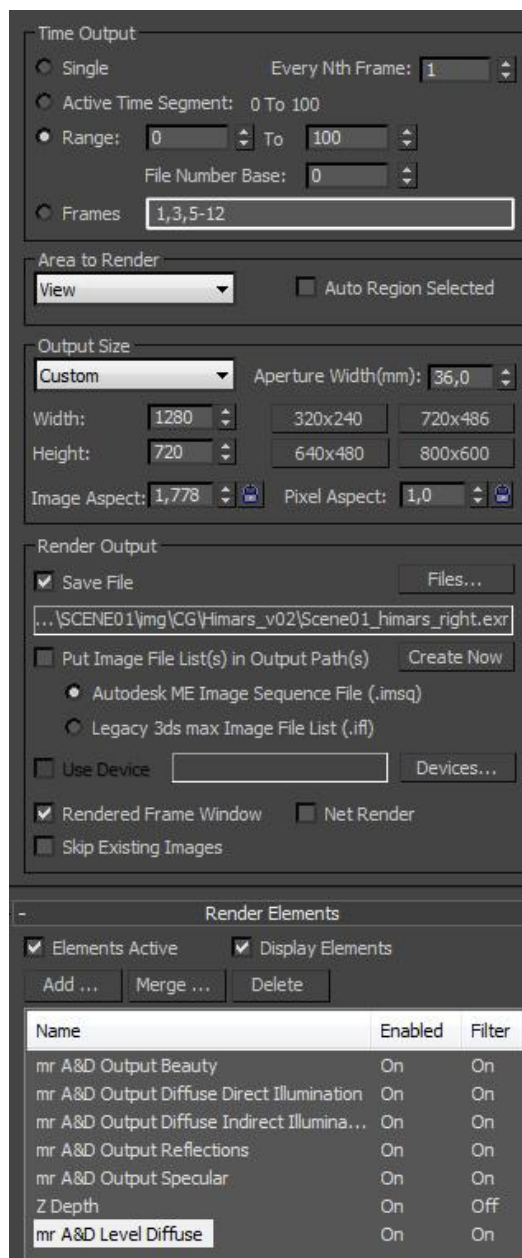
Obrázok 64 Vytvorený anaglyfický náhľad. Ochýlka kamier nastavená vľavo 1 m a vpravo 0.5 m.

V tomto prípade vyzerá naša stereo snímka v poriadku. V scéne sme mali vopred pripravené svetlo simulujúce slnko a sférickú mapu prostredia pre nasvetlenie hlavného objektu scény podľa okolia. Ďalším krokom je nastavenie renderingu. Keďže chceme výsledný obraz skladať v kompozičnom programe, potrebujeme mať možnosť ovplyvniť pozadie, tieň a bojové vozidlo separovane. Preto je nutné scénu renderovať šesťkrát. Pre ľavú kameru vypočítame a uložíme animáciu pozadia, bojového vozidla a tieňa, ktorý vrhá na zem. To isté pre pravú kameru. Nastavíme rozsah animácie, ktorý sa má renderovať a zvolíme cestu uloženia. Zvolíme formát OpenEXR. Názvy sme volili nasledovne: Scene1_objekt_strana.exr. Názov objektu meníme podľa renderovaného objektu, čo je v našom prípade pozadie, himars(bojové vozidlo), tieň.

Strany volíme podľa zvolenej kamery čiže ľavá a pravá. Môžeme si vytvoriť viacero scén so zvolenými nastaveniami, ktoré spustíme v renderingu za sebou.

V našej scéne sa nejedná o veľmi dlhé renderovacie časy, takže sme nastavenia menili po každom renderingu. Pripomenieme, že pre centrálny objekt sme nastavili ukládanie takzvaných pass-ov-obrázkov, ktoré sa počítajú počas renderingu a umožňujú lepšiu kontrolu v úprave a odstraňovaní vzniknutých chýb. Po spustení renderingu musíme počkať, kým sa prepočítajú svetlá a vyrenderuje sa celá animácia pre všetky zvolené objekty a kamery. Celkový čas renderovania bol približne 7 hodín (PC: i7-4,4Ghz, 16GB RAM, GeForce GTX 560Ti).

Po skontrolovaní vyrenderovaných sekvencií na pevnom disku môžeme začať s kompozitovaním vyrenderovaného stereoskopického záberu.

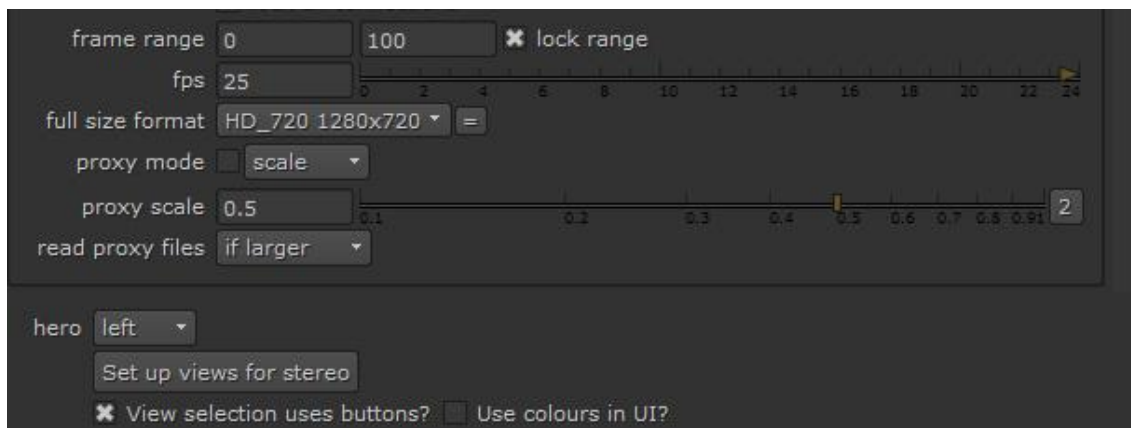


Obrázok 65
Základné nastavenia pre renderovanie

6.3 Stereoskopická kompozícia

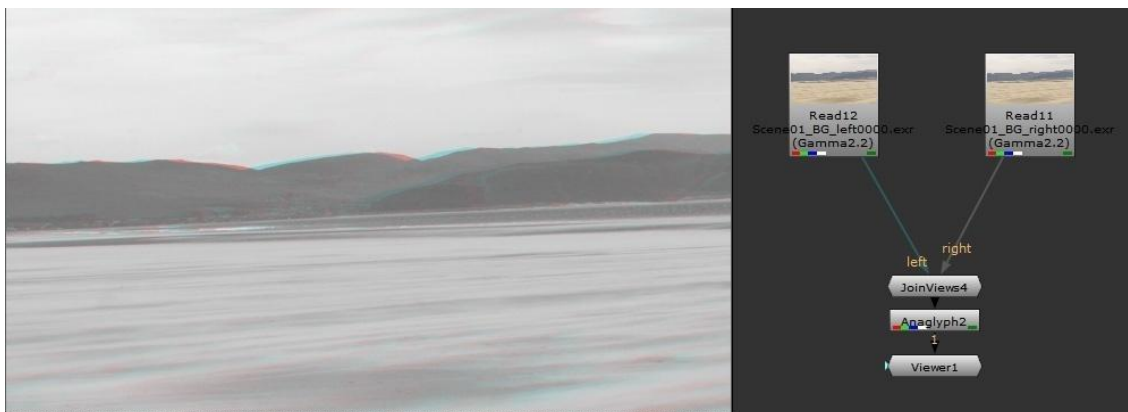
Kompozitovanie je posledná časť úpravy videa. V tejto časti sa skladajú všetky časti obrazu dohromady, aby vznikla celistvá snímka. Pri stereoskopickom kompozitovaní sa dostávame k dvojnásobnému množstvu vstupných dát než obvykle. Preto je veľmi potrebné optimalizovať prácu. Oproti bežným kompozitorským úlohám pri stereoskopickom kompozitovaní musíme spájať pohľady pre obe oči do jedného toku dát. Ak by sme každý pohľad upravovali samostatne, môžu nastať chyby v konzistentnosti záberov. Môžu sa líšiť farby, tieň a mnohé iné aspekty. Softvér The Foundry Nuke poskytuje množstvo nástrojov, ktoré uľahčujú spracovanie

stereoskopických dát. Pre vytvorenie základnej stereoskopickej scény musíme zadať nastavenia projektu.



Obrázok 66 Nastavenia projektu v The Foundry Nuke

Keďže sú vždy na vstupe sekvencie obrázkov, musíme nastaviť počet snímkov za sekundu. V našom prípade sú animácie tvorené v európskej norme a to 25 snímkov za sekundu. K ďalším nastaveniam patrí rozsah snímok a nastavenie pohľadov na stereo. Všetky tieto nastavenia sa nachádzajú pod položkou *projekt settings*. Teraz môžeme začať načítavať vstupné dáta. Tento softvér je založený na uzloch(nodoch). Každá operácia či úkon je reprezentovaná jedným alebo skupinou nodov, ktoré ovplyvňujú výsledný obraz. Pre načítavanie vstupných dát slúži uzol Read. Po zvolení cesty k prvej sekvencii sa uzol objaví v grafe uzlov(Node Graph). Prezrieť si vstup môžeme jednoducho pomocou jeho označenia a stlačenia čísla na numerickej klávesnici. To nám vytvorí uzol *Viewer*, ktorý odkazuje na pozorované objekty. V tomto prípade sa nám na obrazovke ukáže obraz, kde si môžeme prehrávať animáciu. Tým istým spôsobom načítame vstupnú sekvenciu pre druhú kameru. V našej ukážkovej scéne sme najprv načítali sekvencie pozadia pre ľavé a pravé oko. Pre úpravu oboch sekvencií naraz ich musíme spojiť uzlom *JoinViews*. Na obrazovke sa nám stále zobrazí len jeden z pohľadov, ale nasledovné operácie sú aplikované na oba. Ak za posledný uzol napojíme *Anaglyph* vytvoríme typickú sieť pre načítanie sekvencie pre stereo, pričom môžeme pozorovať výstup pomocou anaglyfických okuliarov.



Obrázok 67 Náhľad a graf uzlov pre základnú stereo kompozíciu.

Takto je nutné načítavať každú sekvenciu. Pre uľahčenie a zrýchlenie tvorby, v rámci tejto práce sme vytvorili skripty v jazyku python, ktoré zautomatizujú načítavanie a ukladanie stereoskopických kompozícií. Prvý skript s názvom *readStereo* načíta ľavú a pravú sekvenciu a spojí ju už popisovaným spôsobom. To znamená, že spojí pohľady a vytvorí anaglyfický náhľad.

```
def readStereo():
    nukescrpts.create_read()
    ReadL=nuke.selectedNode()
    nukescrpts.create_read()
    ReadR=nuke.selectedNode()
    ReadR.setXpos(ReadL.xpos()+200)
    ReadR.setYpos(ReadL.ypos())
    Join=nuke.createNode ("JoinViews")
    Join.setInput(0,ReadL)
    Join.setInput(1,ReadR)
    Join.setXpos(ReadL.xpos()+100)
    Join.setYpos(ReadL.ypos()+200)
    ReadL=""
    ReadR=""
    Anaglyph=nuke.createNode ("Anaglyph")
```

Ako môžeme vidieť, skript funguje tak, že najprv vytvorí uzol read pre ľavú sekvenciu, pre ktorú vložíme cestu k súborom a potom pravú sekvenciu. Následne je pre prehľadnosť posunutý pravý uzol načítavania doprava pomocou funkcie na určenie pozície uzla. Vytvorí uzol *JoinViews* a nastaví ľavú sekvenciu na ľavý vstup, ktorý je

reprezentovaný číslom 0. Nastaví pravú sekvenciu na pravý vstup, reprezentovaný číslom 1. Uzol posunie do stredu a o 200 pixelov nižšie. V tomto prípade máme spojené pohľady pomocou jazyku Python v prostredí softvéru The Foundry Nuke. Ako vidíme v skripte vyššie, musíme využívať príkazy samotného softvéru pre prácu s uzlami. Na záver uvoľní názvy premenných a vytvorí uzol *Anaglyph* pre možnosť prezretia a skontrolovania vstupu pomocou okuliarov. Aj keď je táto technológia prezerania menej účinná, ako pomocou pasívnych alebo aktívnych okuliarov a 3D monitora, je stále najčastejšie používaná u grafikov. Väčšina profesionálnych grafických monitorov nepodporuje 3D zobrazovanie, kvôli čo najvernejšiemu podaniu farieb. Pomocou anaglyfických okuliarov môžeme skontrolovať pocit hĺbky. V prípade, že je nutné zobrazit' výstup na 3D monitore, tento kompozičný softvér disponuje uzlom *SideBySide*, ktorý usporiada pohľady vedľa seba pre 3D monitory. V praxi sa *SideBySide* využíva až počas úprav alebo až na konci, pri výstupe snímky. Skript *readStereo*, ktorý je celý k dispozícii v prílohe, môžeme implementovať priamo do prostredia softvéru nasledovným spôsobom. Skopírujeme náš *readStereo.py* do priečinku *C:\Users\User_Name\nuke*. V tomto priečinku vytvoríme súbory *init.py* a *menu.py*.

V *init.py* pre inicializáciu nášho skriptu je potrebné napísať:

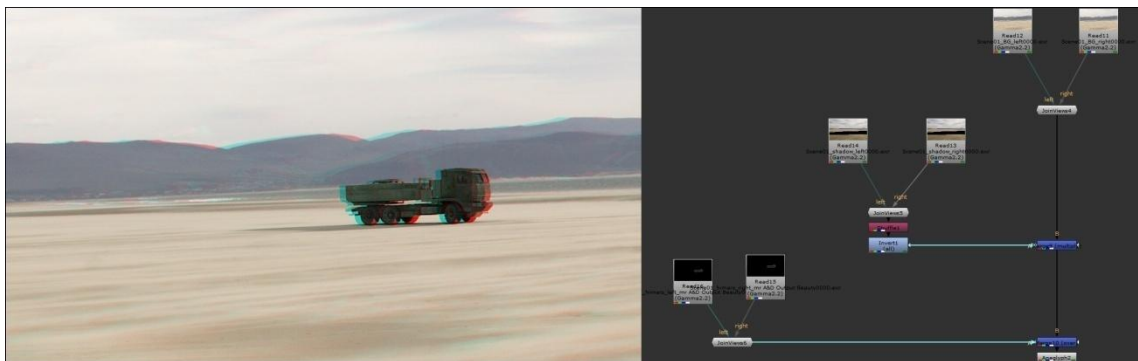
```
import nuke
nuke.pluginAddPath('readStereo')
```

V *menu.py* vytvoríme tlačidlo, ktoré nám umožní spúšťať skript kedykoľvek z prostredia softvéru nasledovne:

```
import nuke
import readStereo
nuke.menu("Nuke").addCommand('Stereo/readStereo', 'readStereo.readStereo()')
```

Týmto spôsobom môžeme inicializovať a spúšťať vlastné python skripty z prostredia softvéru The Foundry Nuke. Pomocou tohto skriptu môžeme načítať všetky potrebné sekvencie z ukázkovej scény. Ako môžeme vidieť, obrázky sú presvetlené. Pre vstupy musíme nastaviť správny farebný priestor. Keďže OpenEXR je prednastavený na lineárny farebný priestor musíme ho nastaviť v nastaveniach uzlov *Read* na hodnotu, ktorú používa 3ds Max, čo je v našom prípade *gamma 2.2*.

Po nastavení všetkých vstupov na správny farebný priestor a po skontrolovaní sekvencií v anaglyfickom režime, môžeme začať kompozitovať. Najskôr spojíme všetky potrebné elementy. Pre spájanie sekvencií sú využívané uzly *Merge*. Pripravíme si sekvencie tieňov, aby sme ich mohli spojiť s pozadím. Tieni sú renderované do kanálu *alpha*. Vyberieme tento kanál a invertujeme ho, aby tieň boli čierne. Následne môžeme tieto sekvencie spojiť s pozadím pomocou uzla *Merge* s nastavenou operáciou *multiply*. Výsledné pozadie môžeme spojiť so sekvenciou bojového vozidla. V tomto kroku máme vytvorenú základnú stereoskopickú kompozíciu.



Obrázok 68 Základná stereo kompozícia scény

Náš výstup z 3ds Maxu obsahoval chyby v odleskoch. Odlesky blikali a vytvárali neželané artefakty. Napriek tomu sa tieto chyby podarilo odstrániť pomocou už spomínaných dodatočne ukladaných elementov, ktoré sa renderovali. A to pomocou sekvencií reprezentujúce odlesky na bojovom vozidle. Pomocou základných operácií s obrázkami sme odstránili všetky odlesky a následnou úpravou rozsahu farieb a rozmazania sa odstránilo neželané blikanie a artefakty. Opravené odlesky sme opätovne aplikovali na objekt. Pre väčšiu kontrolu nad jednotlivými pohľadmi sme tieto úpravy robili separovane, keďže vzniknuté chyby v renderingu boli pre každý pohľad jemne odlišné. Spojili sme sekvencie bojového vozidla a spojili ich s pozadím. Chyby sa podarilo odstrániť a zachovali sme konzistenciu farieb pohľadov pre obe oči. Pre lepšiu výsledok sme upravili farby a dodali filmový šum a rozmazanie. Následne pre vernejší výsledok sme simulovali efekty, ktoré vznikajú pri točení reálnymi kamerami.

A to distorziiu obrazu po hranách, zatmavenie rohov obrazu a vytvorili sme efekt chromatickej aberácie, ktorý vzniká pri lome svetla na okrajoch objektívu.



Obrázok 69 Finálny anaglyfický náhľad

Nasledovne môžeme túto kompozíciu exportovať. Záleží na zobrazovacom zariadení, pre ktoré bude výsledné video určené. V našom prípade vytvoríme výsledné video pre anaglyfické okuliare aj pre 3D monitory. V prípade ukladania sa využíva uzol *Write*. V rámci práce sme vytvorili skript, ktorý uľahčuje prácu pri ukladaní stereo záznamov. Ukážka skriptu obsahuje hlavné funkcie. Celý skript je obsiahnutý v prílohe.

```
def writeStereo():
```

```
WriteStereo=nuke.createNode ("Write")
```

```
Patha=os.path.dirname(nuke.root().name())
```

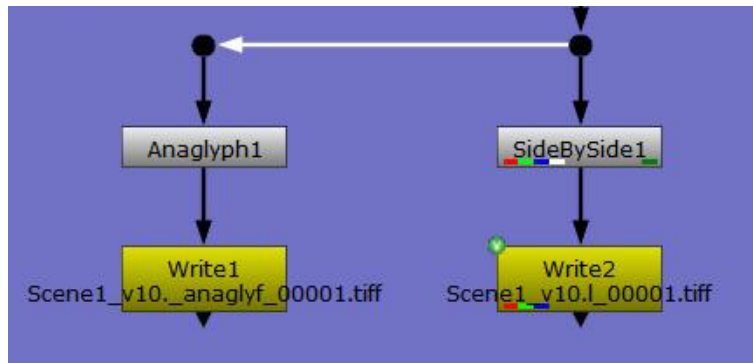
```
Pathb=nuke.root().name().split(os.path.dirname(nuke.root().name()))[1].split(".nk")[0]+".%v_#####.tiff"
```

```
NewPath=Patha+"/export"+Pathb
```

```
WriteStereo["file"].setValue(NewPath)
```

Skript *writeStereo* vytvorí uzol *Write* a zistí cestu k uloženiu zo softvéru. Pomocou operácií vytvorí novú cestu a názov, ktorý podporuje stereoskopické renderovanie. Pomocou pridania *%v* do názvu uloženia sme docielili možnosť renderovať naraz oba pohľady kompozície. Softvér sám rozpozná, ktorý pohľad renderuje a pridá do názvu písmeno *l* alebo *r* pre rozlíšenie pohľadov. Tento skript sme taktiež pridali do prostredia

softvéru podobným postupom ako v predošlom prípade. Pomocou skriptu *writeStereo* sa nemusíme starať o miesto uloženia ani o náležitosti spojené s exportom stereoskopickej sekvencie. Zautomatizuje celý proces. K vytvoreniu



Obrázok 70 Použitie skriptu *writeStereo* pre export

výstupu pre anaglyfické zobrazenie stačí skript aplikovať na uzol pre anaglyfické zobrazenie. V prípade výstupu pre 3D monitory aplikujeme skript na uzol *SideBySide*.

Pre vytvorenie výstupu stačí zadať v nastaveniach požadovaného uzla *Write* možnosť *Render*. Výslednú sekvenciu môžeme upraviť pre jednoduchšie prehrávanie na požadovaný video formát. Najbežnejšie sa využíva formát .mov s kodekom H.264. Výsledné video a vytvorené nástroje sú k dispozícii v prílohe.



Obrázok 71 Finálna kompozícia v *SideBySide* formáte pre 3D monitory

Vytvorené video v SBS formáte môžeme prezerat' na rôznych zariadeniach pomocou stereoskopického prehrávača. Výsledkom práce je video a nástroje, ktoré pomáhajú vytvoriť a upravovať stereoskopické snímky pre všetky typy zariadení.

Záver

Úvod tejto práce sa venoval histórii a súčasnému stavu stereoskopie a vizuálnych efektov. V práci boli popísané možnosti využitia stereoskopického 3D efektu aj vizuálnych efektov pre tvorbu filmových záberov so zámerom vytvoriť realisticky pôsobiace video. Možnosti súčasných kompozičných nástrojov sa dynamicky vyvíjajú a sú len ťažko obsiahnuteľné v rámci diplomovej práce.

Cieľom diplomovej práce bolo oboznámiť čitateľa s jednotlivými fázami tvorby 3D filmovej snímky. Techniky popísané v tejto práci sa v súčasnej dobe často používajú, pričom sa predpokladá ich širšie využitie v budúcnosti. Pre účely realistického zobrazenia je potrebná snaha o kvalitné prepojenie počítačom generovaných sekvencií obrázkov s ostatnými prvkami tvoriacimi scénu.

V prvej časti tejto práce sme sa zamerali na pochopenie základných princípov stereoskopie, fungovania našich očí a aplikácií poznatkov vo vizuálnych efektoch. Preskúmali sme históriu a súčasný stav týchto efektov a postupne sme sa prepracovali k samotnému zobrazovaniu a tvorbe. Techniky boli posudzované nielen teoreticky, ale aj prakticky pri samotnej tvorbe nástrojov a sekvencií. Zároveň sme prešli nadväznosti a vzťahy, ktoré ovplyvňujú výrobu výsledného obrazu. Pre realistické zobrazenie počítačom generovaného objektu vo videu sa jednoznačne ukázala časová náročnosť úpravy obrázkov k správne a uveriteľnému vytvoreniu 3D efektu. Z toho dôvodu je značná časť práce zameraná na popis techník zaznamenávania, úpravy a spájania vrstiev obrázku a využitie zákonitostí reálneho sveta pre tvorbu jednotnej ucelenej snímky.

V druhej časti práce sme sa snažili využiť získaných poznatkov o vizuálnych efektoch, digitálnej kompozície z praxe pre návrh nástrojov a realizáciu náročného záberu. Zamerali sme sa hlavne na implementáciu nastavení z reálneho stereoskopického záznamu pre tvorbu a spojenie s počítačom generovanou sekvenciou. Pri tvorbe boli zjednotené najčastejšie používané metódy a využité znalosti kompozičného softvéru The Foundry Nuke a softvéru pre komplexnú tvorbu vizuálnych efektov Autodesk 3ds Max. Nástroj pre tvorbu stereoskopických kamier v prostredí 3ds Max na trhu existuje zatiaľ v platenej komerčnej verzii. My sme vytvorili voľne dostupné nástroje, ktoré uľahčia a zrýchlia grafikom ich prácu. Vytvorené nástroje boli využité k tvorbe obrázkov a videí, ktoré táto práca obsahuje. Pri písaní práce sme zdokonalili svoje teoretické aj praktické znalosti. Vytvorené nástroje boli

testované vo filmovom štúdiu Pokrok v Prahe, pre ktoré som vytvoril kompozičnú pipeline v prostredí softvéru The Foundry Nuke. Splnili sme všetky stanovené ciele práce, pričom sa nám podarilo vytvorené nástroje otestovať v praxi.

Využitelnosť práce vidíme v pochopení základných zákonitostí stereoskopie, fungovania nášho tela a sveta ako aj vizuálnych efektov so všeobecnou znalosťou postupov pre tvorbu snímok v postprodukčných filmových spoločnostiach. Práca rozširuje bežné dvojrozmerné techniky o tretí rozmer. Neustály vývoj nástrojov vo vizuálnych efektoch poskytuje množstvo ciest k ďalšej tvorbe. Ďalším krokom by mohla byť aplikácia poznatkov pre tvorbu najnáročnejších efektov. Taktiež ďalším smerovaním mojej práce by mohlo byť spojenie digitálnych a reálnych poznatkov k modernej produkcii, čo by mohlo viesť k previzualizácii efektov už počas natáčania využitím reálnych technológií pre rekonštrukciu scény vo virtuálnom priestore.

Taktiež je možnosť sa obširnejšie venovať konverzii dvojrozmerného záberu do trojrozmerného pomocou najmodernejších analytických metód. Veríme, že pomocou tejto práce získa čitateľ potrebné znalosti z oblasti stereoskopie, vizuálnych efektov a naučí sa lepšie rozumieť problematike vývoja nástrojov pre moderné softvérové grafické balíky, ktoré sa v súčasnosti využívajú v každej filmovej a reklamnej snímke.

Zoznam použitej literatúry

- [1] The Turing Institute.: The History of Stereo Photography [online]. Document Version 1996 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://www.arts.rpi.edu/~ruiz/stereo_history/text/historystereog.html>
- [2] Themelis, G.: A Brief History of Stereoscopy [online]. Document Version 1998 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.starosta.com/3dshowcase/ipast.html>>
- [3] Wheatstone, Ch.: Contributions to the Physiology of Vision [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<https://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>>
- [4] IGN.: The History of 3D movie tech [online]. Document Version 2010 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.ign.com/articles/2010/04/23/the-history-of-3d-movie-tech?page=3>>
- [5] Lipton, L.: Foundations of the Stereoscopic Cinema. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982
- [6] Mendiburu, B.: 3D Movie Making: Stereoscopic Digital Cinema from Script to Screen. Oxford: Elsevier, 2009
- [7] THE FOUNDRY.: What is stereoscopic 3D? [online]. Document Version 2016 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<https://www.thefoundry.co.uk/products/ocula/about-stereoscopic-3d/>>
- [8] Čičmanec, M.: Kompozícia renderovaných obrázkových sekvencií s reálnym videom: Bakalárska práca. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE Fakulta riadenia a informatiky, 2014
- [9] Vychytane.sk: Veci, na ktorých najväčšmi záleží [online]. Document Version 2012 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://citaty.vychytane.sk/p/6118/veci-na-ktorych-najvacsmi-zalezi.html>>
- [10] Waloszek, G.: Vision and Visual Disabilities – An Introduction [online]. Document Version 2012 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<https://experience.sap.com/archived/vision-and-visual-disabilities-an-introduction/>>
- [11] NASA.: Wave Behaviors [online]. Document Version 2014 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://missionscience.nasa.gov/ems/03_behaviors.html>

- [12] Jašková, Ľ.: Kto sú zrakovo postihnutí a ako vnímajú svet? [online]. Document Version 2014 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.edi.fmph.uniba.sk/~jaskova/ped/02/tema02.htm>>
- [13] Stanford University.: A HISTORY OF THE EYE [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<https://web.stanford.edu/class/history13/earlysciencelab/body/eyespages/eye.html>>
- [14] Videnie.sk.: Ľudské oko [online]. Document Version 2009 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.videnie.sk/oko/ludske>>
- [15] Osičková, L. – Szalayová, A.: Kľúče vnímania hĺbky a priestoru [online]. Document Version 2001 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.percepcia.szm.com/hlbka.htm>>
- [16] Lobaz, P.: Mechanismy rozpoznání hloubky [online]. Document Version 2016 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://www.kiv.zcu.cz/~lobaz/uf3d/01_uvod/text02_mechanismy.html>
- [17] Knorr, S.: Basic rules for good 3D and avoidance of visual discomfort [online]. Document Version 2011 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://www.dvd-and-beyond.com/_images/articles/5717Basic%20Rules%20for%20Good%203D.pdf>
- [18] Hockicko, P.: Optika okolo nás a vo vyučovacom procese [online]. Document Version 1999 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://hockicko.uniza.sk/Optika/Videnie.pdf>>
- [19] Wassenaar, J.: Horopter [online]. Document Version 2004 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.2dcurves.com/3d/3dh.html>>
- [20] Schreiber, K. – Hillis, J. – Filippini, H. – Schor, C. – Banks, M.: The surface of the empirical horopter [online]. Document Version 2008 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://wwwpsy.uni-muenster.de/imperia/md/content/psychologie_institut_2/ae_lappe/freie_dokumente/schreiber2008.pdf>
- [21] Reeve, S. – Flock, J.: Basic Principles of Stereoscopic 3D [online]. Document Version 2010 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete

- <[http://www.sky.com/shop/_PDF/3D/Basic Principles of Stereoscopic 3D v1.pdf](http://www.sky.com/shop/_PDF/3D/Basic_Principles_of_Stereoscopic_3D_v1.pdf)>
- [22] WRIGHT, Steve.: Compositing Visual Effects: Essentials for the Aspiring Artist. U.S.: Focal Press, 2007
- [23] GOULEKAS, KarenE.: Visual effect in a Digital world. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001
- [24] Friesen, J.: What is a Look Up Table (LUT), Anyway? [online]. Document Version 2011 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://nofilmschool.com/2011/05/what-is-a-look-up-table-lut-anyway>>
- [25] RED: COLOR MANAGEMENT WITH CINEMA ? [online]. Document Version 2016 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.red.com/learn/red-101/cinema-color-management>>
- [26] Seymour, M.: The Art of Digital Color [online]. Document Version 2011 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<https://www.fxguide.com/featured/the-art-of-digital-color/>>
- [27] WRIGHT, Steve.: Digital Compositing for Film and Video. 3. dopln. vyd. U.S.: Focal Press, 2010
- [28] BRINKMANN, Ron.: The Art and Science of Digital Compositing: Techniques for Visual Effects, Animation and Motion Graphics. 2. dopln. vyd. U.S.: Morgan Kaufmann, 2008
- [29] NVIDIA - Gateau, S. - Nash, S.: Implementing Stereoscopic 3D in Your Applications [online]. Document Version 2010 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://www.nvidia.com/content/gtc-2010/pdfs/2010_gtc2010.pdf>
- [30] 3dfilmfactory: 3D CAMERA RIGS [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://3dfilmfactory.com/index.php?option=com_content&view=article&id=52:3d-camera-rigs&catid=38:3modules&Itemid=76>
- [31] 3dfilmfactory: 3D PRODUCTION [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://www.3dfilmfactory.com/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=77>
- [32] Twinstarfilm: 3D RIG FOR RED EPIC/DAGON/SCARLET [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete

- <<http://twinstarfilm.com/web/portfolio/3d-rig/>>
- [33] Arri: ALEXA [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.arri.com/camera/alexa>>
- [34] Bourke, P. – Morse, P.: Stereoscopy: Theory and Practice [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://paulbourke.net/papers/vsmm2007/stereoscipy_workshop.pdf>
- [35] Bourke, P.: Calculating Stereo Pairs [online]. Document Version 1999 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://paulbourke.net/stereographics/stereorender/>>
- [36] OKUN, Jeffrey A.-ZWERMAN, Suzan.: The VES Handbook of Visual Effects: Industry Standard VFX Practices and Procedures. U.S.: Focal Press, 2010
- [37] StereoGraphics Corporation: STEREO GRAPHICS DEVELOPERS' HANDBOOK [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.cs.unc.edu/~stc/FAQs/Stereo/stereo-handbook.pdf>>
- [38] Solimini, A.: Are There Side Effects to Watching 3D Movies? A Prospective Crossover Observational Study on Visually Induced Motion Sickness [online]. Document Version 2013 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0056160>>
- [39] 3deyehealth: The 3Ds of Stereoscopic 3D Viewing [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://3deyehealth.org/index.html>>
- [40] GARLING, C.: Watching 3D: What's It Doing To Our Eyes and Brains? [online]. Document Version 2011 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.tomsguide.com/us/3DTV-stereoscipy-vision-eyes,review-1666-2.html>>
- [41] Mikšiček, F.: Causes of Visual Fatigue and Its Improvements in Stereoscopy. Plzeň, 2006
- [42] Dplenticular: Technológia [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://dplenticular.com/sl/technologia/>>
- [43] STRICKLAND, J.: How 3-D TV Works [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://electronics.howstuffworks.com/3d-tv5.htm>>
- [44] 3dstereo: 3D Glasses [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.3dstereo.com/viewmaster/glp.html>>

- [45] GALI-3D: 3D TECHNOLOGICKÁ KNIHOVNA - Pasivní 3D stereoskopie [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://cs.gali-3d.com/stereoskopie-pasivni-3d/>>
- [46] Charara, S.: Explained: How does VR actually work? [online]. Document Version 2015 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.wareable.com/vr/how-does-vr-work-explained>>
- [47] Lamkin, P.: The best VR headsets [online]. Document Version 2016 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.wareable.com/headgear/the-best-ar-and-vr-headsets>>
- [48] Lee, Ch. – Verdi, S. – Hollerer, H.: An Immaterial Depth-Fused 3D Display [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://192.35.222.224/newweb/~holl/pubs/Lee-2007-VRST.pdf>>
- [49] Bimber, O. – Raskar, R.: Spatial Augmented Reality Merging Real and Virtual Worlds [online]. Document Version 2005 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://web.media.mit.edu/~raskar/SAR.pdf>>
- [50] 3dtv: Stereoscopic Player [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://www.3dtv.at/Index_en.aspx>
- [51] Jakub Krompolc.: Studium a hledání práce v 3d animaci [online]. Document Version 2012 [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<http://www.jakubkrompolc.net/data/document/priprava_na_profesi_3d_animatora.pdf>
- [52] Autodesk [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.autodesk.com/>>
- [53] Cadstudio: Autodesk 3ds Max a 3ds Max Design [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://www.cadstudio.cz/3dsmax>>
- [54] Autodesk: MAXScript Introduction [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<http://docs.autodesk.com/3DSMAX/14/ENU/MAXScript%20Help%202012/>>
- [55] THE FOUNDRY.: Nuke User Guide Version 5.1v2 [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<https://we.riseup.net/assets/2662/Nuke5.1v2%20UserGuide.pdf>>

[56] THE FOUNDRY [online]. [cit. 15. Marec 2016]. Dostupné na internete
<<https://www.thefoundry.co.uk>>

[57] Py: Začínáme s jazykem Python [online]. [cit. 15. Marec 2016].
Dostupné na internete
< <http://www.py.cz/PythonZaciname>>

[58] Py: Programovací jazyk Python [online]. [cit. 15. Marec 2016].
Dostupné na internete
<<http://www.py.cz/FrontPage>>

Zoznam príloh

- Príloha A: CD médium – diplomová práca v elektronickej podobe. Skript pre Autodesk 3ds Max *StereoCam_mod.ms*. Skripty pre The Foundry Nuke *readStereo.py* a *writeStereo.py*.
Obsahuje výsledné stereoskopické videá.
- Príloha B: Používateľská príručka k skriptom.
- Príloha C: Obrázok uzlu grafov kompozície výsledného videa.
- Príloha D: Stereoskopická fotografia(anaglyf)