

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra optiky

Jana Grézlová

Obor: Přístrojová optika

# 3D VIDĚNÍ

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Radek Čelechovský, Ph. D.

OLOMOUC 2011

**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Mgr. Radka Čelechovského, Ph. D., za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Prostějově dne: 12. 5. 2011

.....

**Poděkování:**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat všem, kteří mi pomáhali při vytvoření bakalářské práce, zejména však Mgr. Radkovi Čelechovskému, Ph. D., vedoucímu mé bakalářské práce.

# Obsah:

<b>Obsah:</b> .....	<b>4</b>
<b>Úvod:</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Lidské vidění</b> .....	<b>7</b>
1.1 Monokulární vidění (dívání se jedním okem) .....	7
1.2 Binokulární vidění (dívání se oběma očima) .....	12
<b>2 Historický vývoj 3D</b> .....	<b>16</b>
<b>3 Snímání a sledování stereoskopické scény</b> .....	<b>21</b>
3.1 Nastavení kamer .....	21
3.1.1 Toe-in metoda .....	21
3.1.2 Off-axis metoda .....	22
3.2 Sledování stereoskopické scény .....	22
<b>4 Používané stereoskopické technologie</b> .....	<b>25</b>
2.1 Anaglyf .....	25
2.2 Pasivní 3D projekce - Polarizační metoda .....	27
2.3 Vektograf .....	28
2.4 Aktivní 3D projekce .....	29
2.5 Spojení pasivní a aktivní stereoskopie .....	31
2.6 Technologie INFITEC .....	32
2.7 Pulfrichův efekt .....	33
2.8 Autostereoskopické displeje .....	34
2.9 ChromaDepth .....	38
2.10 Autostereogram .....	40
<b>5 Realizace a testování 3D kamery</b> .....	<b>41</b>
<b>Závěr</b> .....	<b>48</b>
<b>Seznam použité literatury a jiných zdrojů:</b> .....	<b>50</b>

## Úvod:

Lidé berou fakt, že vidí prostorově jako samozřejmou věc, protože jsme od přírody vybaveni párem očí a každé z nich nahlíží na svět z jiné perspektivy. Složením a porovnáním těchto dvou obrazů jsme schopni vnímat hloubku. Z tohoto důvodu jsme schopni rozlišit, zda je pozorovaný předmět dál, nebo blíž. Pokud bychom neměli pár funkčních očí, ale pouze jedno, tak bychom tyto podněty nemohly vnímat tak dokonale.

Tato problematika je stále častěji zmiňovaná v médiích a to z pohledu umělého navozování tohoto vjemu. Na trh se dostává stále víc výrobků a nových technologií, díky kterým se můžeme z běžného sledování dvourozměrného obrazu dostat i do jeho hloubky, neboli třetího rozměru.

Tato bakalářská práce Vás v první kapitole uvede do problematiky monokulárního a binokulárního vidění a přirozeného vnímání hloubky. V úvodu musím upozornit, že tato problematika je velice rozsáhlá, proto jsem se zaměřila pouze na vysvětlení základních pojmů.

V další kapitole bude vysvětleno, jak si hloubkový vjem navodit uměle sledováním plošného obrazu, který je složen se dvou obrazů odpovídajících pohledu pravého a levého oka. V této kapitole se dozvíme, jak tyto obrazy pořídit a jaký faktor se uplatní při sledování stereoskopické scény.

Další kapitola je věnována aktuálně používaným technologiím, díky kterým jsme schopni pořízené snímky pro pravé a levé oko přes sebe vhodně přeložit a správně poté oddělit tak, aby nám dopadl správný obraz do správného oka.

Poslední kapitola popisuje experiment, kdy byla ze dvou webových kamer sestavena jednoduchá 3D kamera, s jejíž pomocí byly pořizovány stereoskopické snímky. Tyto snímky pak byly zpracovány v programu na výrobu anaglyfů, z kterého vznikly barevně oddělené obrazy, které lze s pomocí odpovídajících brýlí vidět trojrozměrně. Dále bylo ověřeno, že tyto snímky lze pořídit i jedním fotoaparátem, který však musel být umístěn na pojezdové liště pro tento účel vytvořené, a na stativu.

Mimo těchto dvou metod bylo ověřeno, že lze pořídit stereoskopické snímky i za pomoci termovizní kamery a následně stejným způsobem složit a sledovat trojrozměrně.

Kromě metody anaglyf byla odzkoušena i metoda aktivní projekce (za pomoci speciálního aktivního monitoru a blikajících brýlí).

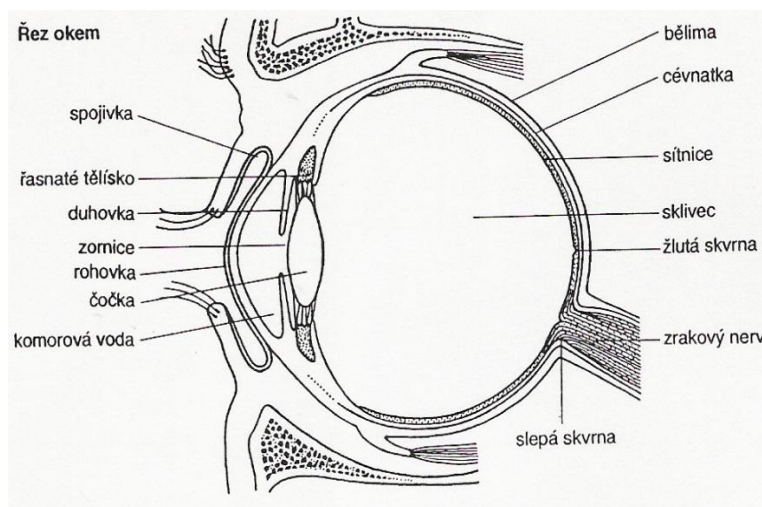
# 1 Lidské vidění

Tato kapitola má za úkol uvést čtenáře do problematiky lidského vidění. Nejdříve se budeme zabývat problematikou monokulárního vidění a vnímání prostoru pouze jedním okem. Další část je věnována binokulárnímu vidění, díky kterému lze vnímat prostor mnohem kvalitněji, než pouze jedním okem. O tento fakt se poté budeme opírat i v následujících kapitolách.

## 1.1 Monokulární vidění (dívání se jedním okem)

### 1.1.1 Stavba lidského oka

Oko má přibližně kulový tvar a průměr asi 24mm. Je umístěno v dutině, která mu dovoluje pouze otáčivý pohyb.



Obr. 1.1: Řez pravým okem (obrázek převzat z [1]).

Obal oka je tvořen třemi blanami: vnější, vnitřní a střední.

Vnější je tvořena bělimou a rohovkou. Bělma zaujímá celkem 5/6 vnější vrstvy. Přední část vnější vrstvy tvoří průhledná rohovka.

Střední blána je tvořena cévnatkou, řasnatým tělískem a duhovkou. Tato vrstva obstarává hlavně výživu nitroočních tkání, proto se jí říká živnatka. Cévnatka zaujímá celou vnitřní stěnu bělimy. Řasnaté tělísko má prstencový tvar a jeho vnější část se napojuje na

bělimu. Duhovka je tvořena prstencem a přechází vnějším obvodem do řasnatého tělíska. Nachází se před čočkou a menším obvodem ohraničuje zornici. Vnitřní blána se jmenuje sítnice. Sítnice obsahuje na světlo citlivé tyčinky a čípky a také nervové podpůrné buňky s vlákny.

### **1.1.2 Optická soustava oka**

Kromě fyziologické stavby je třeba zmínit i optickou soustavu oka, přes kterou musí projít veškeré světlo, které se nám má zobrazit na sítnici.

Optická soustava oka je tvořena rohovkou, očním mokem, čočkou a sklivcem. Lámací plochy mají přibližně kulový tvar a jejich středy leží na optické ose. Oční mok je bezbarvá kapalina, nacházející se mezi rohovkou a čočkou. Čočka je bikonvexní a má průměr přibližně 10 mm a tloušťku asi 5 mm. Čočku na svém místě drží svaly, které vycházejí od vnitřní strany řasnatého tělesa. Prostor za čočkou je tvořen rosolovitou látkou, kterou nazýváme sklivec.

### **1.1.3 Vznik zrakového vjemu**

Zrakový vjem vzniká tím, že se světlo odražené od pozorovaných předmětů po průchodu optickou soustavou oka zobrazí na sítnici, na které jsou buňky citlivé na světlo (tyčinky a čípky). Tyčinky jsou citlivější na světlo a barvy dokáží zaznamenat pouze jako odstíny šedi. Čípky jsou méně citlivé na světlo, ale zajišťují barevné vidění. Tyčinky jsou na sítnici uloženy hlavně mimo žlutou skvrnu (fovea). Nejvíce čípků se nachází ve žluté skvrně.

Mimo žlutou skvrnu se na sítnici nachází také tzv. slepá skvrna. Je to místo, kde z oka vystupuje zrakový nerv.

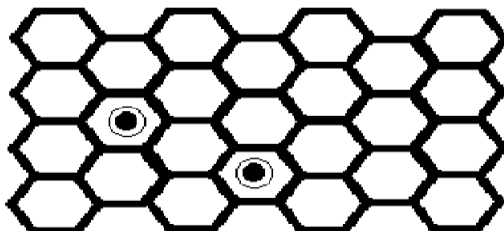
Pomocí stahování a roztahování duhovky si oko reguluje množství světla, které do něj vstupuje. Zornice (pupila) má v nejmenším průměru asi 2mm a v největším až 8mm.

### **1.1.4 Viditelnost**

Abychom byli schopni rozeznat pozorovaný předmět od jeho okolí, musí vykazovat určitý kontrast. Kromě kontrastu je též velmi důležité, aby měl tento předmět určitou velikost. V tom, aby člověk byl schopen od sebe rozlišit například dva různé body, je člověk omezen rozlišovací schopností oka. Právě kontrast a rozlišovací schopnost oka jsou dva nejhlavnější faktory, které určují viditelnost předmětu.

Vyššího kontrastu předmětu lze dosáhnout buď různobarevným osvětlením, nebo při jednobarevném osvětlení různou intenzitou osvětlení.

Rozlišovací schopností oka rozumíme minimální úhlovou vzdálenost, při které je oko ještě schopno od sebe rozlišit dva body.



*Obr. 1.2: Zobrazení 2 bodů na sítnici*

Na obrázku vidíme 2 body na sítnici. Na sítnici se bod zobrazí vždy jako rozptylový kroužek. Dva body od sebe rozlíšíme pouze tehdy, pokud jejich obrazy dopadnou na sítnici a je mezi nimi alespoň jeden čípek. Protože průměr jednoho čípku je zhruba 0,005 mm a ohnisková vzdálenost oka přibližně 17 mm, pak úhlová rozlišovací schopnost oka je  $\psi = 0,005/17 = 0,003 \text{ rad} = 1'$ . To znamená, že abychom rozlíšili dva body, tak jejich úhlová vzdálenost musí být minimálně  $1'$ .

#### **1.1.5 Akomodace oka**

Oko má schopnost vidět předměty v různých vzdálenostech. Toto je umožněno různým zakřivováním přední strany čočky. Tato schopnost se nazývá akomodace. Čím blíže je pozorovaný předmět, tím více se tato plocha zakřivuje a tím se zmenší ohnisková vzdálenost oka. Totéž platí i v opačném případě.

Bod, při kterém se sítnice nejvíce zakříví a ještě se zobrazí ostře, nazýváme blízký bod oka. Vzdáleným bodem oka se nazývá bod, který se na sítnici zobrazí ostře, pokud je oko v klidu (má nulovou akomodaci).

U normálního oka je vzdálený bod v nekonečnu a vzdálenost blízkého bodu se mění s věkem. Čím vyšší věk, tím vzdálenější je blízký bod. Po 50. roce života se však začne měnit i poloha vzdáleného bodu. Nejideálnější vzdálenost pro čtení se nazývá konvenční zraková

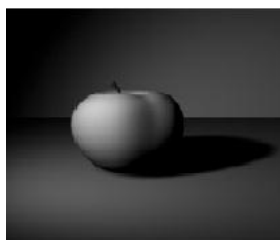
vzdálenost značená  $l=250$  mm. Tyto údaje jsou však pouze pro zdravé oko, které není zatíženo vadami [2].

### 1.1.6 Monokulární vnímání hloubky

Ačkoliv nelze v principu vnímat prostor pouze jedním okem, lze tento vjem získat ze zkušenosti. Tyto podmínky jsou základem pro stanovení hloubky v obraze, proto i při sledování dvourozměrného obrazu dokážeme odhadnout, který objekt byl při záznamu dál a který blíž.

#### 1. Světlo a stín

Je základním faktorem, vypovídající o tom, že je pozorovaný objekt prostorový. Pomůže nám zjistit, zda je oblý, nebo jsou jeho hrany ostré. Dále zjistíme polohu objektu vzhledem v povrchu, na kterém leží (obrázek 1.3).



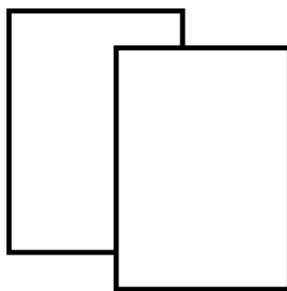
*Obr. 1.3 : Světlo a stín (obrázek převzat z [42])*

#### 2. Relativní velikost

Ze zkušenosti víme, že objekty, které jsou blíže, se jeví jako větší a objekty které jsou vzdálenější, se zdají být menší. Díky naší paměti pak lze odhadnout, zda je známý předmět dál nebo blíž.

#### 3. Vzájemná poloha

Pokud jeden objekt zakrývá část druhého objektu, tak ze zkušenosti víme, že první objekt musí být blíže, než ten druhý (obrázek 1.4). S tímto jevem musíme počítat hlavně v případě, pokud nám má objekt vystoupit před obrazovku, nesmí být částečně zakryt okrajem obrazovky.



*Obr. 1.4: Určení vzájemné polohy dvou překrývajících se předmětů.*

#### 4. Texturní gradient

Hustota textury se zvyšuje, pokud se objekt vzdaluje. Na obrázku 1.5 je znát, že hustota textur se s přibývajícím vzdáleností zvyšuje a objekty se zmenšují.



*Obr. 1.5: Zvyšující se hustota textury s rostoucí vzdáleností (obrázek převzat ze [7])*

#### 5. Atmosférické vlivy

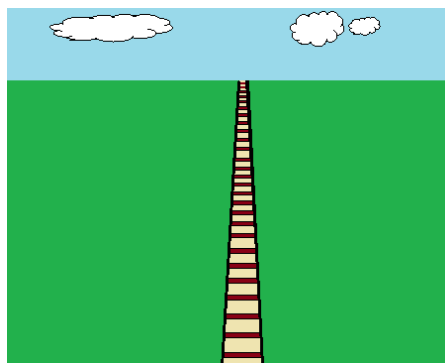
Vzdálenější objekty se zdají být se sníženou viditelností díky oparu. Hodně vzdálené objekty se díky rozptylu světla mohou jevit namodralé. Velice známé jsou tímto faktorem zkreslené různé záběry z hor.

#### 6. Pohybová paralaxa

Pokud jsme v pohybu, můžeme pozorovat zdánlivý pohyb ve skutečnosti stojících předmětů okolo nás. Čím blíže tyto předměty jsou, tím rychleji se zdánlivě pohybují. Například osoba jedoucí v autě pozoruje okolí, a zatímco stromy okolo cesty ubíhají rychle, kopec v dáli se skoro nehýbe.

## 7. Perspektiva

Perspektiva způsobuje to, že pokud postavíme stejné objekty za sebe do řady, tak se nám vzdálenější objekty budou jevit jako by byly u sebe blíž (obrázek 1.6). Perspektiva tedy způsobuje zkracování linií. Např.: koleje se nám budou směrem k horizontu opticky přibližovat [8].



*Obr. 1.6: Koleje, které se s rostoucí vzdáleností zdánlivě přibližují*

### **1.2 Binokulární vidění (dívání se oběma očima)**

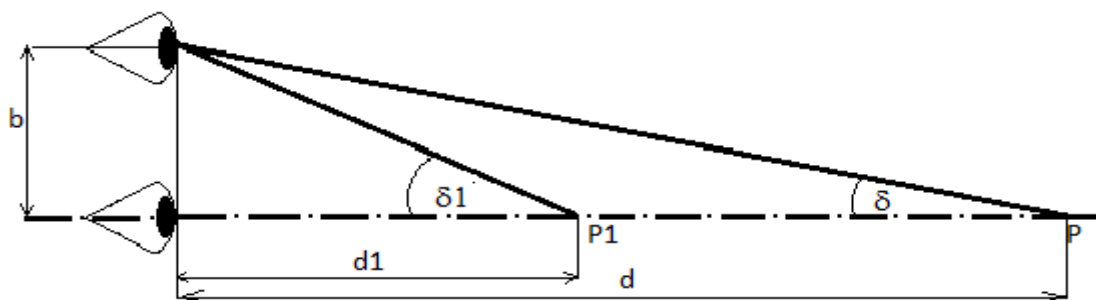
Jedním okem (monokulárně) lze posoudit vzdálenosti asi jen do 4 metrů a to jen přibližně. Oběma očima (binokulárně) se vzdálenosti posuzují mnohem lépe.

Binokulární vidění je tedy dívání se oběma očima zároveň. To znamená, že splynou dva obrazy z obou sítnic a vznikne jeden zrakový vjem. Aby se tento vjem mohl realizovat, musí spolupracovat tři funkční složky oka. Optická složka, která způsobuje, že pozorovaná scéna se zobrazí na naší sítnici ostře. Motorická složka způsobuje nastavení očních bulbů tak, aby obraz dopadl do optického centra v obou očích. A senzorická složka odvádí informaci ze sítnic obou očí do korových center, kde nám tyto dva obrazy splynou. Různost těchto dvou obrazů je příčinou prostorového (stereoskopického) vidění [6].

Středů očních pupil jsou od sebe vzdáleny průměrně 65 mm, krajní hodnoty mohou být od 56 až do 75 mm. Když pozorujeme předmět, tak stáčíme naše oční bulby tak, aby se nám osy obou očí v předmětu protínaly. Oba obrazy, které jsou ploché, se od sebe budou lišit, protože naše oči jsou vůči předmětu v různé poloze a to způsobí, že když se v mozku (nebo spíše v korových centrech) tyto obrazy složí, tak vidíme prostorově.

### 1.2.1 Stereoskopická paralaxa

Na obrázku vidíme, že pokud pozorujeme určitý bod oběma očima, tak nám osy našich očí svírají úhel  $\delta$ , který nazýváme stereoskopická paralaxa.



Obr. 1.7: Stereoskopická paralaxa

Stereoskopickou paralaxu také můžeme vypočítat ze vzorce  $\delta = \frac{b}{d}$ , kde  $b$  je vzdálenost očních pupil a  $d$  vzdálenost bodu od oka. Předměty  $P$  a  $P_1$  budeme vnímat v různých vzdálenostech prostorově, pokud bude rozdíl paralax  $|\delta - \delta_1|$  větší nebo roven  $\delta_0 = 0,0001$  rad, což odpovídá  $\delta_0 = 20''$  [3]. Hodnota  $\delta_0$  se nazývá mez stereoskopického vidění. Tato hodnota je u každého člověka jiná, většinou se pohybuje mezi  $10''$  a  $30''$ .

### 1.2.2 Poloměr stereoskopického vidění

Poloměr stereoskopického vidění  $d_0$  je vzdálenost, od které již nejsme schopni vidět stereoskopicky. Tato vzdálenost se vypočítá pomocí očního rozestupu a meze stereoskopického vidění:  $d_0 = b / \delta_0$  [4].

### 1.2.3 Binokulární pohyby

Abychom byli schopni sledovat určitý předmět prostorově, musí se na něj zaměřit naše oči tak, aby se tento předmět správně promítl na sítnici. K tomu, aby se oční bulvy správně nastavily, musí vykonat pohyb, který budou koordinovaně provádět obě oči zároveň. Tyto pohyby můžeme rozdělit do dvou skupin pohybů, tzv. verze a vergence.

Verze jsou koordinované pohyby obou očí. Při těchto pohybech osy očí zůstávají paralelní. Verze můžeme rozdělit do 6 základních pohybových směrů (pohled šikmo vpravo nahoru, šikmo vpravo dolů, vpravo, šikmo vlevo nahoru, šikmo vlevo dolů a vlevo).

Vergence jsou koordinované pohyby obou očí, při nichž oči konají protisměrné pohyby. Buď se osy očí stáčí k sobě (konají konvergentní pohyb), nebo se mohou stáčet od sebe (divergentní pohyb) [5].

#### **1.2.4 Horopter a Panumův prostor**

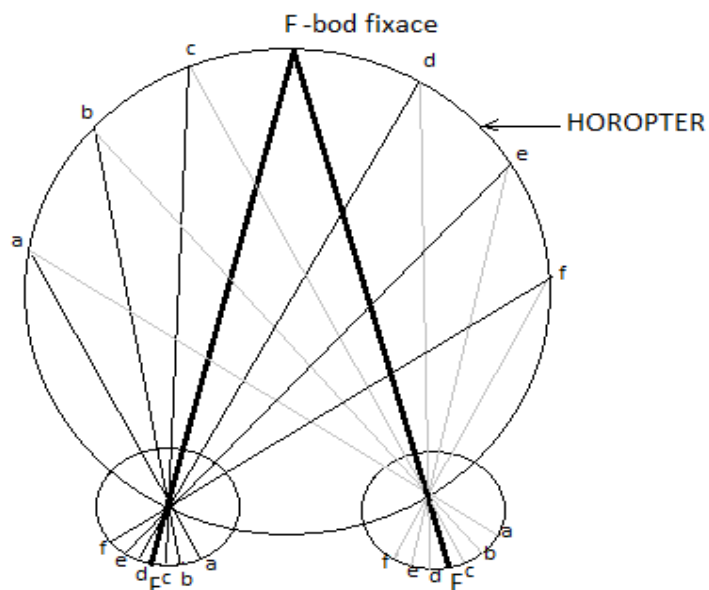
Abychom správně viděli pozorovaný předmět prostorově, nemusí jeho obraz dopadnout přímo do fovey, ale pouze do některých ze vzájemně korespondujících bodů. Tento fakt je pro nás velmi důležitý, protože v praxi nelze zobrazit celý pozorovaný prostor do fovey.

Vzájemně korespondujících bodů je na sítnici celá řada. Hlavními korespondujícími body jsou fovey (místa s nejostřejším viděním). Kolem nich je soustava dalších vzájemně korespondujících bodů. Body na sítnici, které spolu nejsou vzájemně korespondující, se nazývají disparátní. Obrazy, které dopadnou do těchto bodů, budeme vidět v prostoru dvojité.

Souhrn všech bodů v prostoru, jejichž obrazy dopadají do korespondujících bodů, při určitém postavení očí, nazýváme horopter (viz obrázek 1.8), který tvoří vyklenutou plochu, jež prochází fixačním bodem (bod, na něj se zaměřujeme).

S horopterm souvisí Panumův prostor. Panumův prostor je prostor, kde je stereoskopické vidění možné i z lehce disparátních bodů obou sítnic. Stereopsi proto lze nazývat také Panumovým viděním.

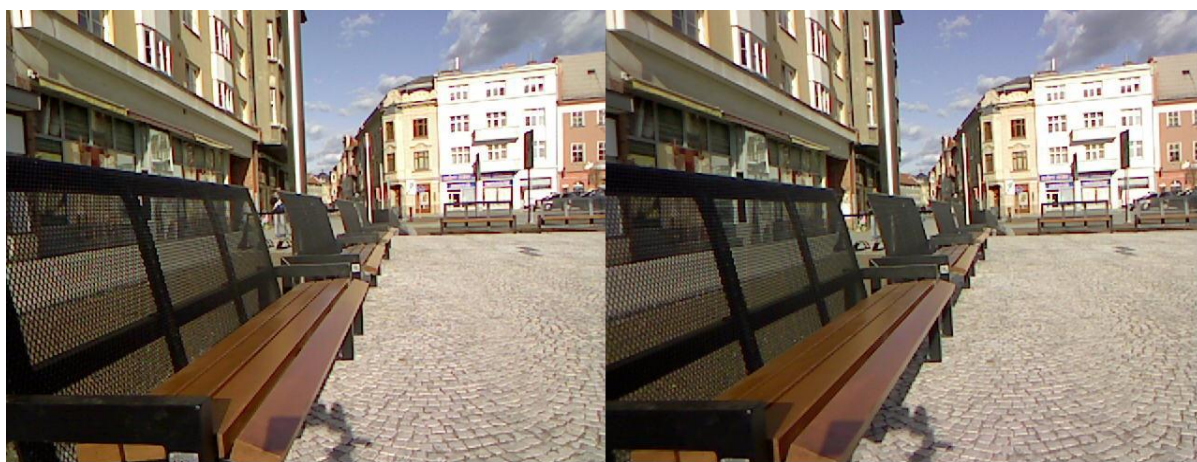
Předměty, které budou před nebo za horopterm, se budou zobrazovat dvojité. Člověk se naučil v průběhu života toto dvojité zobrazení nevnímat [6].



*Obr. 1.8: Korespondující body sítnice*

### 1.2.7 Umělé navození prostorového vjemu

Prostorový vjem si lze navodit i uměle, při pozorování plošného obrazu. K tomu, aby se nám to povedlo, potřebujeme dvojici obrazů (stereoskopický pár), kterou přeložíme přes sebe a pomocí vhodné technologie od sebe tyto dva obrazy oddělíme tak, aby nám padl správný obraz do správného oka.

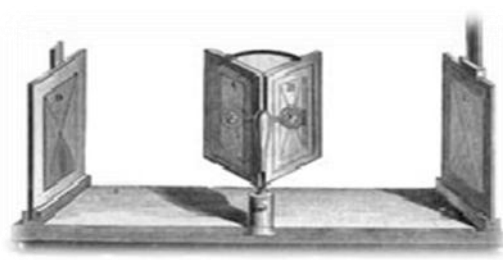


*Obr. 1.7: Stereoskopický pár*

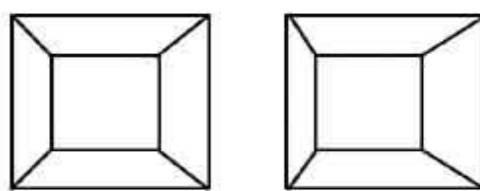
Stereoskopický pár lze pořídit dvojicí totožných kamer, nebo fotoaparátů, nebo vhodným posuvem jednoho fotoaparátu.

## 2 Historický vývoj 3D

V roce 1838 byl vynalezen první přístroj pro pozorování dvou stereoskopických obrázků britským vědcem sirem Charlesem Wheatstonem (1802-1875). Stereoskop pracoval pomocí zrcadel, princip znázorněn na obrázku 3.1. Pozorovaly se dva plošné obrázky (viz. obrázek 3.2), na které se divák díky konstrukci díval ze dvou úhlů, a proto se předmět jevil jako plastický.



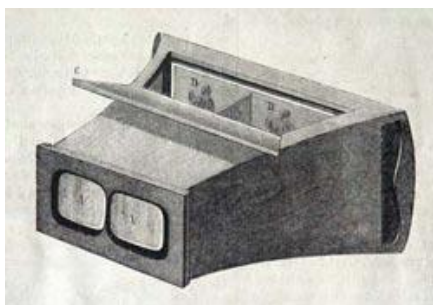
*Obr. 3.1: Wheatstonův stereoskop*



*Obr. 3.2: Wheatstonovy stereoobrazy*

*Obrázky 3.1 a 3.2 byly převzaty z [33].*

V roce 1849 zkonstruoval britský vědec sir David Brewster stereoskop, vyobrazený na obrázku 3.3, který byl oproti Wheatstonovu stereoskopu mnohem menší a nepoužíval už zrcadla, ale čočky. Tento první stereoskop byl vystaven v roce 1851 na výstavě v Londýně a tam zaznamenal velký úspěch a s pořízením stereoskopického snímku královny Viktorie se stereoskopie začíná dostávat do podvědomí široké veřejnosti [33].



*Obr. 3.3: Brewsterův stereoskop (obrázek převzat z [33])*

Oliver Wendell Holmes měl snahu tento stereoskop ještě zmenšit, proto vymyslel ruční stereoskop, ve kterém se může měnit série až 100 stereoobrázků viz. obr. 3.4.



*Obr. 3.4: Holmesův stereoskop (obrázek převzat z [34])*

Prvním prototypem přístrojů pro focení 2 stereoskopických snímků najednou byla fotografická komora, vyobrazená na obrázku 3.5, vynalezená Johnem Benjaminem Dancerem. Dříve bylo používáno buď dvou aparátů umístěných vedle sebe, nebo jednoho aparátu, který se po vyfocení jednoho snímku posunul o danou vzdálenost. Tuto komoru vynalezl v roce 1853. Měla dva objektivы odděleny vnitřní přepážkou. Obraz se zaznamenával na jednu, na koloidovou desku o rozměru 8 x 17 cm.

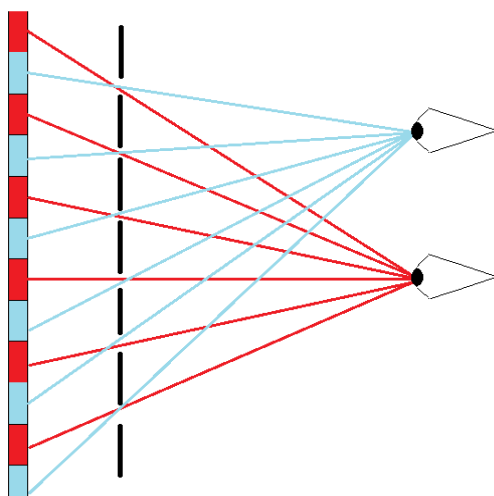


*Obr. 3.5: První stereoskopická komora (obrázek převzat z [34])*

Tento přístroj byl vybaven pouze jedním měchem, proto musela být uprostřed přepážka, aby obraz z jednoho objektivu nezasahoval do obrazu druhého a naopak. Proto se později začaly používat komory se dvěma měchy. Postupně se přístroje vylepšovaly tím, že již byly vybaveny vodováhou a jejich ovládací prvky byly svázány. Do počátku 20. století bylo uvedeno na trh velké množství nejrůznějších druhů stereoaparátů a rozšířil se i výběr formátů [34].

V roce 1891 přichází Hauron s objevem anaglyfu, tj. oddělení pravého a levého oka pomocí červeno - zelených filtrů. Byly to fotografie, sestavené ze dvou negativů (zelený a červený), vytištěné na jeden list papíru.

V roce 1903 byla poprvé aplikována metoda s názvem paralaxní bariéra (obrázek 3.6). Tato metoda spočívala v tom, že dva obrazy od sebe oddělovala bariéra tak, aby padl správný obraz do správného oka. Tuto metodu poprvé aplikoval Frederick E. Ives a později Estenave a pojmenoval ji „Parallaxstereogram“. Jedná se o metodu, kdy pomůcka pro stereoskopické pozorování není umístěna na očích, ale na obraze, kde byly proužky krycí barvy, které tvořily bariérový rastr, který každému oku dovolil vidět jen ten obraz, který byl pro něj určený a obraz pro druhé oko prvnímu oku zakryl. Nevýhodou byla špatná viditelnost obrazu, protože byly k dispozici pouze dva pohledy. Obdobu této metody se dnes používá v autostereoskopických displejích. Úplně prvním průkopníkem této metody byl však již v roce 1692 francouzský malíř G. A Gois-Clair, který rozdělil dvě malby do vzájemně prostříhaných pruhů a umístil je za mříž ze svislých latí, se stejnou roztečí. Při pohledu zleva byl vidět jeden obraz a při pohledu zprava druhý [36]. Výrobu takovýchto obrazů za pomoci fotografických metod dále navrhli roku 1896 nezávisle na sobě Jacobson a Berthier. Však teprve Frederick E. Ives ji dokázal úspěšně aplikovat.

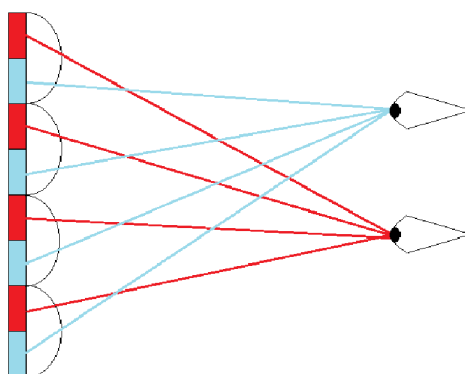


*Obr. 3.6: Paralaxní bariéra*

V roce 1915 Clarence W. Kanolt navrhl, aby se přidaly i další pohledy. Metodu pojmenoval „ParallaxPanoramagram“.

V roce 1908 navrhl francouzský fyzik Gabriel Lippmann (1845-1921) metodu rekonstrukce trojrozměrného obrazu pomocí sady čoček. Obraz se pomocí této sady čoček

snímá a potom i rekonstruuje. Tato metoda se nazývá integrální [35]. Kolem roku 1920 navrhl Herber Ives za pomoci skupiny vědců, nahradit dosud používanou sadu čoček za tenké plankonvexní válcové čočky (lentikuly). První skutečné lentikulární obrazy však byly vyrobeny až kolem roku 1930 Viktorem Andersnem, jehož firma začala produkovat až miliony těchto výtisků ročně [36] (viz. obrázek 3.7).



*Obr. 3.7: Princip lentikulárního obrazu*

V prvním čtvrtletí 20. stol. objevil jeden z největších odborníků na stereoskopii Carl Pulfrich jev, který spočívá v tom, že pokud pozorujeme pohybující se předmět a před jedno oko umístíme tmavý filtr, tak obraz z tohoto oka dostáváme do mozku o něco později. Pokud nám mozek spojí aktuální a zpožděný obraz, tak jej mozek spojí jako prostorový obraz[33]. Detailnější popis této metody v další kapitole.

Na přelomu 19. a 20. století se stereo fotoaparát stává přenosným a dostupným zařízením (Kodak Brownie na obrázku 3.8), přesto jsou pořizovány převážně jen snímky státníků a vzácných artefaktů.



*Obr. 3.8: Kodak Brownie (obrázek převzat z [38])*

Až po roce 1922 vzniká první stereoskopický film „The Power of Love“ a následuje výroba různých zobrazovacích přístrojů pro stereografii.

V roce 1935 je uveden barevný film a o deset let později je komerčně prodáván i stereografický přístroj. Kolem roku 1950 vrcholí zájem o stereoskopické filmy, následuje však úpadek trvající až do 60. let, kdy je stereoskopie v krizi a téměř upadá v zapomnění. Nástup počítačů v 70. letech oživuje 3D zejména s firmou Silicon Graphics a jejich 3D stereo zobrazením zejména pro vědecké a vojenské účely. Stereografie se rozvíjela dál, ale sériově vyráběný digitální fotoaparát pro veřejnost vznikl až v roce 2009 (Fuji 3D na obrázku 3.9) [37].



*Obr. 3.9: Digitální fotoaparát Fuji 3D (obrázek převzat z [37])*

V roce 2010 byla na trh uvedena první 3D kamera Panasonic HDC-SDT750, která obsahuje speciální dvojitý objektiv, který umožní natáčet dva stereoskopické obrazy. Kamera je určená pro širokou veřejnost a 3D natáčí v HD rozlišení [39].



*Obr. 3.10: 3D kamera Panasonic HDC-SDT750 (obrázek převzat z [39])*

### 3 Snímání a sledování stereoskopické scény

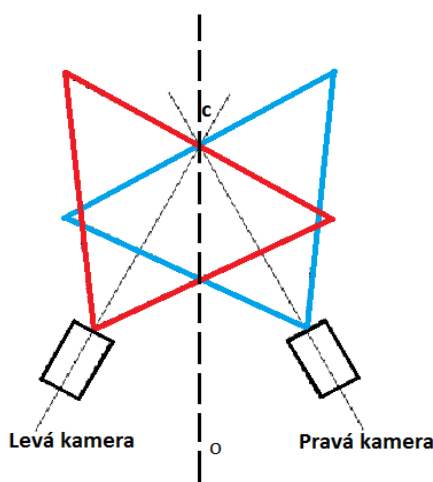
Abychom mohli sledovat stereoskopickou scénu, musíme ji nejdříve správně zaznamenat. Záznam lze provést dvojicí totožných kamer, nebo správným posunem jedné, to však lze použít jen u statických snímků. Výhodnější je však použít dvojici totožných kamer. V této kapitole je vysvětleno, jak tyto kamery správně nastavit a dál je tu blíže popsán hlavní faktor, který se uplatní při pozorování stereoskopické scény. Tímto faktorem je úhel, zvaný stereoskopická paralaxa, pod kterým naše oči sledují určitý objekt. Tímto úhlem je dáno, zda objekt vystoupí z obrazovky, nebo se naopak zanoří dovnitř.

#### 3.1 Nastavení kamer

Jednotlivé kamery lze nastavit dvěma způsoby. Každý má své výhody a nevýhody, avšak oba tyto způsoby lze pro snímání stereoskopické scény použít.

##### 3.1.1 Toe-in metoda

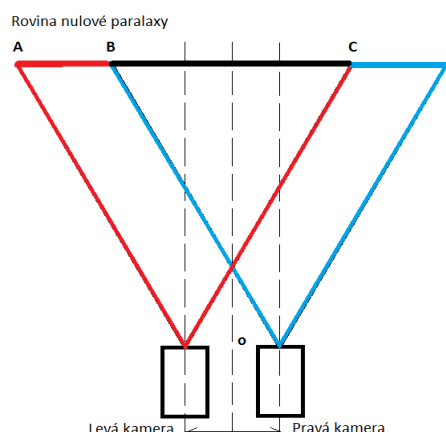
Tato metoda je založena na faktu, že osy kamer budou natočeny k sobě a budou se protínat v jediném bodě (viz. obrázek 1.8). Toto nastavení odpovídá konvergujícím lidským očím. Tato metoda však není vhodná, protože nám zavádí tzv. vertikální paralaxu, což je vertikální posuv objektů, na který naše oči nejsou z běžného života zvyklé, proto by to mohlo vést až k bolestem hlavy.



Obr. 1.8: Toe-in metoda

### 3.1.2 Off-axis metoda

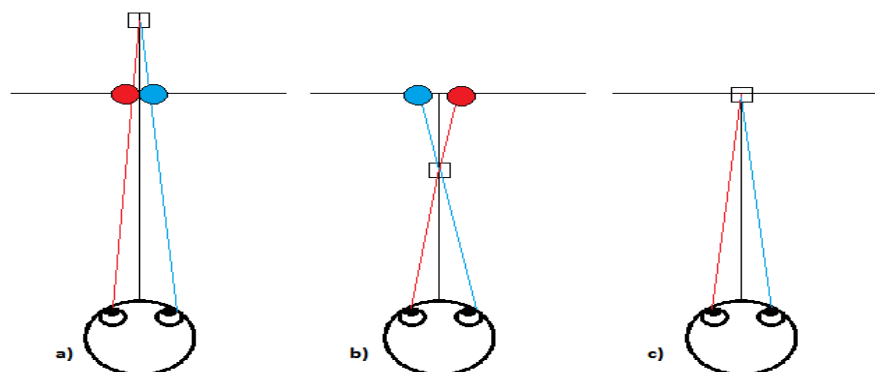
Tato metoda spočívá v tom, že osy kamer jsou rovnoběžné (viz. obrázek 1.9). Toto nastavení nezavádí vertikální paralaxu, takže je pro naše oči pohodlnější. Nevýhodou této metody je fakt, že každá kamera zabírá část prostoru společného s druhou kamerou (vzdálenost mezi body C a D) a část prostoru, který je mimo záběr druhé kamery. Proto je nutné pro kvalitní obraz tuto část obrazu ořezat z pravé i levé kamery. Část obrazu, kterou je třeba ořezat, je část obrazu mezi body A-B a C-D [9].



Obr. 1.9: Off-axis metoda

### 3.2 Sledování stereoskopické scény

Vystoupení objektu z obrazovky, nebo naopak zanoření do obrazovky je způsobeno stereoskopickou paralaxou (úhel, pod kterým naše oči pozorují předmět).



Obr. 1.10: Druhy stereoskopické paralaxy

Pokud se nám má jevit obraz v hloubce za obrazovkou, budeme ho pozorovat s kladnou paralaxou (obrázek 1.10 a), to znamená, že obraz pro pravé oko bude posunut vpravo a obraz pro levé oko doleva.

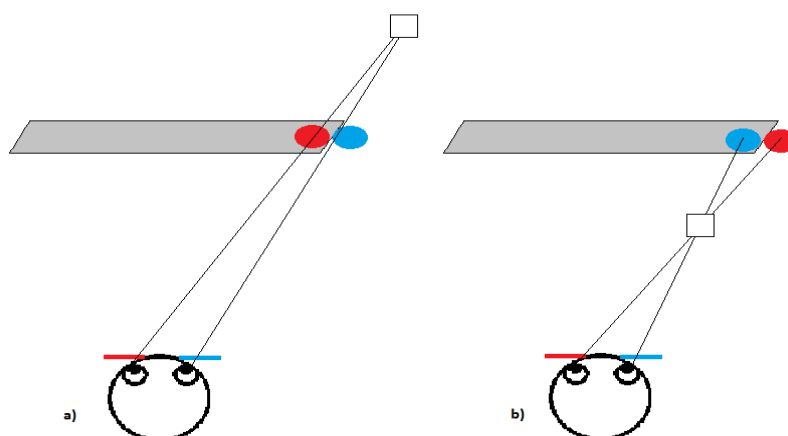
A pokud nám má vystoupit obraz před obrazovku, bude působit záporná paralaxa (obrázek 1.10 b), takže obraz pro pravé oko bude posunut doleva a obraz pro levé oko doprava.

V obrázku 1.10 c vidíme nulovou paralaxu, což pro nás znamená, že se nám obrazy přesně složily na sebe, a proto není pro naše oči nijak barevně posunutý. Proto se nám bude jevit normálně na obrazovce (tedy 2D).

Tři problémy, které se nám uplatní hlavně při záznamu na kameru a při stříhu filmu:

1. problém je, že při stříhu filmu není možné přejít ze záporné paralaxy do kladné a naopak, protože by to působilo nepřírozeně. Náš mozek na toto není zvyklý, a proto by nás brzy rozbolela hlava. Proto se musí přecházet vždy přes nulovou paralaxu.

2. problém nastane u metody anaglyf, pokud nám objekt přijde, nebo naopak odejde z obrazovky (obr. 1.11). Pokud je objekt v popředí (negativní paralaxa) a odejde nám vpravo pryč z obrazovky. V tom okamžiku nastane pro naše oči problém, protože objekt zmizí nejprve levému oku a potom pravému, což není pro naše oči obvyklé (vždy totiž nejprve zmizí objekt pravému oku a teprve potom levému).



*Obr. 1.11: Odchod objektu z obrazovky*

Na obrázku 1.11 a) vidíme situaci, která je pro naše oči přirozená. Objekt, který pozorujeme je v hloubce obrazovky (kladná paralaxa) a proto nám zmizí nejdříve pro pravé oko a potom pro levé.

Na obrázku 1.11 b) je situace, kdy máme objekt v popředí, a proto nám objekt zmizí nejdříve pro levé a potom pro pravé oko. Tato situace se dá jednoduše řešit tím, že se na okraj umístí tzv. létající okénko, kterým se vykryje předmět ze snímků i pro druhé oko. Pro mozek to bude působit přirozeně. Toto „létající okénko“ můžeme pozorovat, pokud se pozorně zadíváme na 3D film bez brýlí, tak uvidíme na jeho okrajích červený a modrý proužek.

3. problém nastává i tehdy, pokud máme film s titulky. Všechny doplňkové texty a grafika se musí umístit před nejvystouplejší předmět, protože jinak by se zrušil celý 3D vjem. Titulky jsou pro 3D projekci rušivé a proto je lepší se jim vyhnout [10].

## 4 Používané stereoskopické technologie

V dnešní době již existuje celá řada metod, pro získání trojrozměrného vjemu, tyto metody se však stále vyvíjejí. V této kapitole jsou uvedeny aktuálně používané metody, které jsou dostupné na našem trhu.

### 2.1 Anaglyf

Definice: „Anaglyf jsou 2 stereoskopické obrázky, které jsou tištěny na sebe ve dvou barvách, které když budeme pozorovat pomocí brýlí, které mají skla stejných barev, do každého oka dostaneme jen požadovanou barvu a mozek interpretuje vjem ve třech rozměrech“ [11].

Pro anaglyf se nejčastěji používají kombinace barev: červená (pro levé oko) a modrá (pro pravé oko), nebo kombinace červená a zelená, červená a azurová (Cyan).

Obrázky se tvoří (kódují) do dvou barevných vrstev, které se překrývají. Zatímco hlavní objekt se nachází zpravidla ve středu, tak v příčném směru jsou posunuty vpravo i vlevo dva různě barevné obrázky, každý pro jedno oko.

#### Jak tato metoda funguje?

Při použití vhodně zvolených barevných kombinací brýlí, každé oko vidí trochu jiný obrázek. Například v červeno-modrých anaglyfech, levé oko s červeným filtrem vidí červené části obrazu jako bílé a modré části jako černé a oko, na kterém je modrý filtr, vnímá opačný účinek. Mозek obdrží obraz od každého oka a vnímá rozdíly jako výsledek obrazu v různých vzdálenostech [12].

Při použití kombinace barev s červenou však může vznikat rušivý efekt, protože červená barva je pro naše oko dominantnější, proto pro nás nebudou ostatní barvy dostatečně věrohodné a my zcela ztratíme barevnou informaci. Proto bylo vynalezeno několik dalších metod, které umožňují věrnější barvy a tím i lepší celkový dojem z pozorovaného objektu [11].

## 1. ColorCode 3D metoda

Používá brýle se dvěma různobarevnými sklíčky, jedno je modré a druhé žluté (vytvořeno kombinací červené a zelené barvy). Obrázky jsou pak kódovány podobně jako u klasického anaglyfu, pro jedno oko je modrá složka a pro druhé červenozelená složka. Díky této volbě barev si tato metoda zachovává věrné barvy. Žluté sklíčko téměř vůbec nezakresluje barvy a modré sklíčko nám vytvoří subjektivní dojem tím, že propouští hlavně jasovou složku [13].

## 2. Anachrome metoda

Je speciální variace metody Anaglyf. Při prvním pohledu na brýle Anachrome se zdá, že jsou velmi podobné klasickým brýlím anaglyfovým, jen jejich modrozelené sklíčko je více do zelena. Ale na tuto metodu musí být speciálně kódované obrázky, které ovšem lze pozorovat i klasickými red-cyan brýlemi, naopak je možné pozorovat brýlemi Anachrome i klasicky kódované anaglyf obrázky. Zvláštnost Anachrome metody spočívá v tom, že pravým sklíčkem (modrozelená) jsou vidět všechny tři barvy (červená, zelená i modrá). Červená barva je tedy vidět přes oba filtry, ale přes každý je vidět jiný odstín. Cílem této metody je odstranit barevný šok, který na naše oči působí při použití běžných anaglyfů [14].

### Výhody:

Je to velice levná metoda, dostupná pro širokou veřejnost. Snadné prohlížení z tisku, videa, projekcí, počítače...Není třeba drahých speciálních metod.

### Nevýhody:

Barevně deformovaný obraz, divák takřka ztrácí barevnou informaci. Díky nekvalitnímu obrazu není tato metoda tolik oblíbená, jako jiné 3D metody (např. aktivní, nebo pasivní projekce).

## **2.2 Pasivní 3D projekce - Polarizační metoda**

Tato metoda spočívá v promítání dvou stereoskopických obrazů, každý s jinou polarizací na jedno projekční plátno. A za pomoci speciálních brýlí vidíme 3D efekt.

### **Jak tato metoda funguje?**

Jak už bylo řečeno, promítáme dva obrazy na jedno projekční plátno a k tomu potřebujeme dva projektory. Před každý projektor umístíme polarizační filtr. Před jedním projektorem bude filtr, propouštějící pouze světlo, kmitající v horizontální rovině a před druhým bude filtr, propouštějící světlo, které kmitá ve vertikální rovině. K tomu všemu je potřeba ještě polarizačních brýlí, které budou mít stejné filtry, jako jsou před projektory. Takže pokud bude před projektorem, který nám má zprostředkovat pohled pravého oka, filtr, který propouští světlo v horizontální rovině, musíme mít i na pravém oku stejný filtr. Naopak na levém oku budeme mít filtr propouštějící světlo, kmitající ve vertikální rovině, proto jím obraz z projektoru pro pravé oko neuvidíme [15].

Výše uvedené řádky budou platit, pokud bychom uvažovali lineární polarizaci. Kromě lineární polarizace však můžeme při této metodě použít i polarizaci kruhovou. S kruhovou polarizací bude tato metoda fungovat takřka stejně, jen světlo bude kmitat ve směru hodinových ručiček a proti směru hodinových ručiček. Kruhová polarizace je používána častěji, protože při lineární polarizaci je divák nucen držet hlavu rovně. Při jakémkoli naklonění hlavy se nám sníží množství světla, které dopadne do našich očí a začne se porušovat 3D efekt. Může to dokonce vést i bolesti hlavy. U kruhové polarizace můžeme hlavu naklonit, ale jen částečně, protože na projekčním plátně se nám obrazy pro pravé a levé oko promítají s předpokladem, že je budeme sledovat s očima v horizontální úrovni. Proto při velkém náklonu hlavy nebude 3D efekt fungovat dobře [16].

### **Výhody této metody:**

Je možné používat poněkud levné polarizační brýle, které jsou velmi lehké, proto nás při delším použití nijak neomezují (obyčejné papírové polarizační brýle stojí cca. 35 Kč). Tato metoda nám poskytuje plně barevnou informaci. Obraz můžeme sledovat ve velkém rozlišení. Tato metoda je vhodná pro použití do kin, kde je více diváků. Obraz je stabilní [15]

### Nevýhody této metody:

Pro tuto metodu je nutné použít dvou projektorů - složitá justáž. Plátno, na které se promítá, musí být speciální, aby při odrazu zachovalo polarizaci, většinou se používá plátno s hliníkovou povrchovou úpravou. Tuto metodu nelze používat na běžných televizorech s plochou obrazovkou a monitorech [17].

## **2.3 Vektograf**

Je to druh stereoskopické technologie, která je hlavně využívána optometry pro vyšetřování stereoskopického vidění.

Tato technologie spočívá v tom, že jsou na sebe správně navrstveny dvě polarizační folie a správně sestaveny tak, že když tento obraz sledujeme pomocí polarizačních brýlí, tak ke každému oku se dostane pouze ten obraz, který je pro něj určený. Proto jej pak vidíme prostorově [32].

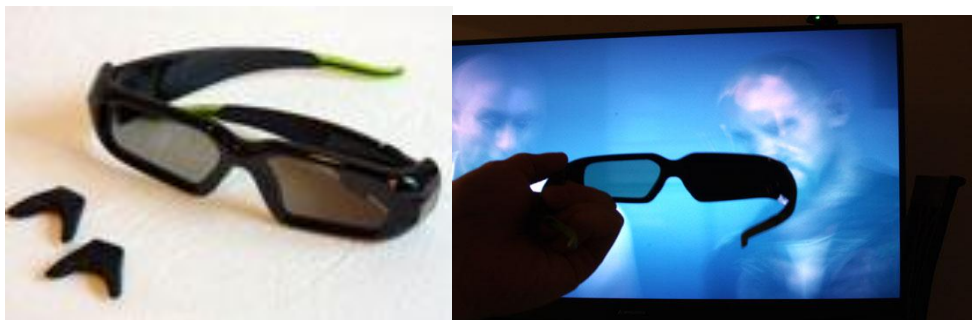
## 2.4 Aktivní 3D projekce

Pro tuto metodu je potřeba mít pouze jeden monitor, nebo projektor a speciální brýle.

### Jak tato metoda funguje?

Na obrazovce se zobrazují střídavě snímky pro pravé a levé oko. Tyto snímky „přeblikávají“ dvojnásobnou rychlostí než je u běžných systémů. S tímto monitorem nebo projektozem musí být správně synchronizovány i brýle, které budou „přeblikávat“ se stejnou frekvencí, minimálně 120 Hz, mezi pravým a levým okem tak, aby se snímek pro pravé oko dostal do pravého oka právě v dané 1/120 sekundy a naopak. Do jednoho oka padnou všechny sudé a do druhého všechny liché snímky, takže do každého oka se nám dostane 60 snímků za sekundu, což je ideální rychlost, protože při této rychlosti již není schopen náš mozek postřehnout, že „něco“ bliká a spojí oba obrazy dohromady, čímž se vytvoří 3D efekt [18].

### Závěrkové „shutter“ brýle



*Obr. 2.1: Závěrkové brýle 1, obr. 2.2: Závěrkové brýle 2*

*Obrázky 2.1 a 2.2 převzaty z [21].*

Tyto brýle se také nazývají LC (liquid crystal), neboli brýle, které mají na očních vrstvách z tekutých krystalů, které mají tu vlastnost, že pokud jsou umístěny mezi polarizátory, lze napětím řídit jejich výslednou propustnost. Lze je tedy s výhodou použít jako jakési napětím řízené optické spínače. Brýle jsou řízeny hlavně infračerveným vysílačem, nebo též kabelově je vysílán časový signál, který umožňuje, aby bylo střídavě zatmíváno jedno a druhé oko v synchronizaci s obnovovací frekvencí na obrazovce [19].

#### Výhody:

Brýle umožňují sledovat plně barevný obraz, protože se snímky přes sebe nepřekládají jako u ostatních metod. Při jejich použití se nám nezobrazují nežádoucí barevné stíny jako u metody anaglyf [19].

#### Nevýhody:

Zatmívání může obtěžovat lidi, kteří jsou citliví na nízkou obnovovací frekvenci a způsob blikání. To může být pravda, pokud bude nejnižší rychlost blikání 120 Hz, což představuje efektivní obnovovací frekvenci 60 Hz. V poslední době však výrobci přišli s novými modely televizorů s obnovovací frekvencí 240 Hz a dokonce i 480 Hz. S takto vysokými frekvencemi je již tento problém vyřešen. Brýle mohou být bateriově napájené, proto se můžou zdát po delší době poněkud těžké, rovněž je na brýlích potřeba mít kabelové připojení, nebo přijímač na IR vlny, což může být některým lidem nepříjemné. Tyto brýle jsou díky svojí složitosti mnohem dražší, než u ostatních technologií a to může být problémem při sledování filmu více lidmi (cena brýlí se pohybuje od 2500 – 4500 Kč). Tato technologie není vhodná pro velká kina. Vhodnější jsou pro menší počet diváků [20].

## **2.5 Spojení pasivní a aktivní stereoskopie**

Tohoto můžeme dosáhnout spojením aktivního projektoru a speciálního 3D polarizačního modulátoru.

Aktivní 3D projektor generuje prvotní obraz. Před objektiv projektoru umístíme speciální 3D polarizační modulátor, který bude elektronicky spojen s aktivním projektorem. Obraz z projektoru, který bude aktivní, potom bude procházet modulátorem a tím bude v reálném čase změněn na pasivní polarizační projekci. Proto nám stačí použít jediný projektor a můžeme obraz sledovat levnými polarizačními 3D brýlemi. Tento modulátor se vyplatí použít zejména u digitálních kin, kde místo dvojice projektorů postačí pouze jeden a diváci mohou použít obyčejné plastové, nebo dokonce papírové polarizační 3D brýle, které nejsou vázány na infračervený paprsek a nemusí v nich být baterie.



*Obr. 2.3: 3D aktivní projektor s 3D polarizačním modulátorem (obrázek převzat z [23])*

### **Jak vlastně tento modulátor funguje?**

Před aktivní 3D projektor umístíme modulátor a propojíme je tak, aby byli zcela synchronizované. Když projektor generuje obraz pro pravé oko, tak se modulátor přepne tak, aby polarizoval generovaný obraz do vertikální roviny. Naopak, když projektor generuje obraz pro levé oko, tak se modulátor přepne, aby polarizoval obraz otočený o 90 stupňů (do horizontální roviny). Tento modulátor je schopen modulovat každou 1/120 s nebo každou 1/144 s jinou polarizační rovinu [23].

Výhody:

Instalace tohoto modulátoru je velmi jednoduchá ve srovnání se seřizováním dvou projektorů na polarizační projekci. K použití nám stačí pouze jediný projektor a diváci mohou používat levné polarizační brýle.

Nevýhody: Nutnost použít drahé projekční plátno s hliníkovou vrstvou, která nebude měnit polarizaci. Pro tuto projekci nelze použít monitor.

## **2.6 Technologie INFITEC**

Tato metoda využívá podobně jako polarizační metoda dvou projektorů, které promítají obraz na jedno projekční plátno. Před každým z projektorů se nachází speciální filtr, který způsobí, že pro každé oko jsou promítány obrázky v základních barvách (RGB), ale pro každé oko v jinak posunutých vlnových délkách.

Např. Pro levé oko: červená 629 nm, zelená 532 nm, modrá 446 nm.

Pro pravé oko: červená 615 nm, zelená 518 nm, modrá 432 nm.

Stejné filtry jsou i v brýlích, a proto je možné takto vytvořit požadovaný 3D efekt.

Tato metoda má oproti polarizační metodě několik výhod. Hlavní výhodou je, že divák smí jakkoli naklonit hlavu, bez případné ztráty 3D efektu. Další výhodou je, že není třeba drahého projekčního plátna se speciální hliníkovou vrstvou jako u polarizační technologie, ale stačí nám obyčejné bílé, popřípadě lze promítat klidně i na bílou stěnu.

Mezi výhody patří i fakt, že ačkoli tato metoda pracuje s posunutými vlnovými délkami, tak neztrácíme žádnou barevnou informaci [24].

## **2.7 Pulfrichův efekt**

Byl pojmenován po německém fyzikovi profesoru Karlu Pulfrichovi, který tento jev poprvé popsal v roce 1922. Tento efekt lze pozorovat na pohybujících se objektech, za použití jednoduchých brýlí, které mají filtr na jednom oku světlý a na druhém tmavý.

### **Jak tato metoda funguje?**

Tato metoda je vlastně založena na faktu, že pokud pozorujeme pohybující se předmět a máme na jednom oku tmavý filtr, tak přes tento tmavý filtr se informace do mozku dostane se zpožděním asi 15 ms [25].

Nejpravděpodobnějším vysvětlením je, že pokud zeslabíme signál, který je vedený z oka do mozku, tak zapříčiníme to, že se tento signál zpozdí. Jelikož se oko potřebuje zvýšit svoji citlivost na světlo, tak jeho receptory musí být více propojeny, k čemuž je potřeba více času. Tato doba se ještě více prodlouží, protože nízká intenzita osvětlení vede k nižší přenosové rychlosti [26].

Mozek nám poté bude interpretovat dva časově oddělené obrazy a tím nám vytvoří iluzi hloubky. Toto jevu lze úspěšně využít při sledování dvourozměrného záznamu pohybu, kde si za účelem vytvoření hloubky stačí překrýt jedno oko vhodným tmavým filtrem (postačí sluneční brýle).

### **Výhody:**

Neztrácíme barevnou informaci. Nepotřebujeme dva stereoskopické obrazy, protože se jedná pouze o optický klam. Bez brýlí pozorujeme 2D obraz.

### **Nevýhody:**

Nelze použít u statických snímků [25].

## 2.8 Autostereoskopické displeje

Autostereoskopické LCD displeje vytváří 3D efekt bez nutnosti použití speciálních brýlí. Tyto displeje musí používat další optické prvky, které jsou umístěny na přední straně obrazovky a oddělují jednotlivé obrazy, určené pro pravé a pro levé oko.

Tyto displeje můžeme rozdělit na dvou-náhledové a více-náhledové.

### Dvou-náhledové autostereoskopické displeje:

#### Jak tato metoda funguje?

Oba obrazy pro pravé i pro levé oko jsou rozděleny do jednotlivých sloupců a naskládány za sebe. Tyto dva obrazy můžeme prokládat dvěma způsoby:

	Pixel 1			Pixel 2			Pixel 3		
řádek	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	L	R	L	R	L	R	L	R	L
2	L	R	L	R	L	R	L	R	L
3	L	R	L	R	L	R	L	R	L

*Obr. 2.4: Prokládání na úrovni pixelů*

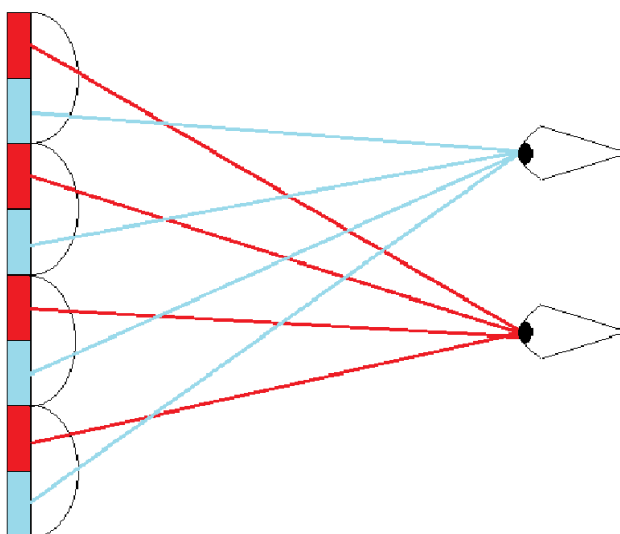
	Pixel 1			Pixel 2			Pixel 3		
řádek	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	L	L	L	R	R	R	L	L	L
2	L	L	L	R	R	R	L	L	L
3	L	L	L	R	R	R	L	L	L

*Obr. 2.5: Prokládání na mezi-pixelové úrovni*

Pozn.: Po složení všech L sloupců bychom dostali obraz pro levé oko a po složení všech R sloupců obraz pro oko pravé.

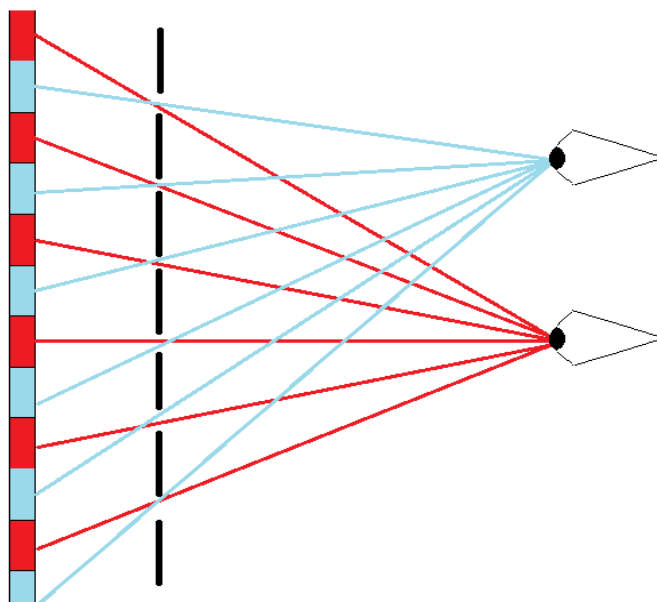
Takto proložené obrazy však od sebe musíme oddělit tak, abychom byli schopni pozorovat každým okem jen ten obraz, který je určený pro dané oko. Proto se na přední stranu těchto displejů musí umístit prvek, který tyto dva obrazy oddělí. Na toto se používá

bud' lentikulární fólie, která odklání světlo do určitého směru, nebo paralaxní bariéra, která blokuje světlo v určitých směrech [27].



*Obr. 2.6: Oddělení pomocí lentikulární fólie*

Lentikulární fólie je tvořena řadou válcových čoček, tyto válcové čočky jsou svisle orientovány a stereoskopický vjem se vytváří ve svislém směru. Na obrázku vidíme pohled shora [28].



*Obr. 2.7: Oddělení pomocí paralaxní bariéry*

Pozn.: Modrá barva představuje obraz pro pravé oko a červená barva pro oko levé.

Paralaxní bariéra je tvořena vrstvou kapalných krystalů, které mohou měnit svoji průchodnost. Proto je možné tento displej přepnout do režimu 2D, toto v případě použití lentikulární fólie nelze. Nevýhodou této bariéry je fakt, že blokuje velké množství světla, čímž snižuje jas displeje, proto musí být použito silné podsvícení [28].

U dvou-pohledových displejů je kladen velký nárok na posazení diváka před obrazovkou. Výběr místa je velice omezený a kvalitní obraz může sledovat pouze jeden divák. U displejů s paralaxní bariérou je možnost zapnutí funkce sledování hlavy. S touto funkcí již není nárok na místo sledování tak velký, ale slouží pouze pro jednoho diváka.

### **Více-náhledové autostereoskopické displeje:**

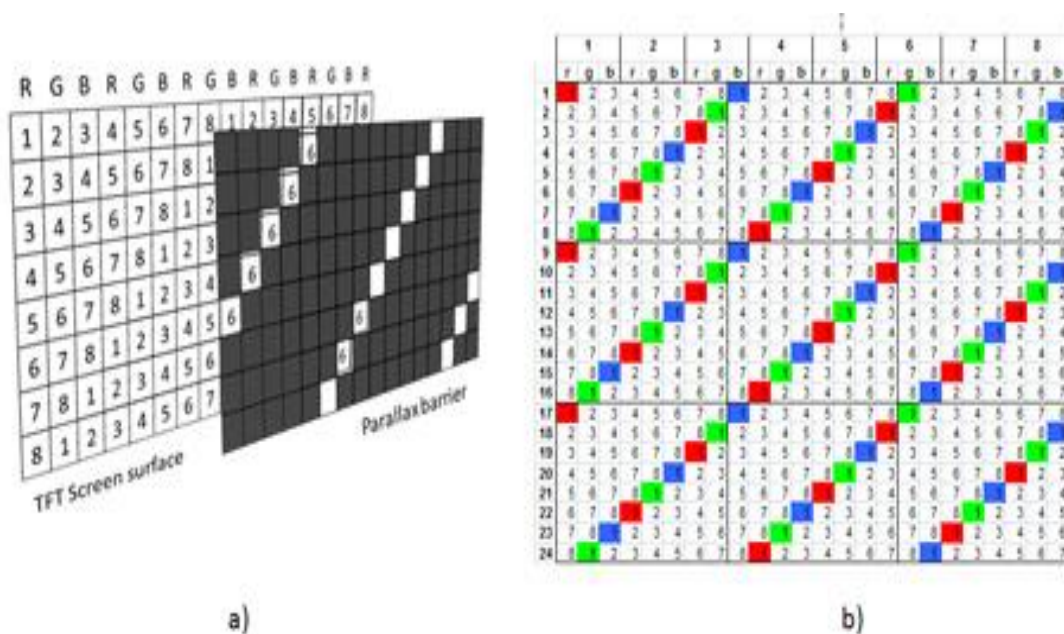
Tyto displeje jsou velmi náročné na výrobu. Poskytují však větší počet pozorovacích úhlů než dvou-náhledové displeje. Obvykle to jsou devíti-náhledové a šestnácti-náhledové displeje. Byly však vykonstruovány i sto-náhledové, avšak pouze experimentálně. Pro správnou funkci těchto displejů je třeba soustavy čoček, díky které bude možno vyobrazovat všechny náhledy současně. Výhoda těchto displejů spočívá v tom, že každý divák vidí 3D obraz, pokud jsou jeho obě oči v pozorovací zóně. Tento typ displejů umožňuje, že obraz může sledovat větší množství diváků najednou. Nevýhodou těchto displejů je to, že jejich výroba je velice náročná a v jednu dobu jsou vysílány všechny pohledy najednou, i když je nikdo nesleduje [29].

### **Jak tato metoda funguje?**

Obraz se nejprve musí rozdělit do určitých částí, které od sebe oddělíme tak, abychom v požadovaných pohledech viděli 3D obraz. Toto oddělení se dělá pomocí tzv. wavelength-selective filter array, navrženého společností 4D - Vision GmbH. Tento filtr je vlastně filtr, tvořený nakloněnou paralaxní bariérou. Velkou roli při sledování obrazu hraje hlavně úhel pozorování a vzdálenost pozorovatele od obrazovky.

Paralaxní bariéra zapříčiní to, že divák uvidí právě ten pohled, který mu dovolí vidět štěrby v bariéře. Divák posunem před obrazovkou postupně odkrývá další a další pohledy.

Na obrázku 2.8 vidíme průřez LCD panelem, kde jsou jednotlivé barevné složky pixelu ve sloupcích a před ním předsunutou paralaxní bariéru. U tohoto systému musíme brát v potaz, že v krajních polohách, kde je ještě možno pozorovat stereoskopický obraz, nám značně klesá jas [27].

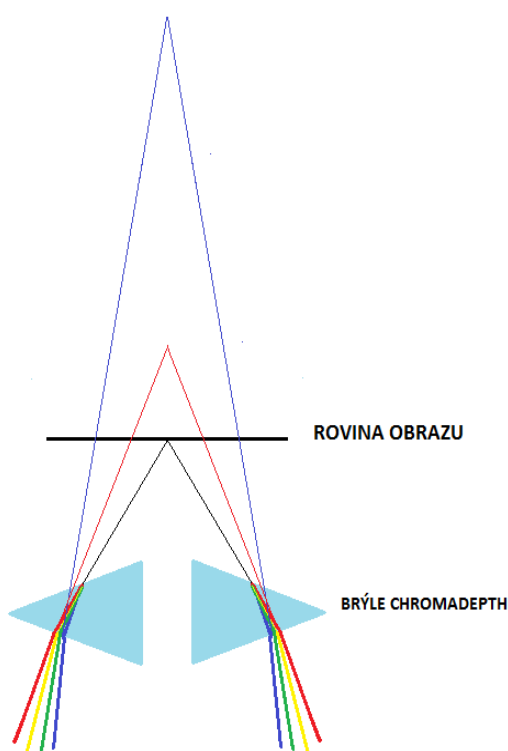


Obr. 2.8: a) Princip displeje s paralaxní bariérou, b) struktura složeného obrazu pro autostereoskopický displej (tzv. prolínání obrazů na mapě) - obrázek převzat z [27].

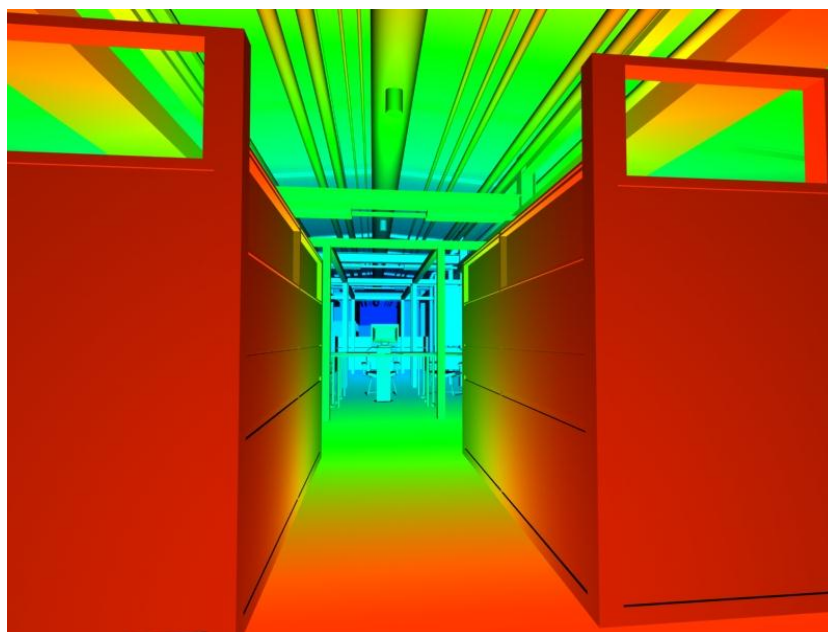
## 2.9 ChromaDepth

U této metody není potřeba dvojice obrazů jako u ostatních metod, ale jen jednoho. V této metodě je totiž informace o hloubce zakódována pouze ve formě barev, které nám s pomocí speciálních brýlí vytvoří 3D efekt. Proto můžeme tyto obrazy pozorovat i bez brýlí, ovšem samozřejmě bez prostorového efektu.

Princip, na kterém tato metoda funguje, vlastně spočívá na faktu, že se světlo s různou vlnovou délkou na rozhraní dvou prostředí s různým indexem lomu láme jinak. Brýle jsou tedy tvořeny dvojicí hranolů, které jsou natočeny tak, že červená barva (nejdelší vlnová délka) se nám bude jevit jako nejbližší a modrá barva jako nejvzdálenější [30].



Obr. 2.10: Princip brýlí Chromadepth



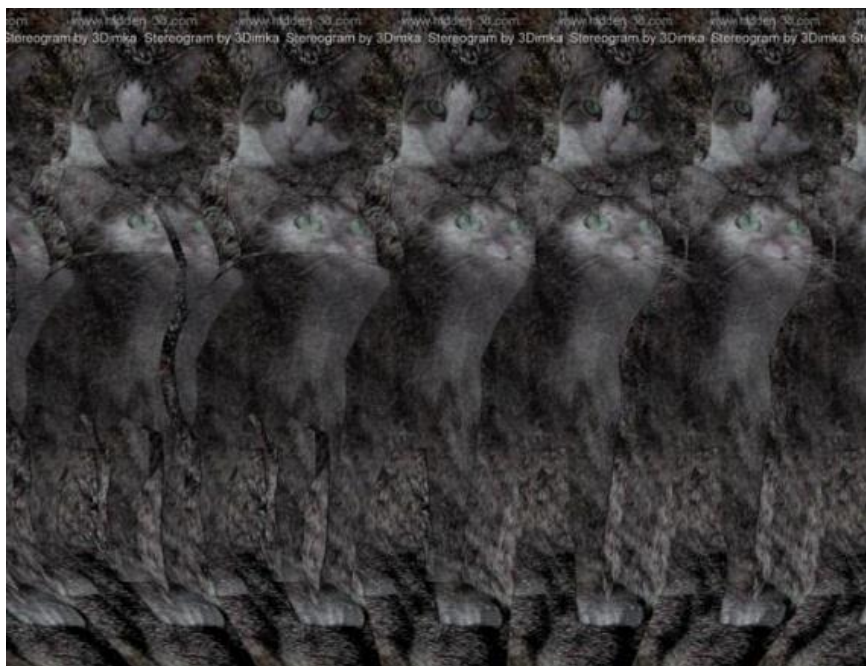
*Obr.2.11: Ukázka obrázku ChromaDepth: Pohled do místnosti (obrázek převzat z [31])*

Pozn.: Tuto metodu je výhodné použít při tvorbě map, pro lepší znázornění povrchu a též se uplatní například v biologii pro trojrozměrné znázornění různých organismů, vnitřních orgánů, atd.

## 2.10 Autostereogram

Autostereogram poskytuje prostorový dojem z jednoho tištěného obrazu. Princip autostereogramu spočívá v tom, že na obraze na první pohled vidíme horizontálně opakující se vzor, na který, když správně konvergujeme, si vytvoříme vizuální dojem hloubky tak, že nám do prostoru „vystoupí“ určitý zakódovaný obraz.

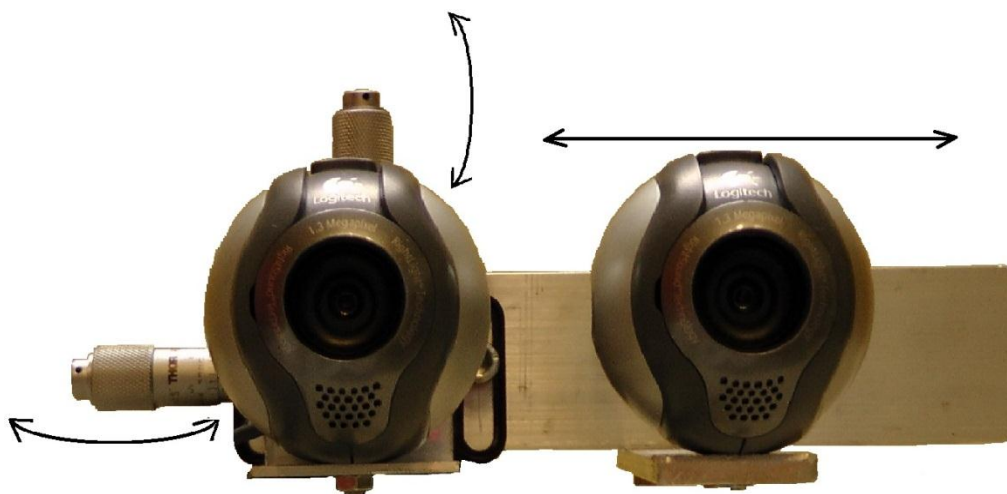
Sledování autostereogramu však není úplně jednoduché. Uvidět prostorový obraz vyžaduje cvik očí. Není snadné na první pokus odhadnout, na jak velký úhel máme konvergovat a z jaké vzdálenosti autostereogram sledovat. Též musíme naše oči naučit, aby tento obraz byly schopné udržet [40].



*Obr. 2.12: Ukázka autostereogramu (obrázek převzat z [41])*

## 5 Realizace a testování 3D kamery

Pro pořizování stereoskopických snímků bylo třeba sestavit jednoduchou 3D kameru. Pro náš účel byly pořízeny 2 totožné webové kamery, které následně byly umístěny na stojánek a na stativ.



*Obr. 5.1: Webové kamery - pohled zepředu*

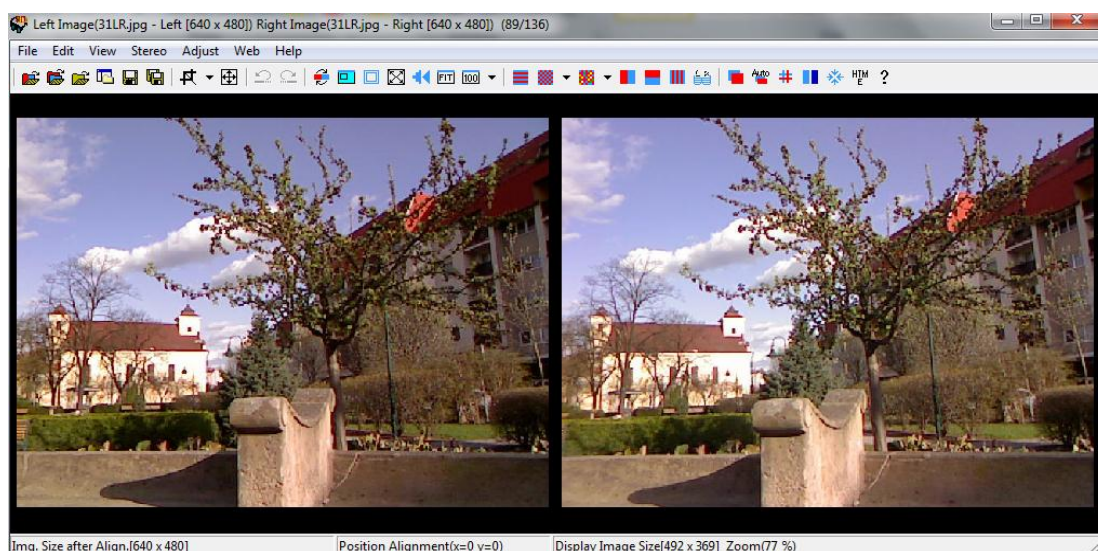


*Obr. 5.2: Webové kamery - pohled shora*

Na obrázku 5.1 je vidět, že druhá kamera slouží pouze k vodorovnému pohybu. Pomocí ní se určuje konečná vzdálenost kamer. Stojánek nám dovoluje rozsah vzdálenosti kamer 5,5 - 13,5 cm. První kamera slouží pouze k vykorigování obrazu. Pomocí dvou goniometrů lze kameru natočit v horizontálním i ve vertikálním směru.

Pomocí těchto kamer byly pořízeny dvojice stereoskopických snímků, které již nemusely být nijak upravované, protože kamery byly správně nastaveny již před vyfocením.

Takto pořízené snímky pak byly složeny v programu StereoPhoto Maker na vytváření anaglyfů, který je volně dostupný na internetu (<http://stereo.ipn.org/eng/stphmkr/>).



*Obr. 5.3: Stereoskopický pár zobrazený v programu StereoPhoto Maker*

Přeložením těchto dvou snímků přes sebe pak vznikne výsledný obraz:



*Obr. 5.4: Výsledný složený obraz programem StereoPhoto Maker*

Pořizování snímků touto sestavenou 3D kamerou je však obtížné z důvodu, že ke kameře musí být připojen notebook, do kterého se tyto snímky zaznamenávají. Pro jednoho člověka není snadné se po ulicích pohybovat se stativem a notebookem. Při každém snímku je třeba notebook někam umístit, aby se mohly kamery správně nastavit.

Proto byla sestavena pojezdová lišta, vyobrazená na obrázku 5.5, na kterou se umístí digitální fotoaparát.



*Obr. 5.5 : pojezdová lišta s digitálním fotoaparátem*

Za pomoci této pojezdové lišty bylo pořizování snímků mnohem jednodušší. Díky tomuto je vyřešen problém s obtížným přesunem. Pojezdová lišta je pro lepší přesnost a stabilitu umístěna na stativu. Mimo jiné je ještě vybavena vodováhou, abychom zamezili nežádoucímu vertikálnímu posuvu mezi snímky.

Jediný problém nastává v případě, když se do záběru dostane pohybující se objekt (viz. obr. 5.6), protože dva snímky jsou pořízeny s časovým zpožděním. Tento problém jsme v případě záznamu pomocí dvou webových kamer nemuseli řešit, protože záznam byl pořízen oběma kamerami ve stejný časový okamžik.



*Obr. 5.6: Objekt, který vstoupil do záběru během posuvu aparátu*

Díky pojezdové liště a digitálnímu fotoaparátu byl vyřešen ještě jeden problém a to, že s digitálního fotoaparátu jsou kvalitnější fotky ve větším rozlišení. Webové kamery mají rozlišení 1.3 Megapixelů, což způsobilo, že u vzdálenějších objektů je obraz poněkud nekvalitní. Zatímco digitální fotoaparát má rozlišení 7.2 Megapixelů a na kvalitě fotek je to opravdu znát.

Mimo těchto dvou metod byla možnost ověřit, že prostorový obraz lze vytvořit i z termovizních snímků. Pro tento účel byla zapůjčena termovizní kamera (viz. obr. 5.7), která byla následně umístěna na stativ a pro záznam snímků nám posloužil notebook. Snímky však musely být částečně upraveny v programu Zoner 3D Photo Maker, který je volně dostupný na internetu ([http://www.stahuj.centrum.cz/grafika\\_a\\_design/ostatni/zoner-3d-photo-maker/download/?g\[hledano\]=&g\[oz\]=1.0](http://www.stahuj.centrum.cz/grafika_a_design/ostatni/zoner-3d-photo-maker/download/?g[hledano]=&g[oz]=1.0)). Tento program však licencován a bez poplatku ho lze využívat pouze po dobu 30 dní. Úprava snímků zde musela být provedena z důvodu, že posuv kamery mezi snímky byl realizován posuvem celého stativu. Proto zde vzniklo mnoho nepřesností, které by pak znehodnocovali výsledný snímek.



*Obr. 5.7: Termovizní kamera*

Pomocí této termovizní kamery byly pořízeny a následně v programu Zoner 3D Photo Maker složeny následující snímky (obr. 5.8, obr. 5.9, obr. 5.10).



*Obr. 5.8: Snímek z termovizní kamery 1*



*Obr. 5.9: Snímek z termovizní kamery 2*



*Obr. 5.10: Snímek z termovizní kamery 3*

Bylo ověřeno, že stereoskopické snímky lze pořídit velmi jednoduchými metodami, které jsme zmiňovali výše. Všechny pořízené snímky byly otestovány metodou anaglyf. Po celou dobu pořizování a testování vybrané metody byl k dispozici aktivní 3D monitor a „blikající“ brýle. Díky tomuto zařízení bylo možno ověřit kvalitu pořízených snímků i v metodě aktivní projekce.

Více pořízených snímků, sestavených metodou anaglyf je k dispozici na přiloženém CD, které si lze prohlédnout pomocí přiložených anaglyfových brýlí.

## Závěr

Technologie umělého vnímání prostoru, tedy 3D, je bezesporu obor, který má budoucnost. Jeho všeobecné využití, jak v průmyslu, lékařství, tak i v zábavním průmyslu je jistě velkým příslibem, že se tento obor bude ještě nadále vyvíjet a zdokonalovat. Každou chvíli jsou na trh uváděny novinky, které předčí současné, běžně používané metody vnímání 3D projekcí. Každé vylepšení, nebo objev jiného způsobu umělého pozorování prostorového vjemu je opravdu zřetelné. Když vezmeme v úvahu, jaká byla kvalita obrazu u metody anaglyf, nereálné vnímání barev, mnohdy neostrý obraz u rychlejších scén a po delším sledování bolest očí, v některých případech i hlavy. Toto jsou již překonané nedostatky, kterým se nejnovější projekce lehce vyhnou.

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit celkový přehled aktuálně používaných typů 3D projekcí, jejich výhod a nevýhod a některé vybrané metody ozkoušet v praxi. Velká část práce se zabývala lidským zrakem a důležitých faktorů které se podílejí na vzniku zrakového vjemu. Tato kapitola byla nutná pro správné pochopení, jak lidé vnímají prostor, čehož bylo později využito pro umělé navození tohoto vjemu. Zároveň byla jedna kapitola věnována historickému vývoji stereoskopických technik.

V kapitole Snímání a sledování stereoskopické scény jsme se dozvěděli, jak správně nastavit kamery pro kvalitní zaznamenání stereoskopické scény. Tohoto faktu bylo později využito při sestavování jednoduché 3D kamery. Tato 3D kamera byla sestavena ze dvou webových kamer a s její pomocí vygenerovány snímky, které byly následně ověřeny metodou anaglyf. Dvě webové kamery byly pořízeny proto, že pro náš účel byly zcela dostačující a finančně dostupnější než jiné snímače. Mimo této 3D kamery byla sestavena ještě pojezdová lišta, na kterou byl umístěn digitální fotoaparát, který se po pojezdové liště mohl pohybovat po přímce o požadovanou vzdálenost. Oba tyto způsoby záznamu tedy využívali pro nastavení os snímače metody off-axis, neboli rovnoběžného chodu os snímačů, z důvodu jednodušší realizace. Kromě metody anaglyf byly vygenerované snímky otestovány metodou aktivní projekce. Metoda aktivní projekce je finančně nákladná, ale na první pohled je prostorový vjem mnohem lepší a pro naše oči příjemnější, než metoda anaglyf.

Bylo ověřeno, že stereoskopické snímky lze pořídit i za pomoci termovizní kamery. Tyto snímky byly pak následně stejným způsobem složeny a ověřeny metodou anaglyf.

Pořizování statických snímků je za pomoci mnou použitých pomůcek jednoduché. Na internetu je velké množství nejrůznějších programů pro výrobu anaglyfů. Proto je tento způsob vytvoření a následného sledování snímků lehce dostupný a finančně nenáročný. Jiné způsoby projekce vyžadují vyšší vstupní náklady.

Musíme brát v potaz, že ne každý člověk dokáže vidět prostorově. Těžko odhadnout, jestli v budoucnu 3D technologie nahradí stávající 2D systémy. Dle mého názoru systémy s 2D zůstanou v běžných domácnostech, ale 3D se bude dále rozvíjet a rozšiřovat, avšak že by tím 2D byly úplně nahrazeny, nejspíš nehrozí.

## Seznam použité literatury a jiných zdrojů:

- [1] *Lasik- laserová oční operace*. [online]. [cit. 2010-10-10]. Dostupný z WWW: <http://www.avonet.cz/premysl/Lasik/Lasik.htm>
- [2] Havelka, B., *Geometrická optika II. Díl*, Praha 1956.
- [3] Fuka, J., Havelka B., *Optika- fyzikální kompendium*, Praha 1961. 288s.
- [4] Polášek, J., *Technický sborník oční optiky*, 1. vydání, Praha 1974. 580s.
- [5] Rozsival, P. et al., *Oční lékařství*. 1. vydání, Praha 2006. 373s. ISBN 80-7262-404-0
- [6] Autrata, R., Černá, J., *Nauka o zraku*. 1. vydání, Brno 2006. 226s. ISBN 80-7013-362-7
- [7] *Computer Vision and robotics laboratory*. [online]. [cit. 2010-11-10]. Dostupný z WWW: <http://vision.ai.uiuc.edu/?cat=4%A8>
- [8] *Developers handbook*. [online]. [cit. 2010-11-10]. Dostupný z WWW: <http://www.cs.unc.edu/Research/stc/FAQs/Stereo/stereo-handbook.pdf>
- [9] *Calculating Stereo Pairs*. [online]. [cit. 2010-11-10]. Dostupný z WWW: <http://paulbourke.net/miscellaneous/stereographics/stereorender/>
- [10] *Technet. cz*. [online]. [cit. 2010-11-10]. Dostupný z WWW: [http://technet.idnes.cz/fotbal-ve-3d-kdyz-pri-nataceni-udelaji-chybu-rozboli-vas-hlava-p5h-/tec\\_video.asp?c=A100325\\_123742\\_tec\\_video\\_NYV](http://technet.idnes.cz/fotbal-ve-3d-kdyz-pri-nataceni-udelaji-chybu-rozboli-vas-hlava-p5h-/tec_video.asp?c=A100325_123742_tec_video_NYV)
- [11] *Anaglyphs for computer stereoscopy*. [online]. [cit. 2010-20-10]. Dostupný z WWW: <http://nzphoto.tripod.com/sterea/anaglyphs.htm>
- [12] *Wikipedia- The Free Encyklopedia*. [online]. [cit. 2010-21-10]. Dostupný z WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/Anaglyph\\_image](http://en.wikipedia.org/wiki/Anaglyph_image)
- [13] *3D revolutionproductions*. [online]. [cit. 2010-21-10]. Dostupný z WWW: <http://www.the3drevolution.com/3dscreen.html>
- [14] *3D journal*. [online]. [cit. 2010-03-11]. Dostupný z WWW: <http://www.3djournal.com/002/artic46.php>
- [15] *Gali 3D*. [online]. [cit. 2010-03-11]. Dostupný z WWW: <http://www.gali-3d.com/cz/techno-passive-stereo/techno-passive-stereo.php>
- [16] *3D TV Technology*. [online]. [cit. 2010-19-11]. Dostupný z WWW: <http://www.3dtelevision.org.uk/polarization>
- [17] *3D TV Technology*. [online]. [cit. 2010-19-11]. Dostupný z WWW: <http://www.3dtelevision.org.uk/passive-3d>
- [18] *PC perspective*. [online]. [cit. 2010-30-11]. Dostupný z WWW: <http://www.pcper.com/article.php?aid=656>

- [19] *Wikipedia- The Free Encyklopedia*. [online]. [cit. 2010-05-12]. Dostupný z WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid\\_crystal\\_shutter\\_glasses](http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_crystal_shutter_glasses)
- [20] *Best 3D TVs*. [online]. [cit. 2010-05-12]. Dostupný z WWW: <http://www.best-3dtvs.com/guides/3d-glasses-active-vs-passive/>
- [21] *PC perspective*. [online]. [cit. 2010-05-12]. Dostupný z WWW: <http://www.pcper.com/article.php?aid=656>
- [22] *Wikipedia- The Free Encyklopedia*. [online]. [cit. 2010-05-12]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/IrDA>
- [23] *Gali 3D*. [online]. [cit. 2010-10-12]. Dostupný z WWW: <http://www.gali-3d.com/cz/techno-modulator/techno-modulator.php>
- [24] *Video technology*. [online]. [cit. 2010-10-12]. Dostupný z WWW: <http://videotechnology.blogspot.com/2009/06/dolby-3d-digital-cinema.html>
- [25] *3D DeltaVision*. [online]. [cit. 2010-10-12]. Dostupný z WWW: [http://www.3ddeltavision.pl/s,efekt\\_pulfricha,94.html](http://www.3ddeltavision.pl/s,efekt_pulfricha,94.html)
- [26] *Blelb- The visual perception*. [online]. [cit. 2010-19-12]. Dostupný z WWW: [http://www.blelb.com/english/blelbspots/spot16/exspot16\\_en.htm](http://www.blelb.com/english/blelbspots/spot16/exspot16_en.htm)
- [27] *Mobile 3DTV*. [online]. [cit. 2010-19-12]. Dostupný z WWW: <http://sp.cs.tut.fi/mobile3dtv/technology/disp-lays.shtml>
- [28] *3D forums*. [online]. [cit. 2010-19-12]. Dostupný z WWW: <http://www.3d-forums.com/autostereoscopic-displays-t1.html>
- [29] *Digitální televize*. [online]. [cit. 2010-19-12]. Dostupný z WWW: [www.stech.cz/download.php?id\\_document=401158792&at=1](http://www.stech.cz/download.php?id_document=401158792&at=1)
- [30] *Chromostereoscopyfor Use in Visualization*. [online]. [cit. 2010-10-01]. Dostupný z WWW: <http://www.jaredjared.com/chroma.html>
- [31] *IOWA STATE UNIVERZITY*. [online]. [cit. 2010-17-01]. Dostupný z WWW: <http://www.public.iastate.edu/~cschan/AIA/chroma.html>
- [32] *Chromostereoscopy. com*. [online]. [cit. 2010-20-01]. Dostupný z WWW: <http://www.stereoscopy.com/faq/vectographs.html>
- [33] *3D- historik*. [online]. [cit. 2010-10-02]. Dostupný z WWW: <http://www.produkter.nu/ystad/3D-historik.htm>
- [34] *Connexions*. [online]. [cit. 2010-15-02]. Dostupný z WWW: <http://cnx.org/content/m13784/latest/>
- [35] *Benjamin Beck*http. [online]. [cit. 2010-15-02]. Dostupný z WWW: <http://web.ukonline.co.uk/benjaminbeck/firsts/photo2.htm>
- [36] *Optická reklama*. [online]. [cit. 2010-20-02]. Dostupný z WWW: <http://www.optickareklama.cz/historie-soucasnost.php>

- [37] Buriánek, J. 3D stereoskopická produkce. *Pixel*, 2010, č. 159, s. 10-13.
- [38] *Fotografovani.cz*. [online]. [cit. 2010-20-02]. Dostupný z WWW:  
[http://www.fotografovani.cz/art/df\\_trendy/historie-kodak.html](http://www.fotografovani.cz/art/df_trendy/historie-kodak.html)
- [39] *Technet.cz*. [online]. [cit. 2010-01-03]. Dostupný z WWW:  
[http://technet.idnes.cz/panasonic-ma-prvni-3d-kameru-pro-bezne-uzivatele-ftn-/tec\\_foto.asp?c=A100727\\_175841\\_tec\\_foto\\_vse](http://technet.idnes.cz/panasonic-ma-prvni-3d-kameru-pro-bezne-uzivatele-ftn-/tec_foto.asp?c=A100727_175841_tec_foto_vse)
- [40] *Scholarpedia*. [online]. [cit. 2010-01-03]. Dostupný z WWW:  
<http://www.scholarpedia.org/article/Autostereogram>
- [41] *Acid Cow.com*. [online]. [cit. 2010-13-03]. Dostupný z WWW:  
<http://acidcow.com/pics/1694-autostereogram-100-pics.html>
- [42] *Blender 3D.cz*. [online]. [cit. 2010-13-03]. Dostupný z WWW:  
<http://www.blender3d.cz/drupal/?q=svetla01>