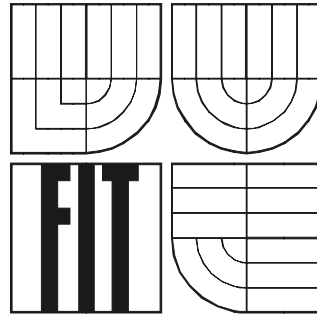


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



Optimalizace pro stereoskopické zobrazení

Semestrální projekt

Optimalizace pro stereoskopické zobrazení

© Leoš Zelníček, 2008.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením ing. Vítězslava Berana
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Leoš Zelníček
4.1.2008

Abstrakt

Tato práce shrnuje základní vlastnosti lidského vidění, popisuje podstatu vnímání hloubky. Je zde rozebrán základ binokulárního vidění u lidí, omezení s ním spojená, která je nutná při stereoskopickém zobrazování dodržet. Dále jsou uvedeny nejčastější metody stereoskopické projekce, čtenář je seznámen s jejich vlastnostmi, výhodami i úskalími. Samotným optimalizacím je věnována největší část práce. Optimalizace se zaměřují na co nejvýkonnější zobrazení trojrozměrné scény stereoskopickým zařízením. Snahou je jak vyrobit co nelepší stereoskopický engine, tak i prozkoumat a vylepšit zobrazovanou scénu, aby výsledný pocit byl co nejlepší.

Pro testování byl použit 3D vizor Z800 firmy eMagin.

Klíčová slova

Stereoskopie, virtuální realita, trojrozměrné zobrazení, trojrozměrné vidění.

Abstract

This work involves basic options of human visual sense, describes matter of depth perception. We analyze binocular vision of humans, its limits, which must be considered and followed when trying to project stereoscopic pictures. Then we mention the most common methods of stereoscopic projection, reader is made acquainted with their options, advantages, and difficulties. The biggest part of this work is dedicated to the optimizations themselves. They are focused on the most effective rendering of the 3D scene using stereoscopic technology. The effort is to make the best stereoscopic engine as possible and to inspect and improve displayed scene, so that the stereoeffect would be the best. For testing purposes was used eMagin 3D visor.

Keywords

Stereoscopy, virtual reality, 3D rendering, 3D perception.

Obsah

Obsah.....	6
1 Úvod.....	7
1.1 Stereoskopie.....	7
1.2 Prostorové vnímání.....	8
1.3 Uplatnění stereoskopických technik.....	9
2 Princip prostorového vidění.....	10
2.1 Monokulární a binokulární klíče.....	10
2.2 Fyziologická vodítka.....	10
2.3 Psychologická vodítka.....	14
2.4 Paralaxa.....	15
2.5 Vztah akomodace a konvergence.....	18
3 Techniky stereoskopického zobrazení.....	20
3.1 Historie.....	20
3.2 Současné technologie.....	22
3.3 Srovnání jednotlivých technologií.....	27
4 Optimalizace pro stereoskopické zobrazení.....	28
4.1 3D vizor eMagin Z800.....	28
4.2 Optimalizace scény.....	29
4.3 Optimalizace zobrazovacích algoritmů.....	30
5 Závěr.....	31
6 Použitá literatura.....	32

1 Úvod

Běžné „ploché“ dvourozměrné zobrazení, s jakým denně přicházíme do styku u počítačových technologií je někdy nedostačující pro pochopení nebo úspěšné splnění vytyčeného cílu v jakémkoli vědním či průmyslovém odvětví. Občas je nutné proniknout dál za hranici možností, jaké poskytují monitory a jiná podobná 2D zobrazovací zařízení. Zobrazení v trojrozměrném perspektivním promítání pak vyžaduje také trojrozměrné vnímání (vidění), které může být dosaženo vždy téměř stejným způsobem, avšak za využití různých postupů a technologií.

Při komunikaci člověka s počítačem hraje převažující roli zrak. Jak již bylo tedy naznačeno, trojrozměrné vnímání se v současné době zaměřuje na tento smysl. Lidský zrak tedy bývá klamán, aby hodnotil scénu, kterou vidí a která je zobrazena pomocí dvourozměrného zobrazovacího zařízení, jako trojrozměrnou a byl tedy schopen vnímat nejen šířku a výšku, ale i hloubku objektů přesně tak, jak je tomu v reálném světě, na jehož prostředí je pozorovatel zvyklý. Zobrazení, které pracuje na principu promítání různě, avšak vhodně posunutých obrazů do pravého a levého oka zvlášť, se nazývá stereoskopické.

Jak dobře bude lidský mozek schopen vnímat pozorovanou scénu jako trojrozměrnou záleží bezpochyby na technologii, která je použita. Každá má své výhody i nevýhody, každý postup je vhodný na něco jiného. Nesmíme též zapomenout na cenu, za jakou je daná technologie dostupná a zda se její použití pro určitý projekt vůbec vyplatí.

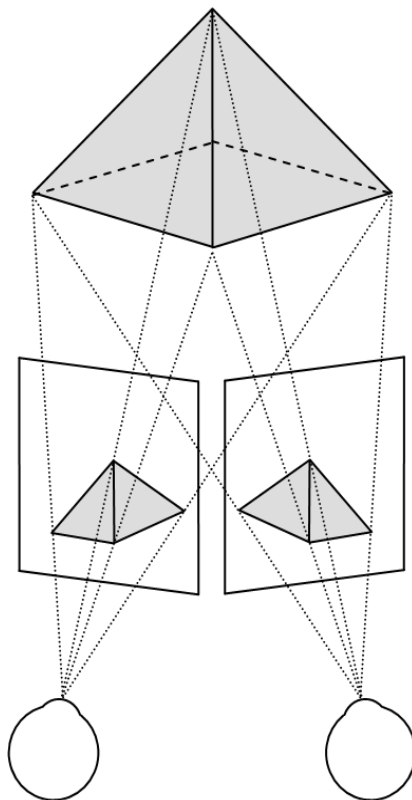
I při použití výkonného hardwaru není zaručeno, že zobrazení bude uspokojivé a vnímání bude reálné či příjemné. Záleží také na softwaru, na aplikaci, která obraz produkuje. Pokud není v jejích možnostech dostatečně rychle a správně zobrazit scénu a interaktivně reagovat na případné změny pohledu pozorovatele, ztrácí použití robustního hardwaru smysl. Optimalizace stereoskopického zobrazení může zvýšit výkon aplikace a v některých případech umožnit použít levnější hardware, pokud je aplikace schopna opravdu efektivně zpracovávat data a zobrazovat scénu.

1.1 Stereoskopie

Slovo stereoskopie vzniklo složením řeckých slov *stereos* (trojrozměrné, pevné) a *skopien* (vidět). Ačkoli v poslední době bývá první pojem „stereo“ spojován v multimediích spíše se zvukem, původně byl spjat s obrazem. Oproti stereofonnímu zvuku je jen málokdo seznámen s technikou stereoskopického zobrazování obrazu, což je způsobeno i rozšířením obou technik v praxi. Avšak princip prostorového vidění je znám již přes 160 let. Díky technologickému pokroku prochází stereoskopické zobrazování neustálým vývojem.

1.2 Prostorové vnímání

Prostorový vjem vzniká v mozku jako důsledek sloučení a vyhodnocení dvou lehce odlišných perspektivních zobrazení scény. Vzdálenost mezi očima má za následek, že každé oko vidí scénu z jiného úhlu a na sítnici levého oka se tedy promítne jiný obraz než na sítnici pravého. Mozek tyto dva podobné obrazy porovná a jakýmsi sloučením vytvoří jediný prostorový obraz. Pozorovatel má pocit, že vnímá pouze jeden trojrozměrný obraz a nikoli dva navrstvené dvourozměrné obrazy. Jako příklad uveďme pohled na pyramidu, Obrázek 1. Dvě malé pyramidy reprezentují dopadající obraz na sítnici. Z těchto obrazů je v mozku vytvořen prostorový vjem a divák rozpozná hloubku pyramidy.



Obrázek 1: Každé oko přijímá rozdílnou informaci o scéně, jelikož vidí scénu vždy z jiného úhlu díky rozestupu očí.

1.3 Uplatnění stereoskopických technik

Stereoskopické techniky mají široké možnosti uplatnění. Často je stereoskopického vjemu využíváno v zábavním a herním průmyslu. Jelikož rozšířit trojrozměrné hry o možnost podpory stereoskopického zobrazení není příliš složité, současné hry přichází s touto schopností. Možnosti předvádět výrobky v prostorovém zobrazení a ve skutečné velikosti je využito v automobilovém průmyslu. Uplatnění nalezne v nejrůznějších simulátorech a výuce (medicína, strojný průmysl). V chemickém a farmaceutickém průmyslu pomáhá stereoskopické zobrazení nahlížet na složitá molekulární uskupení. Nejvíce efekt prostorového zobrazení zaujme v systémech CAVE a jim podobných řešeních, kde je divák obklopen trojicí až šesticí promítacích ploch.

2 Princip prostorového vidění

Při práci se stereoskopickým zobrazením a vnímáním je důležité znát, jak lidský mozek zpracovává a vnímá obrazy, které přichází z pravého a levého oka. Využít se dá i té vlastnosti, že hloubku dokáže přibližně rozpoznat i jedno oko, vnímání hloubky může zlepšit například i pohyb pozorovatele. Nazvěme tyto faktory, které umocňují vnímání hloubky scény, vodítka nebo klíče. Pokud má být prostorového dojem přesvědčivý, neměli bychom důležitost těchto klíčů ignorovat.

2.1 Monokulární a binokulární klíče

Proces analýzy scény a posuzování hloubky dvou sloučených obrazů dopadajících na sítnici je samozřejmá a automatická činnost mozku. Možnost vnímat hloubku je pro nás důležitá vlastnost, pokud chceme správně určit, jak daleko je od nás daný předmět, a pokud chceme zjistit jeho tvar. Hloubku usuzujeme z mnoha podnětů. Popíšeme deset základních vodítek neboli klíčů (depth cues) sloužících k podpoře prostorového vidění. Vodítka dělíme na monokulární, pokud se týkají pouze jednoho oka a binokulární, pokud jsou potřeba oči obě. Rozdílná vodítka pokrývají různé rozsahy vzdáleností. Některá umožňují přesné, relativní i absolutní určení hloubky, některá pouze její hrubý odhad. Použití všech monokulárních vodítek je vázáno na určité podmínky.

Pokud scéna obsahuje dostatek monokulárních vodítek, bude působit „plastičtější“ i pomocí stereoskopického zobrazení. Vodítka lze dělit také na fyziologická a psychologická. Psychologická vodítka nejsou na rozdíl od fyziologických vrozená, závisí na našem naučeném vnímání a oči jsou zde pouze zprostředkovateli vjemu. Všechna psychologická vodítka jsou zároveň vodítka monokulární a při vhodném použití mohou posílit celkový prostorový efekt.

2.2 Fyziologická vodítka

Akomodace

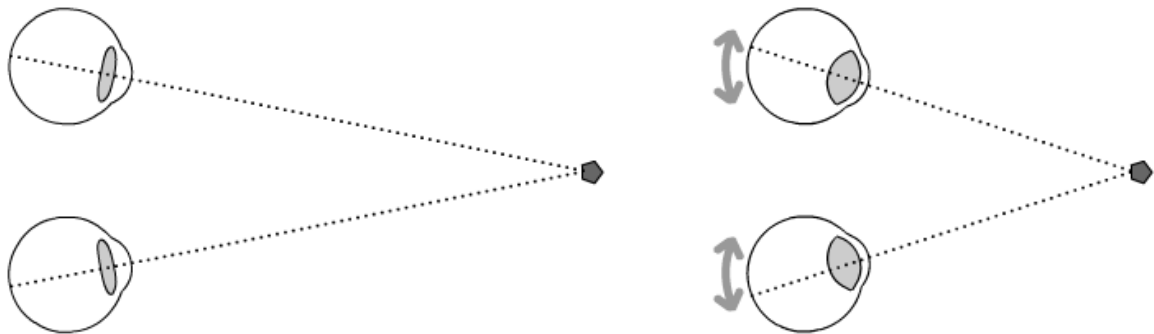
Akomodace neboli přizpůsobení je změna optické mohutnosti čočky oka. Umožňuje zaostřování na různé vzdálenosti. Je-li uvolněna z napnutí, které způsobují svalová vlákna, přechází téměř do kulovitého tvaru. Běžně je čočka v tahu a tedy plochá, aby zaostřovala vzdálenější objekty. Světlo od blízkých objektů dopadá za sítnici a objekty jsou rozostřené. Když stahy svalových vláken uvolní své napětí, čočka zmohutní, a obraz bližších objektů se tak zaostří na sítnici. Svalový systém umožní zaostřit na objekty vzdálené od oka více než zhruba 10 cm. Tato vzdálenost se se vzrůstajícím věkem zpravidla zvětšuje. Schéma akomodace je uvedeno na Obrázek 2. Akomodace je nejvýraznější u kratších vzdáleností do 4 metrů.



Obrázek 2: Akomodace, změna ohniskové vzdálenosti čočky.

Konvergence

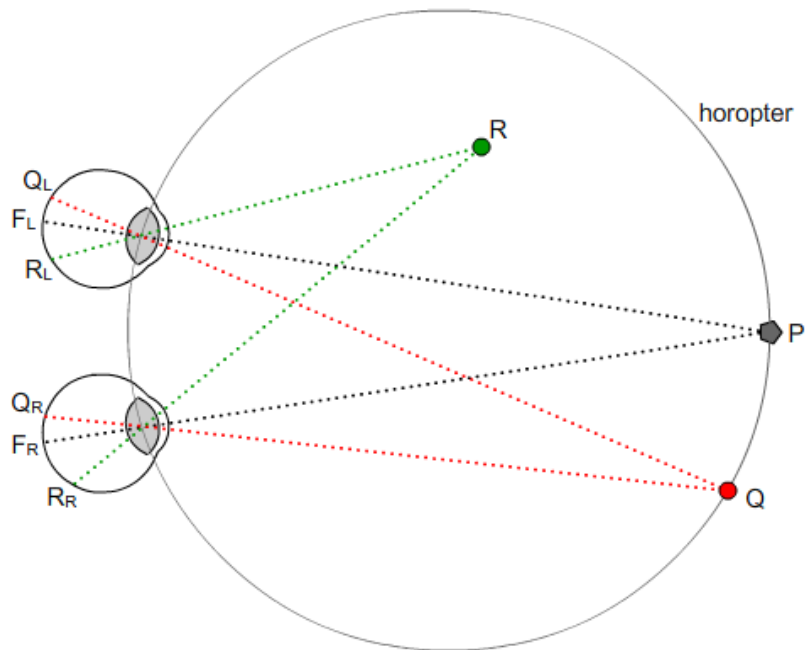
Konvergence je schopnost změnit úhel určený ohnisky očních čoček a pozorovaným objektem. Oči se mohou pootáčet kolem svých svislých os tak, aby obraz byl promítnut do středu sítnic obou očí, (Obrázek 3). Abychom viděli bližší objekty, oči se stáčí k sobě, konvergují. Při pohledu na vzdálený předmět se od sebe odtácejí, divergují. V reálném světě, pokud se díváme na velice vzdálené objekty, jsou optické osy očí rovnoběžné. K divergenci, kdy by se oči dostaly přes tento limit, u lidí nedochází. Přehnaná konvergence, ke které může snadno dojít, se nazývá překřížení očí (*cross eyed viewing*). Konvergence je doprovázena současnou akomodací čočky.



Obrázek 3: Konvergence. Oční svaly dokáží otočit okem tak, aby se dívalo směrem na cílový objekt. Jev konvergence je doprovázen současnou akomodací čočky.

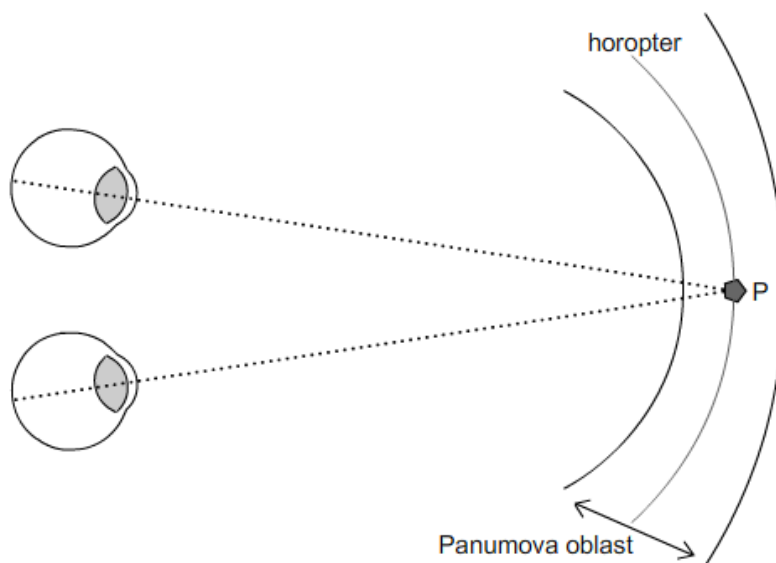
Binokulární disparita

Binokulární disparita je hlavním binokulárním vodítkem pro prostorové vidění ve středních vzdálenostech. Na Obrázek 4 je pohled zaměřený na bod P , jeho obraz dopadá do středů sítnic F_L, F_R . Bod Q , ležící v jiném místě prostoru má příslušné obrazy Q_L a Q_R . Tyto dva body jsou od bodů F_L, F_R stejně vzdáleny na obou sítnicích, mají nulovou disparitu a bod Q vnímáme stejně vzdálený jako P . Naproti tomu obrazy R_L, R_R bodu R leží na sítnicích v rozdílných vzdálenostech od bodů F_L, F_R , bod R je tedy vyhodnocen jako jinak vzdálený. Říkáme, že všechny body stejně vzdálené jako P leží na horopteru (*horos = hranice, opter = pozorovatel*) a tedy je vidíme ve stejné hloubce. Tvar horopteru záleží na lidském mozku, na tom, jak vnímáme vzdálenosti, není to rovina ani kulová plocha. Sítnicová disparita je způsobena rozstupem očí. Průměrný dospělý člověk má středy očních čoček (*inter-pupilar distance*) vzdáleny 63 mm.



Obrázek 4: Binokulární disparita

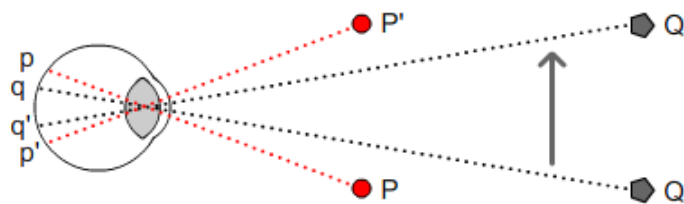
Jak je z obrázku patrné, kdybychom sítnice pro levé a pravé oko překryli, obrazy bodu P budou splývat. Totéž platí i pro bod Q, na který oko neostří, ale jenž leží na horopteru. Tedy $F_L \sim F_R$, stejně tak $Q_L \sim Q_R$. Body mimo horoptera se nepromítají na identická místa obou sítnic. Pak říkáme že jejich obrazy na sítnicích mají horizontální disparitu - jsou disparátní (disparitní). Disparita bude tím větší, čím jsou body od horoptera vzdálenější. Pokud disparita překročí dvacet úhlových minut, nedokáže již mozek spojit obrazy do jednoho zrakového vjemu a nastane dvojité vidění (diplopie). Pro obrazy s disparitou menší než je uvedená hodnota si dokáže mozek dopočítat třetí rozměr, tedy hloubku, v níž bod P leží. Takové body pak leží v tzv. Panumově oblasti, což je oblast kolem horoptera, kde ještě nedochází k diplopii. Mozek dokáže pracovat pouze s horizontální disparitou. V realitě nikdy u zdravých lidí nedojde k tomu, aby dva korespondující body na sítnici měly i vertikální disparitu.



Obrázek 5: Panumova oblast prochází celým zorným polem.

Pohybová paralaxa

Je významným klíčem k určení hloubky, zvláště při používání pouze jediného oka. Je určena rychlostí pohybu obrazu objektu na sítnici. Může být způsobena buď pohybem objektů anebo pohybem hlavy pozorovatele. Vzdálenější pohybující se objekty se jeví jako pomalejší oproti bližším. Příklad je ukázán na Obrázek 6, kde je divákovovo oko statické a pohybují se různě vzdálené body. Pokud je pohybová paralaxa přidána do scény, výrazně posiluje vjem hloubky. Oko pozoruje scénu se dvěma body P, Q v různých vzdálenostech. Body se pohybují stejnou rychlostí, dopadající obrazy na sítnici se pohybují rozdílně. Bližší bod P se pohybuje rychleji, $|pp'| > |qq'|$.



Obrázek 6: Pohybová paralaxa

2.3 Psychologická vodítka

Světlo a stín

Pro určení tvaru objektu a hloubky scény jsou tyto dva faktory těmi nejvýznamnějšími. Světlejší předměty s jasnými barvami se zdají být blíže než předměty nejasné a tmavé. Vržený stín objektu může více napovědět o umístění objektu v prostoru. Z předpokladu, že osvětlení přichází převážně shora lze vyvodit pocit konvexnosti i konkávnosti.

Gradient textur

S postupnou vzdáleností je textura čím dál tím méně patrná a výrazná. Jsou-li pro texturu použity geometrické vzory, díky lineární perspektivě se postupně zmenšují a lze usuzovat na hloubku objektu.

Relativní velikost

Větší objekty způsobují větší obraz na sítnici, tím navozují dojem, že jsou blíže k pozorovateli, než objekty menší, pokud jsou oba dva stejně ostré. Paměť zde pomáhá při určení hloubky podobných objektů. Pokud uvidíme postavu dospělého člověka z větší vzdálenosti, víme (máme v paměti), že postava není malá (malý obraz na sítnici), ale že je daleko.

Venkovní perspektiva

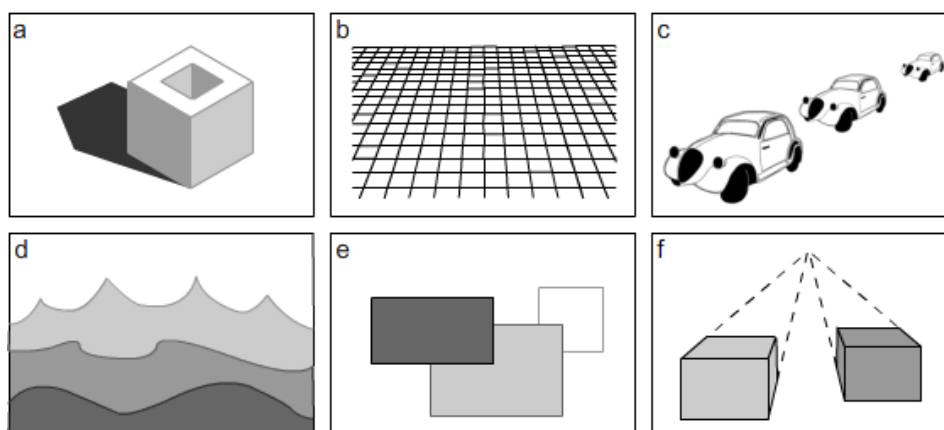
Vzduch je nedokonale průhledné prostředí. Malé částičky obsažené v atmosféře, jako vodní pára, kouř a prach, rozptylují světlo a mění jeho směr. S rostoucí vzdáleností dochází k rostoucímu zamlžení, rozostření objektů i k poklesu kontrastu. Venkovní perspektiva je patrná především u velkých vzdáleností, například v krajině.

Překrývání

Souvislé obrysy, které nejsou ničím překryty se zdají být blíže pozorovateli, zatímco ty, jež jsou částečně překryty jinými předměty, se zdají být až za nimi - dále.

Lineární perspektiva

Velice důležitý klíč k určení hloubky. Perspektiva je vztahem mezi blízkými a vzdálenými objekty. Vyjadřuje soustavné zmenšování velikosti obrazu objektů s jejich rostoucí vzdáleností od pozorovatele. Obrazy s výraznější perspektivou podněcují výraznější prostorový vjem především při stereoskopickém zobrazení.



Obrázek 7: Psychologická vodítka k určení hloubky: a) světlo a stín, b) gradient textur, c) relativní velikost, d) venkovní perspektiva, e) překrývání, f) lineární perspektiva.

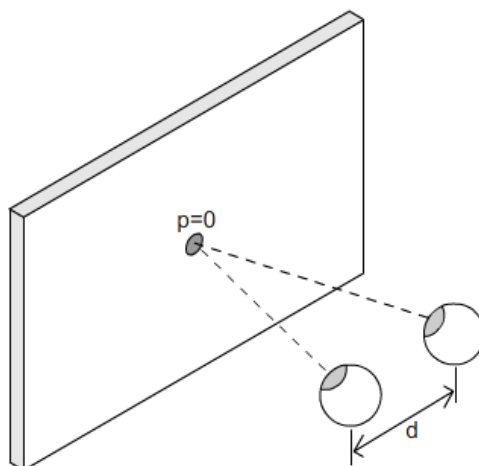
2.4 Paralaxa

V kapitole 2.2 jsme popsali binokulární disparitu. Je to horizontální vzdálenost mezi odpovídajícími body levého a pravého obrazu na superponovaném obraze obou sítnic. Lidský mozek je velice citlivý na tyto rozdíly a v praxi se prostorového efektu dosahuje právě pomocí binokulární disparity. Pocit hloubky je možné vytvořit i pokud nejsou použita žádná jiná vodítka. Na sítnice se promítá rozdílný levý a pravý obraz. Označme body, jež si vzájemně ve skutečnosti odpovídají na levém a pravém obraze, jako souhlasné body (*homologous points*). Paralaxa je horizontální vzdálenost mezi souhlasnými body levého a pravého obrazu. Je měřena jako vzdálenost na promítací rovině, nikoli na sítnici. Může být udána také ve stupních. Označme vzdálenost středů čoček jako d a velikost paralaxy

jako p . Optické osy očí leží v jedné rovině. Pokud se optické osy neprotínají před promítací rovinou, nabývá p kladných hodnot, v opačném případě nabývá hodnot záporných.

Nulová paralaxa

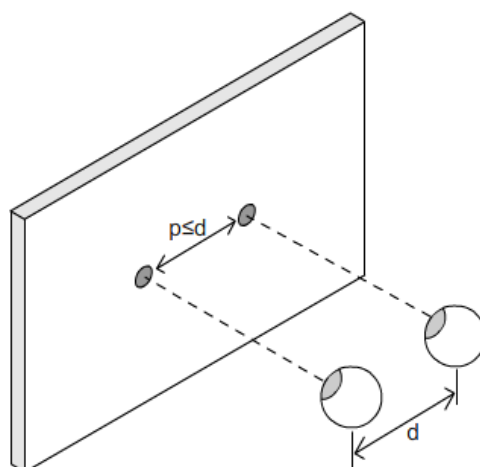
Pokud souhlasné body levého a pravého obrazu jsou totožné, vytvářejí nulovou paralaxu ZP (*zero paralax*). Při stereoskopické projekci se body mající nulovou paralaxu zdají být v rovině promítací plochy. Oči diváka jsou zaměřeny (konvergovány) na tuto promítací rovinu a optické osy očí se protínají v této rovině, jak ukazuje Obrázek 8.



Obrázek 8: Nulová paralaxa

Pozitivní paralaxa

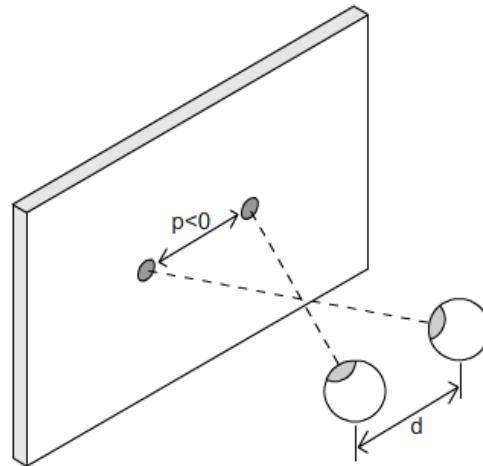
Obrázek 9 zobrazuje pozitivní paralaxu. Pokud divák sleduje objekt s pozitivní paralaxou, tento objekt se zdá být až za rovinou promítání. Speciální případ pozitivní paralaxy nastává v případě, kdy $p = d$ a osy obou očí jsou rovnoběžné. V reálném světě tento jev nastává, například sledujeme-li velice vzdálené objekty. U stereoskopické projekce je tento jev častý a přechází do stavu dle Obrázek 11. Významnou úlohu zde hraje velikost projekční roviny a vzdálenost diváka od této roviny.



Obrázek 9: Pozitivní paralaxa

Negativní paralaxa

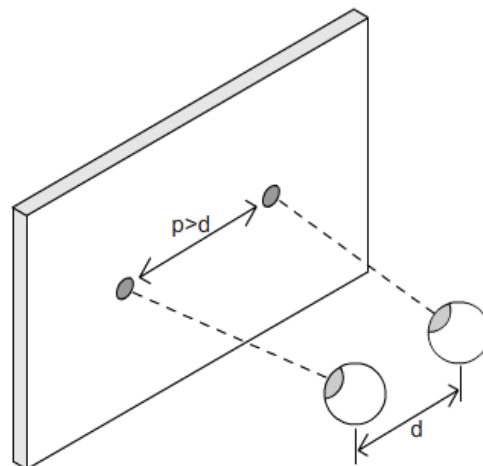
Další případ nastává, pokud souhlasné body obrazu mají mezi sebou určitou vzdálenost a optické osy očí jsou překříženy, $p < 0$, brázek 10. Hovoříme o negativní paralaxě. Objekty s touto paralaxou se zdají být před promítací rovinou. V projekčních řešeních, například stereoskopická kina, se využívá především negativní paralaxy, aby divák měl pocit, že z plátna objekty vystupují (*popping out effect*).



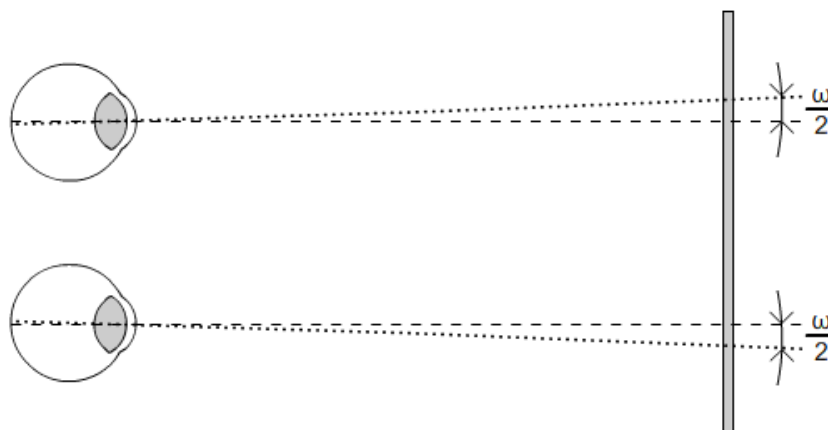
Obrázek 10: Negativní paralaxa

Divergentní paralaxa

Poslední případ paralaxy ukazuje Obrázek 11. Hodnota $p > d$ a optické osy očí se rozcházejí. V reálném světě tento případ nenastává, proto, pokud nastane ve stereoskopické scéně, způsobuje obtíže, jelikož lidské oko není k takovému pohybu fyziologicky uzpůsobeno. Na vzdálených a velkých promítacích rovinách nelze však dodržet velikost paralaxy $p \leq d$, obraz by neměl téměř žádnou hloubku, jelikož paralaxa by byla v poměru k vzdálenosti diváka od plátna velice malá. A naopak, pro malé vzdálenosti diváka od promítací roviny, nelze použít $p \approx d$, jelikož velký rozdíl mezi levým a pravým obrazem mozek nedokáže sloučit do jednoho prostorového obrazu. Je proto vhodné zavést určitá omezení, která povedou k určení mezi pozitivní a negativní paralaxy. Obecně by nemělo docházet k divergenci větší než $1,5^\circ$ (Obrázek 12).



Obrázek 11: Divergentní paralaxa



Obrázek 12: Maximální stupeň divergence by neměl přesahovat $1,5^\circ$.

2.5 Vztah akomodace a konvergence

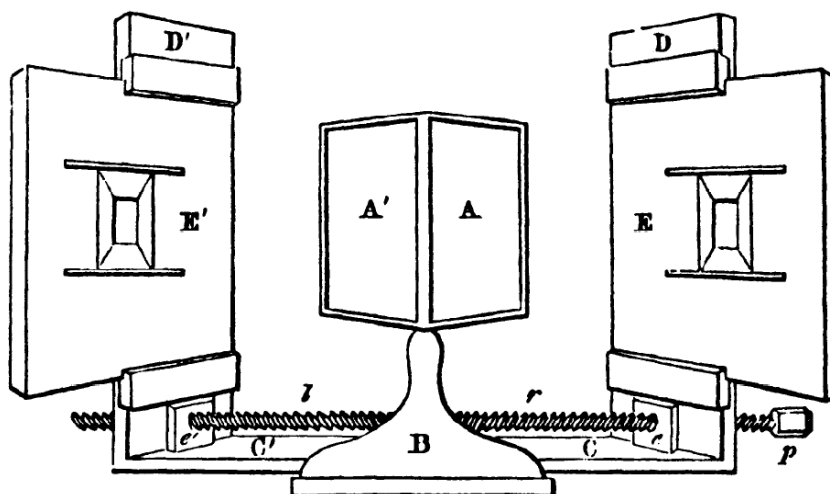
Pokud se divák dívá v kině na dvourozměrný film, jeho oči jsou konvergovány na promítací rovinu. Pokud se díváme na stereoskopický film, oči sledující záběr se musí znovu a znovu „překonvergovávat“. Svaly, které zaostřují pohled jsou řízeny neurologickými procesy, jež jsou odlišné od procesů řídících svaly mající na starost konvergenci. Lidé jsou zvyklí na každodenní běžný vztah mezi akomodací a konvergencí a tento jev, při kterém se využívají svaly, jež bývají za normálních okolností více v klidu, může u některých diváků vést k nepříjemným pocitům. Pokud je rozdíl mezi úhlem konvergence potřebným pro stereoskopický efekt a úhlem, který tvoří osy očí protínající se v rovině promítání, větší než $1,5^\circ$, potom nastává ztráta stereoeffektu, pro lidský vizuální systém je obtížné obrazy sloučit. Mezní případ nastává přibližně, když paralaxa mezi souhlasnými body je 0,03násobkem vzdálenosti od diváka k promítací rovině c : $p_{max} = 0,03c$. Pokud chceme docílit výrazného stereoeffektu, není zapotřebí nastavovat paralaxu na maximální snesitelné hodnoty. Pro objekty za nebo před promítací rovinou postačí nastavit pouze zlomek hodnoty p_{max} .

3 Techniky stereoskopického zobrazení

V této kapitole je popsáno několik základních technik používaných při stereoskopickém zobrazování. Vedle samotného popisu by bylo též užitečné jednotlivé techniky porovnat a vyjmenovat jejich hlavní výhody a nevýhody včetně pořizovacích a provozních nákladů a jiných zdrojů či podmínek potřebných pro jejich správné fungování.

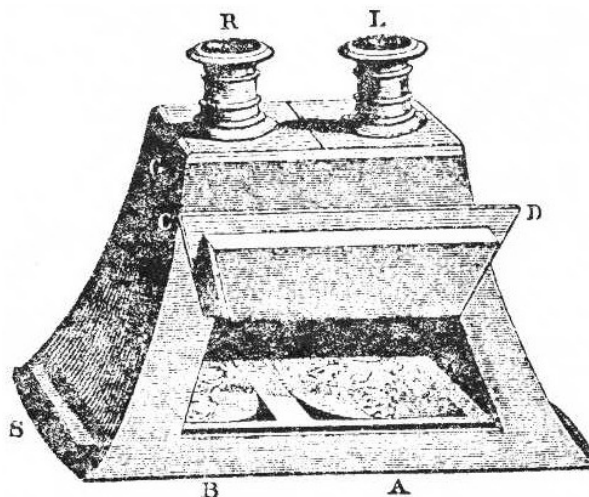
3.1 Historie

První zmínky o trojrozměrném vnímání a experimenty v této oblasti byly provedeny již ve starověku Euklidem Alexandrijským (330 – 270 př.n.l.), později též známým římským lékařem Claudiem Galenem (129 – 216 n.l.), kteří stejně zpozorovali, že každé oko vidí předměty jinak – z jiného úhlu. Řecký geograf, astronom a astrolog Ptolemaios (85 – 165 n.l.) studoval dvojité vidění a horopter. Dalšími významnými vědci, kteří zasáhli do této oblasti a zabývali se především optikou a binokulárním viděním, byli arabský fyzik a matematik Alhazen (Abu Ali al-Hasan, 965 – 1039), německý matematik, astronom a astrolog Johannes Kepler (1571 – 1630) a francouzský fyzik, matematik a filosof René Descartes (1596 – 1650). Významným pokrokem byla teorie syntézy obrazů na sítnici v mozku, na které měli zásluhu dva významní vědci: holandský fyzik a matematik Christian Huygens (1629 – 1695) a anglický matematik, fyzik, teolog a filosof sir Isaac Newton (1643 – 1727). Britský fyzik sir Charles Wheatstone (1802 – 1875) publikoval v roce 1838 článek, ve kterém popsal teorii hovořící o vzniku prostorového vjemu, jež podle něj vznikal až v lidském mozku pomocí binokulární disparity. Tento vědec je též tvůrcem prvního stereoskopu vůbec sestaveného roku 1839, jehož nákres vidíte na obrázku 13 [1]. Důkaz podal teprve až o více než sto let později britský neurolog prof. Horace Barlow (nar. 1921).



Obrázek 13: Wheatstoneův stereoskop.
Oči sledují v zrcadlech A', A zvlášť dva stereo-obrázky E', E.

Deset let po sestrojení prvního stereoskopu Charlesem Wheatstonem přišel skotský vědec, vynálezce, kněz a spisovatel sir David Brewster (1781 – 1868) s jednodušší a lehčí variantou tohoto přístroje. Zrcadla nahradil čočkami, zmenšil vzdálenost mezi stereopárem a očima pozorovatele, obrázky umístil vedle sebe, a přístroj tak získal kompaktní rozměry. Jeho náčrtek je na Obrázek 14 [1].



Obrázek 14: Brewsterův příruční stereoskop. Na dně přístroje se nachází stereopár (A, B), který může pozorovatel sledovat pomocí dvou okulárů R a L s polovičními čočkami.

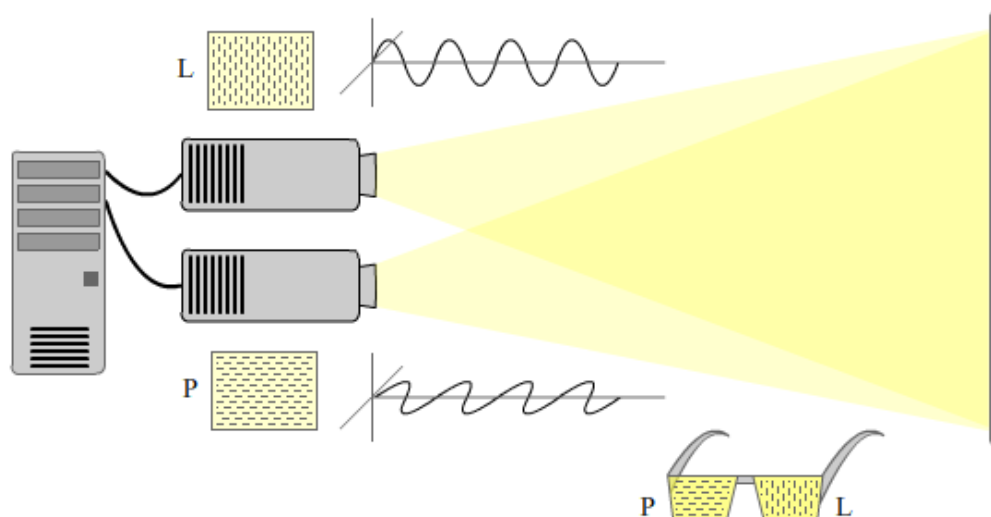
3.2 Současné technologie

Stereoskopické zobrazení v současné době využívá několika druhů technologií. V různých kombinacích pro tyto technologie lze použít různých zobrazovacích prostředků (zařízení): monitory, LCD či TFT displeje, zobrazení pomocí projektorů na promítací plátna, obvykle ve spojení s brýlemi, které „dešifrují“ obraz z těchto planárních zařízeních zvlášť pro levé a pravé oko. Některá zařízení dokonce takové brýle ani nepotřebují, případně existují speciální brýle, které v sobě mají zabudované přímo 2 displeje pro levé a pravé oko zvlášť - jedná se o tzv. náhlavní soupravy. Podívejme se blíže na nejrozšířenější metody stereoskopického zobrazování.

Pasivní projekce

(*Passive projection*) Pasivní 3D projekce je založena na brýlích, které mají v očnicích polarizační filtry. Jedna očnice má polarizační filtr orientovaný tak, že propouští pouze fotony světelného záření kmitající v horizontální rovině. Druhá očnice obsahuje stejný o devadesát stupňů otočený filtr, tedy propouští pouze světlo kmitající v rovině vertikální. Pro zobrazení se používají projektory, přičemž před každým z nich je upevněn taktéž polarizační filtr, jejichž nastavení koresponduje s nastavením filtrů na brýlích. Stereopár se následně promítá na jednu projekční plochu, která je vyrobena ze speciálního materiálu a opatřena povrchem, který zachová polarizaci dopadajícího světla. Odražené obrazy od projekční plochy se dostávají k divákovi, nicméně do každého oka pronikne (díky polarizačním filtrům v očnicích) pouze jemu příslušející obraz.

Propustnost běžných polarizačních filtrů pro DLP i LCD projektory je okolo 45%. Pro LCD projektory lze použít polarizační filtry s propustností až 70-75%. Tyto filtry ji využívají vlastní polarizace světla v projektoru. U filtrů je nutné zajistit také dobrou teplotní stabilitu, protože jsou při provozu vystaveny značným teplotám. Filtry se umísťují do externího držáku na nosné konstrukci projektorů nebo přímo jako předsádka na projektor.

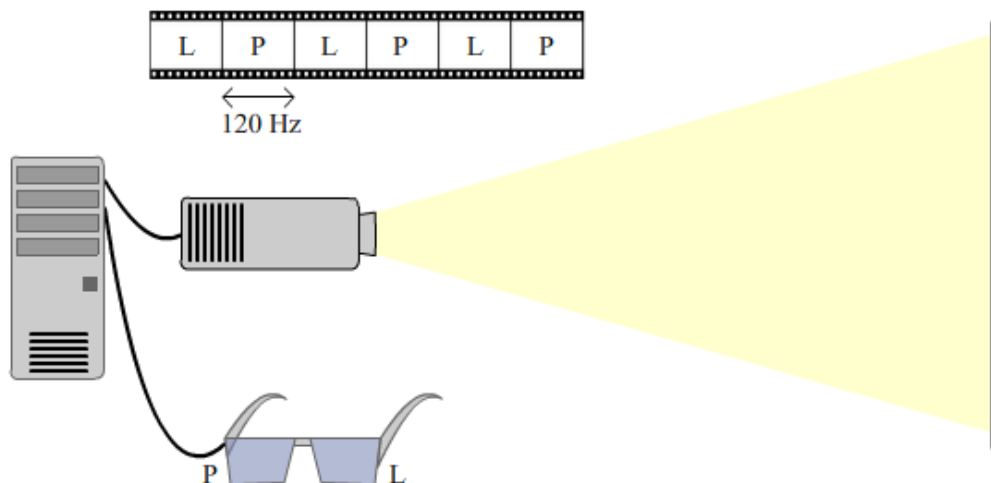


Obrázek 15: Schéma pasivní projekce. Světelné paprsky projektorů jsou polarizovány, obraz se odráží od speciálního projekčního plátna a divák vše pozoruje pomocí brýlí majících polarizační filtry v očnicích.

Aktivní projekce

(*Active projection*) Existuje i další způsob jak zajistit, aby pozorovatel obdržel do každého oka příslušný snímek. Diváci sledují obraz, který na plátně, monitoru či v televizi s dvojnásobnou snímkovou frekvencí, přičemž filmová políčka střídavě obsahují obrazy pro levé a pravé oko. Elektronické brýle diváka se dálkově (většinou s pomocí IrDA paprsku, nebo kabelem) synchronizují se zdrojem vysílání a střídavě zatmívají levé nebo pravé oko. Výsledkem je, že každý lichý snímek vidí pozorovatel jedním okem a každý sudý okem druhým. Tímto systémem se sice sníží frekvence promítaných obrazů na každé oko na polovinu, nicméně každé oko dostává pouze správně předurčený obraz. Vlivem jakési obrazové setrvačnosti oka, jež je schopno si udržet obraz po dobu zhruba 40 ms, je poté z dvojice oddělených snímků mozek schopen následně složit skutečnou trojrozměrnou scénu. Oproti běžnému způsobu zobrazení je tedy nutné, pokud to použitá technologie dovoluje, zvýšit obrazovou frekvenci na dvojnásobek, aby bylo každé oko zásobeno dostatečným počtem snímků a nedocházelo tak k nepříjemnému trhanému dojmu pozorovaného filmu nebo jiné videosekvence.

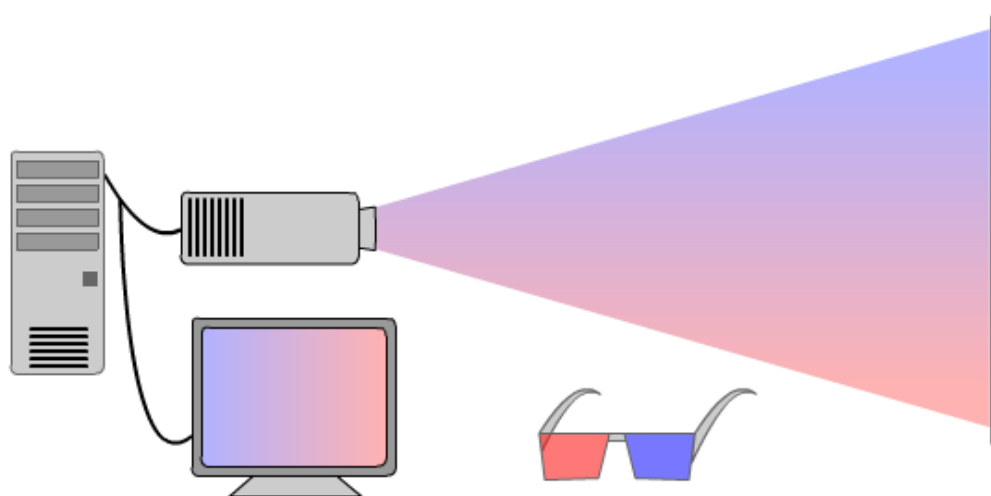
Aktivní stereoskopické brýle nejsou zcela průhledné a mají vysokou absorpci světla – okolo 65%. Nutnost střídání jednotlivých obrazů na monitoru i projektoru ztmaví scénu nejméně o 50%. Celkový úbytek světla je potom okolo 80%.



Obrázek 16: Schéma aktivní projekce. Projektor zobrazuje videosekvenci s dvojnásobnou frekvencí, očné brýle jsou synchronně zatmívány, aby se do každého oka dostal patřičný obraz.

Anaglyf

(*Anaglyph*) Projekce typu anaglyf je jednou z nejrozšířenějších metod zobrazování prostorových obrazů či filmů. Známa je především díky snadno zajištělné projekci. Stačí pouze brýle, které jsou vybavené jedním červeným a jedním modrým nebo zeleným filtrem v očnicích. Nepísaným pravidlem je, že levá oční brýle je vybavena červeným filtrem.



Obrázek 17: Schéma projekce anaglyfu. Stereopár je smíchán v jediný obraz složený ze dvou základních barev - červená (pro pravé oko), modrá příp. zelená (pro levé oko).

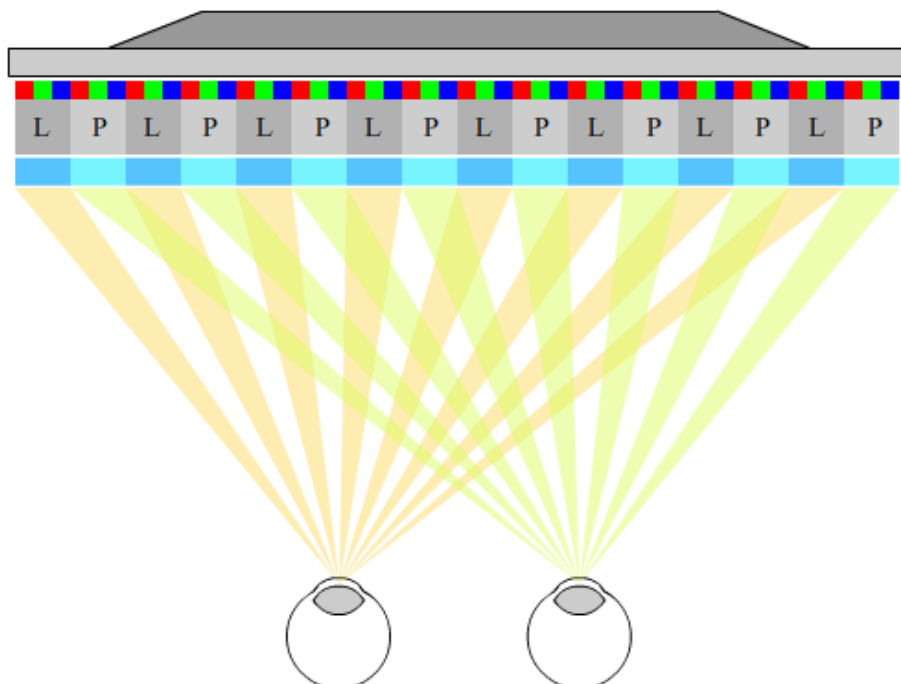
Sledovaný obraz scény obsahuje smíchané oba stereoobrazy v sobě, pouze základní dvojice barev (červená a modrá nebo červená a zelená) slouží pro jejich oddělení. Pokud divák sleduje scénu s takovými brýlemi, do každého oka více či méně dostává (díky příslušným barevným filtrům) separátní obraz. Mozek ve výsledku vygeneruje z těchto obrazů scénu. Avšak za snadným a finančně nejméně náročným trojrozměrným zobrazením se skrývá ztráta barevné informace. Situace je o to komplikovanější, že divák vidí scénu každým okem zcela barevně jinak (jedním okem červeně a druhým modře nebo zeleně). Mozek diváka se sice tyto ruchy snaží eliminovat, ale vjem nikdy není

tak kvalitní a především příjemný jako u jiných typů 3D projekcí. Zřídka u některých jedinců může různobarevnost vjemu jednoho a druhého oka vyvolávat mírné bolesti očí.

Výhodou anaglyfů však je snadné šíření 3D záznamů, které lze tisknout, nahrávat na obyčejné videokazety, přehrávat bez speciálních počítačových aplikací a promítat běžnými projektory.

Autostereoskopie

(*Autostereoscopy*) Monitory založené na tomto principu mají velkou výhodu; není potřeba sledovat scénu brýlemi, ať již pasivními či aktivními. Před monitorem je umístěna speciální fólie tzv. prizmová maska, jejímž úkolem je lámat světlo různých svislých pixelových sloupců vedle sebe vždy trochu jiným směrem. Některé monitory nabízejí dva směry, tudíž každý lichý svislý pixelový sloupec je zlomen směrem jedním a sudý sloupec směrem druhým. V tomto případě dostává divák do každého oka patřičný oddělený obraz a mozek skládá trojrozměrnou scénu správně. U pasivních autostereoskopických monitorů je nucen uživatel sedět v předem dané pozici před obrazovkou, při vychýlení z pozorovacího úhlu (*sweet spot*) dojde ke ztrátě trojrozměrného vjemu. Tuto situaci výrazně řeší aktivní stereoskopický monitor, který pomocí kamerového systému sleduje oči uživatele (v jiné variantě čelenku na hlavě uživatele) a upravuje prizmovou masku před monitorem, aby i při výrazném pohybu hlavy nedocházelo k porušení stereoskopického vjemu. Kromě těchto dvou druhů monitorů, existuje také další zajímavá verze, hodí se např. pro reklamní účely, u které je lom světla veden až do celkem devíti směrů, čili na monitor se může současně dívat větší počet diváků a navíc je velkou výhodou, že monitor mohou dokonce obcházet - obrazy jsou totiž generovány synchronně. Při pohybu před monitorem tak diváci pozorují scénu z více úhlů, což působí velmi poutavě.



Obrázek 18: Schéma autostereoskopického monitoru. Před zobrazovací plochou monitoru se nachází prizmová maska, která lomí světlo z lichých sloupců pixelů do levého oka a ze sudých do oka pravého.

Náhlavní soupravy

(*Head-mounted display*) Tento systém je vybaven dvěma nezávislými CRT, LCD, LCos (Liquid Crystal on Silicon) nebo OLED obrazovkami po jedné před každým okem, čočkami a polopropustnými zrcadly. Obraz je pomocí čoček zvětšen a promítnut do vzdálenosti od pozorovatele, na kterou může zaostřit. Brýle bývají obvykle vybaveny stereofonními sluchátky, někdy také přístrojem (*tracker*) pro určení polohy hlavy diváka. Vše je spojeno v podobě jakési helmy či vizoru.

Výrobci levnějších zařízení obvykle neuvádějí zorný úhel, jaký zákazník spatří. Z reklamních důvodů používají průměr – např. ekvivalenci se sledováním 70 palcové obrazovky ze vzdálenosti 4 metrů, což jistě působí dobře. Není ale dobré nechat se těmito poutavými údaji unést. Spočítáme-li zorný úhel, zjistíme, že se jedná o pouhých 20°, což je přibližně 11% zorného pole člověka (až 180°). Pro porovnání: sledování 19 palcového monitoru z běžné vzdálenosti 60 cm skýtá zorný úhel přibližně 35°. Kvalitnější vizory umožňují pozorovat scénu v zorném úhlu přes 40°.



Obrázek 19: Helma hi-ResSVGA+ firmy Cybermind (vlevo, cca 150 000 Kč) a jednodušší vizor I-glasses VIDEO Pro 3D (vpravo, cca 30 000 Kč).

3.3 Srovnání jednotlivých technologií

Metoda	Barevnost	Rozlišení í obrazu	Vhodné pro projekci	Zobrazení na monitoru	Počet diváků	Náklady
Anaglyf	naprostá ztráta	střední	ano	ano	vysoký	velmi nízké
Aktivní projekce	plná	vysoké	ano	ano (ne LCD)	omezený	vyšší
Pasivní projekce	plná	vysoké	ano	ne	vysoký	střední
Autostereoskopie	plná	střední	ne	ano	velmi malý	vysoké
Náhlavní soupravy	plná	střední	ne	–	jeden	střední

Tabulka 1: Srovnání výhod a nevýhod metod pro stereoskopické zobrazování

Jak lze vyčíst z tabulky, některé stereoskopické metody jsou vhodnější pro různá použití. Například pasivní metoda se nejvíce hodí pro projekce s vyšším počtem diváků - 3D kina, větší prezentace. Aktivní metoda je vhodnější pro menší skupinu, nebo pro domácí využití např. pro hraní 3D her na PC a autostereoskopický monitor obdobně, jedná se však o mnohem dražší přístroj. U něj je dokonce dobré využití v reklamě a při výstavách a exhibicích. Anaglyph, který je finančně nejdostupnější je velmi špatná metoda a hodí se pouze pro specifické, víceméně jen pro zábavu či reklamní využití.

4 Optimalizace pro stereoskopické zobrazení

Chceme-li, aby uživatel měl co nejlepší dojem ze stereoskopické projekce, použití těch nejmodernějších technologií nezajistí nejlepší vjem. V této kapitole se zaměříme na zobrazení trojrozměrných scén klasickými osobními počítači. Budeme se snažit najít způsoby co nejoptimálnějšího renderování při zachování dostatečné realističnosti, tyto optimalizace se budou týkat jak zobrazovacích algoritmů tak zobrazovaných scén.

4.1 3D vizor eMagin Z800

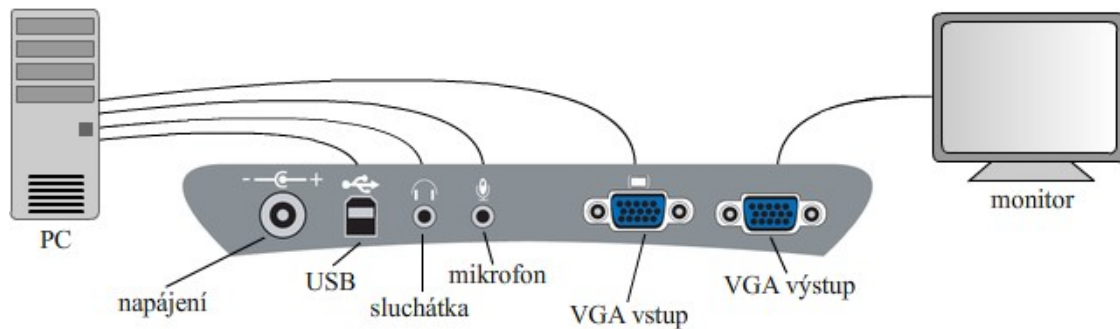
Pro testování stereoskopických zobrazení použijeme náhlavní soupravu 3D vizor eMagin Z800. Proto zde jen krátce uvedu její technické údaje a vlastnosti. Brýle jsou vybaveny dvěma OLED displeji, systémem pro sledování polohy hlavy (head-tracking), sluchátky a mikrofonem.

Rozlišení:	800 × 600 px
Barevná hloubka:	24 bitů
Kontrast:	200:1
Zorné pole:	40°
Hmotnost:	cca 270 g
Připojení:	USB + VGA

Stereoskopické zobrazení je podporováno pouze grafickými kartami s chipsetem nVidia Geforce, navíc ke stereoskopickému zobrazení jsou potřeba zvláštní 3D stereo ovladače.



Obrázek 20: Popis zařízení 3D vizor Z800. Šipky značí možné nastavení rozestupu očnic a jejich sklonu.



Obrázek 21: Schéma zapojení kontroléru

4.2 Optimalizace scény

V této kapitole se zaměříme na optimální nastavení vlastností scény, aby umocnily stereoeffekt. Zaměříme se především na použití psychologických vodítek a pokusíme se ohodnotit jejich dopad na výsledný dojem z pozorované scény. Jelikož se jedná o hodnocení dojmu, nelze tato pozorování vyjádřit exaktně, ale pouze relativně, nehledě na to, že dojem je záležitostí čistě subjektivní. Bylo by proto dobré provést průzkum na více jedincích a teprve tyto výsledky poté diskutovat.

4.3 Optimalizace zobrazovacích algoritmů

Pokusíme se nalézt některé nedostatky při renderování scény pro stereoskopické zobrazení. Zaměříme se především na použití rozhraní OpenGL. Jelikož je pro stereo-zobrazení zapotřebí dvou obrazů téměř ze stejného místa ve scéně a ve stejné chvíli, bylo by dobré nalézt optimální cestu při přenášení takto podobných dat z aplikace na grafickou kartu. Budeme se soustředit především na časově náročnější operace, jakými jsou výměna materiálu (textury) na grafické kartě apod.

5 Závěr

Zjištěné informace, které jsou obsahem tohoto dokumentu, by měly sloužit jako základ pro práci na optimalizacích stereoskopických zobrazení. Cílem by mělo být docílení efektivnějšího renderování scén, větší realističnost obrazu a celkově lepší dojem bez nepříjemných pocitů, které se při nesprávném stereo-zobrazení mohou vyskytovat.

6 Použitá literatura

- [1] Lipton L.: *Foundations of the Stereoscopic Cinema: A Study in Depth*, Van Nostrand Reinhold, 1982.
- [2] Lipton L.: *StereoGraphics Developers' Handbook*. StereoGraphics Corporation, 1997.
- [3] van Monckhoven, D.: *A Popular Treatise on Photography*. Thorntwaite. Londýn, 1863.
<http://albumen.stanford.edu/library/monographs/monckh/>