

FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY  
UNIVERZITY KOMENSKÉHO V BRATISLAVE

Katedra aplikovanej informatiky



# Nástroj na tvorbu stereogramov

Bakalárska práca

Bratislava 2007

Michal Hrobár

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave  
Informatika



# Nástroj na tvorbu stereogramov

Bakalárska práca

Bratislava 2007

Michal Hrobár

Vedúci bakalárskej práce:  
doc. RNDr Roman Ďuríkovič Ph.D.

# Čestné prehlásenie

Čestne prehlasujem, že túto bakalársku prácu som vypracoval samostatne,  
len s použitím citovanej literatúry.

.....

# Pod'akovanie

Touto cestou by som sa chcel pod'akovať môjmu školiteľovi p. prof. doc. RNDr. Romanovi Ďuríkovičovi Ph.D., za podnetné nápady pri tvorbe tejto práce a za vysoko odbornú spoluprácu.

## **Abstrakt**

Táto bakalárska práca ukáže niekoľko techník binokulárneho zobrazovania – teda zobrazovania trojrozmerných objektov do roviny spôsobom poskytujúcim človeku aj hĺbkový vnem. Jedná sa konkrétne o generáciu stereogramov, autostereogramov a anaglyfov.

Dôležitá súčasť práce je aj program pre OS Windows pomáhajúci pri generácii binokulárnych zobrazení z dvoch fotografií.

Kľúčové slová: Stereogram, Anaglyf, Hĺbková mapa

## **Abstract**

This bachelor's thesis shows some techniques of binocular visualization, i.e. visualization of three dimensional objects on a plane providing depth sense. It is dealing specifically with stereogram, auto stereogram and anaglyph generation.

Important part of this thesis is a program for OS Windows assisting in binocular picture generation from two photographs.

Keywords: Stereogram, Anaglyph, Depth map

# Obsah

1	Úvod.....	7
2	Druhy binokulárnych zobrazení.....	8
2.1	Anaglyf.....	8
2.2	Stereogram .....	9
2.3	Autostereogram .....	11
3	Použitie programu .....	13
3.1	Zhotovenie záberov .....	13
3.2	Nastavenie odstupe .....	13
3.3	Zadanie kontrolých bodov.....	14
3.4	Export rôznych binokulárnych zobrazení .....	14
4	Prehľad metód vytvárania binokulárnych zobrazení .....	16
4.1	Stereogram .....	16
4.2	Anaglyf.....	16
4.3	Hĺbková mapa .....	17
4.4	Anaglyf drôteného modelu.....	18
4.5	Autostereogram .....	18
5	Literatúra .....	20

# 1 Úvod

Tieto zobrazenia nesú názov binokulárne, lebo pri ich prezeraní je potrebné použiť obe oči, a je teda nevyhnutné, aby divák mal obe oči zdravé a netrpel nijakou disfunkciou, ako sú napríklad strabizmius či amblyopia. Človek vníma stereoskopicky, čiže z oboch očí rôzne obrazy. Podľa malých odlišností v týchto obrazoch dostáva hĺbkový vnem.

Stereoskopické obrázky sú založené na tom, že obom očiam poskytnú príslušný obraz. V stereogramoch sa používa technika pohľadu za scénu, či predškúľovania, kým sa zdanlivé dva obrazy neprekryjú a mozog ich interpretuje ako jednu scénu. V Anaglyfoch sa používajú farebné filtre pred každým okom, ktoré umožnia vykresliť rôzne obrazy aj na tú istú plochu. V tomto prípade sú obrázky však iba v odtieňoch šedej.

## 2 Druhy binoulárnych zobrazení

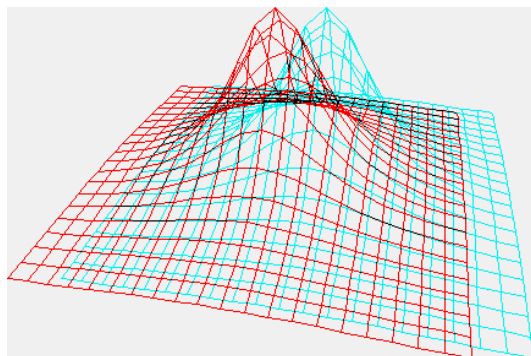
### 2.1 Anaglyf

Anaglyf je obrázok nakresliteľný na papier alebo obrazovku, ktorý sa pri pohľade cez špeciálne okuliare javí priestorovo. Je založený na filtrovnej farieb. Poznáme tri základné zložky farieb: červenú, zelenú a modrú. Pri zložení všetkých týchto zložiek sa svetlo javí biele (resp. odtieň šedej – podľa intenzity). Naopak, pri filtrovaní napríklad zelený filter zachytí modrú a červenú zložku a prepustí iba zelenú. Keď dáme filtre za seba, neprepustia nič.

Okuliare majú dva rôzne navzájom komplementárne filtre. To znamená, že určitá farebná zložka prejde cez jeden filter úplne a cez druhý vôbec nie. Kvalita okuliarov sa posudzuje podľa intenzity svetla, ktorú prepustia, keď sa zohnú tak, aby svetlo prechádzalo oboma filtermi. Samozrejme, ideálne by bolo, keby tak neprešlo žiadne svetlo.

Okuliare sa najbežnejšie používajú v kombinácií červená – tyrkysová (zelená s modrou). Keď sa cez takéto okuliare pozeráme dlhšie, oči si zvyknú na svoje filtre a pri prehliadaní čiernobielych obrázkov si neuvedomujeme, že ich máme nasadené. Biela farba prechádza cez oba filtre s navyššou intenzitou, čierna s najnižšou.

Keď nakreslíme na biely papier obrázok tyrkysovou, oko s tyrkysovým filterom nebude schopné odlíšiť zafarbený papier od bieleho a bude sa mu javiť celý „biely“. Na druhej strane, červený filter neprepustí tyrkysové svetlo vôbec a oko uvidí kresbu kontrastne – čiernu. Rovnakým postupom môžeme nakresliť obraz pre druhé oko [Obrázok 1].



Obrázok 1: Anaglyf drôteného modelu



Tam, kde sa na papieri dve farby stretnú použijeme čiernu farbu, aby dané miesto videli obe oči čiernou. Aby sme dosiahli krajší efekt, môžeme použiť rôzne sýtosti daných farieb a výsledný obrázok bude v odtieňoch červenej a tyrkysovej (resp. sivej). Keď sa na takýto obrázok pozrieme cez farebné okuliare, bude sa nám síce javiť čiernobiely avšak priestorový. Obetovali sme farby a použili ich na anaglyfickú kresbu.

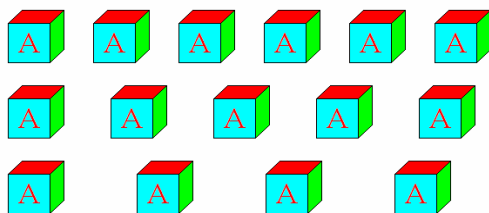
Nakoľko sa dokonalé okuliare nedajú vyrobiť, prispôsobíme obrázok okuliarom. Problém totiž nastáva, keď napríklad cez červený filter slabo vidno aj červenú kresbu. Vtedy nekreslíme na biely papier, ale na papier takého odtieňu sivej, aby bol kontrast červenej (resp. tyrkysovej) cez červený (resp. tyrkysový) filter s pozadím čo možno najmenší.

## 2.2 Stereogram

Stereogram umožňuje na rozdiel od anaglyfu farebné priestorové obrázky, no je ťažší na prezeranie a vyžaduje si istú šikovnosť aj u diváka. Jedná sa o dva podobné obrázky, ktoré si divák spojí pomocou techniky predškúľovania alebo pohľadu za scénu.

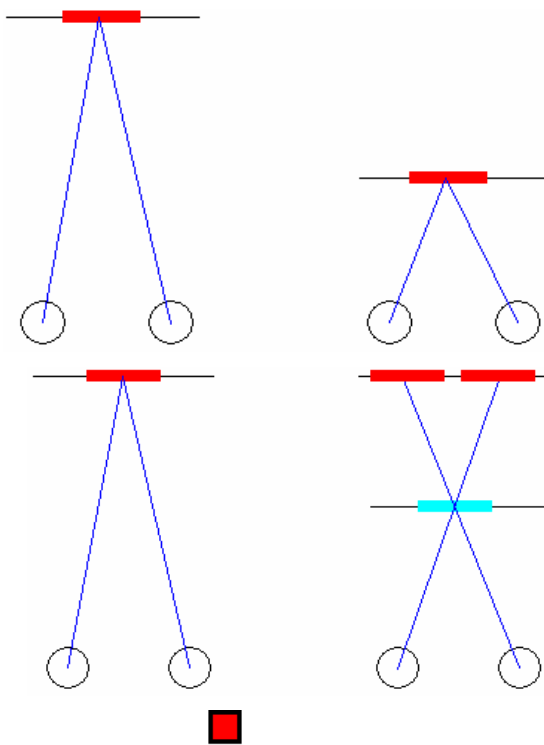
Človek vždy upriamuje obe oči na objekt záujmu. Čím je tento objekt ďalej, tým sa mu zdá menší, rozostrenejší a tým meší uhol pri ňom zvierajú spojice s očami. Stereogram vyžíva najmä posledný z týchto efektov. Keď sa pozeráme do nekonečnej diaľky, naše oči smerujú rovnobežne. Objekt pred očami sa javí ľavému oku viac vpravo ako pravému. Čím bližšie je daný objekt, tým väčší je zdanlivý rozostup jeho obrazov prichádzajúcich do mozgu z očí.

Stereogram vytvoríme tak, že zhotovíme dva zábery na scénu rovnakým smerom z dvoch rôznych pozícií. Rozostup medzi týmito pozíciami symbolizuje rozostup medzi divákovými očami, preto by mal byť vždy v smere X-ovej osi z pohľadu záberov. Tento rozostup nemusí byť nutne rovnaký ako rozostup očí. Pri fotografovaní vzdialených premetov ho môžeme zvoliť väčší, objekty sa budú javiť bližšie no menšie [Obrázok 2].

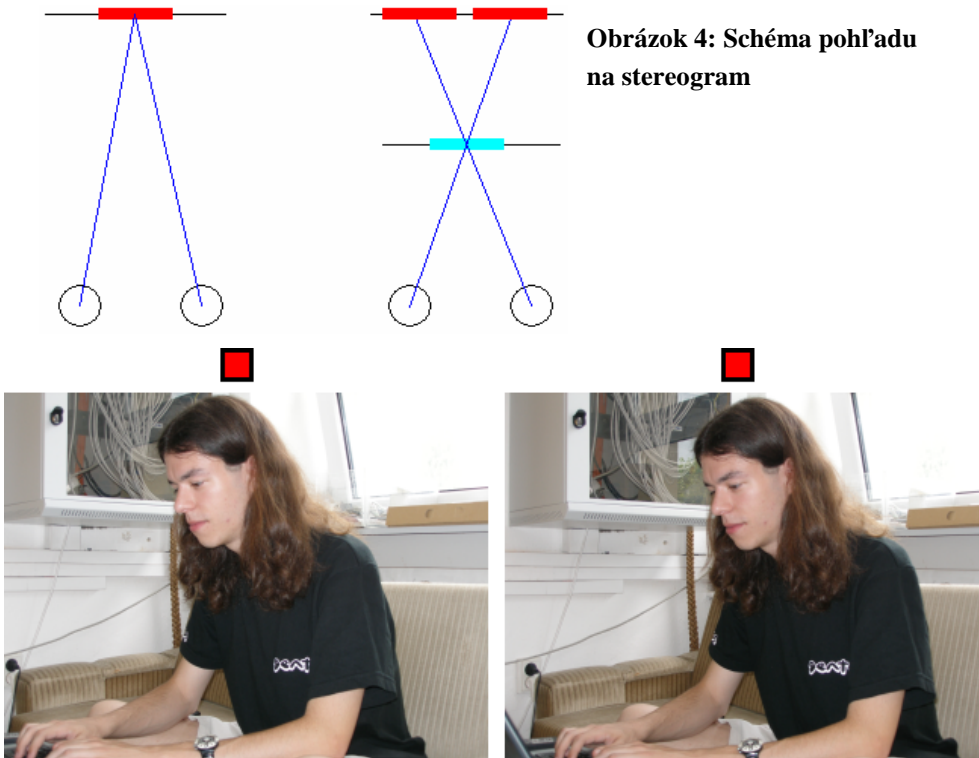


**Obrázok 2 (predškúľovanie):**  
Spodné kocky sa zdajú bližšie  
no menšie, lebo sú fyzicky  
rovnako veľké pri väčšom  
rozostupe

Následne umiestnime záber z ľavej pozície napravo od pravého záberu. Teraz sa musíme pozrieť ľavým okom na záber z ľavej pozície a pravým na záber z pravej pozície [Obrázok 4]. Je teda zjavné, že treba zaškúliť a obraz nám vznikne nad rovinou stereogramu. Táto technika sa preto volá technika predškúľovaním. Pre diváka sa obrazy zdanlivo priblížili až prekryli, až vidí tri. Ten stredný obraz má hĺbkový efekt [Obrázok 5]. Niektorým ľuďom pomôže umiestnenie pomocného symbolu nad stereogram, ktorý majú pomocou škúlenia prekryť. Vyžaduje si to istú dávku sústredenia a skúseností.



**Obrázok 3: Schéma prirodzeného pohľadu na obázok**



**Obrázok 4: Schéma pohľadu na stereogram**

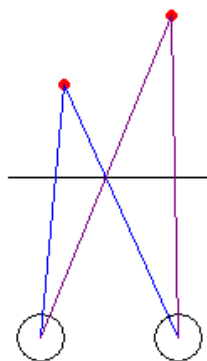
**Obrázok 5: Stereogram (na obrázku kolega)**

Čím je obrázok väčší, tým ťažšie sa naň pozerá, lebo človek je zvyknutý natáčať oči a zaostrovať zviazane, pričom pri pozorovaní stereogramov musia byť oči stočené, akoby pozerali do blízka, no zaostrené na rovinu stereogramu (vid'. [Obrázok 3] a [Obrázok 4]). Ak vymeníme obrázky medzi sebou, dostaneme stereogram na pozeranie za scénou. Vtedy však šírka záberu nesmie presiahnuť rozostup divákových očí, lebo by sa stereogram stal neprehliadateľným.

### 2.3 Autostereogram

Autostereogram je rovnako ako stereogram založený na predškul'ovaní alebo pohľade za scénu. Rozdiel je však v tom, že autostereogram je jediný obrázok a stereogram je tvorený dvoma. Na obrázku [Obrázok 2] je príklad autostereogramu, lebo ho tvorí iba jeden obrázok.

Bez újmy na všeobecnosti rozprávajme teraz o stereogramoch na prezeranie pohľadom za scénu. Keď potrebujeme vytvoriť ilúziu farebného bodu za scénou, vedíme týmto bodom priamky cez obe oči a farebný bod zaznačíme na priesečníkoch týchto priamok s rovinou autostereogramu. Každý priestorový bod objektu sa teda zobrazí do dvoch bodov na autostereograme. Toto obmedzuje autostereogramy, že nemôžu byť ľubovoľných farieb, ale musia mať určenú textúru. Farba jedného bodu na obrázku totiž učuje farbu pre dva body výslednej ilúzie [Obrázok 6] a naopak, farba jedného bodu ilúzie určuje farbu dvom bodom obrázku. Rozostup týchto rovnofarebných bodov vlastne určuje vzdialenosť imaginárneho bodu od diváka. Rozostup rovný rozostupu očí zapríčiní zdanie, že bod je nekonečne ďaleko.



**Obrázok 6: Farba jedného bodu na obrázku učuje farbu pre dva body výslednej ilúzie. Vzdialenejší kontrolný bod má väčší rozostup**

Autostereogramy poznáme dvoch druhov podľa spôsobu otextúrovania: náhodne bodkované a vzorkované. Náhodne bodkované autostereogramy pridelia neviazaným pixelom náhonú farbu. Narozdiel od

nich, majú vzorkové autostereogramy opakujúcu sa vzorku a vďaka antialiasingu umožňujú príjemnejší obraz. Vzorka môže byť v niekoľkonásobne väčšom rozlíšení a pri generácii autostereogramu sa docieľuje hladší obraz vďaka tomu, že jeden pixel nie je zviazaný s jedným, ale s celou oblasťou pixelov, z ktorej sa vypočíta priemer, ktorý určí farbu viažucemu sa pixelu. Náhodne bodkované autostereogramy používajú pri antialiasingu bodky niekoľko pixelového priemeru, lebo mozog by si nedokázal domyslieť, na aké náhodné pixely sa daný pixel viaže.

## 3 Použitie programu

V programe sa dajú nahráť dva pohľady na scénu, každý z jedného oka. Potom má užívateľ rôzne možnosti zostojenia biokulárnych zobrazení scény. Najprv musí určiť, kde sa nachádza bod, ktorý má program považovať za najvzdialenejší na scéne. Potom prípadne určiť nejaké ďalšie kontrolné body, pomocou ktorých program vygeneruje hĺbkovú mapu. Podľa tejto mapy bude môcť generovať niektoré ďalšie zobrazenia.

### 3.1 Zhotovenie záberov

Fotografujeme spravidla nehybnú scénu, lebo pri nej nezáleží na synchronizácii dvoch fotoaparátov, alebo sa dá odfotografovať na dva krát použitím iba jedného aparátu. Pri fotografovaní oboch záberov mierime tým istým smerom.

Rozostup záberov volíme približne rovný rozostupu očí (6-7 cm). Človek odhaduje vzdialenosti pomerne k rozostupu svojich očí, takže použitím väčšieho rozostupu môžeme odfotografovať vzdialenejšiu scénu, pre presnejšie uvedomovanie si hĺbky. Objekty na takomto zábere sa však vo výsledku budú javiť menšie. Rovnako môžeme odfotografovať detailnú scénu s malým rozostupom, divák si potom bude pripadať že sa zmenšil a vstúpil do scény.

Fotoaparát je dobré položiť na podložku, po ktorej ho potom bude možné spoľahlivo pohnúť v smere kolmom na smer záberu.

### 3.2 Nastavenie odstupu

Pri dnešných<sup>1</sup> rozlíšeniach je takmer nemožné zhotoviť zábery úplne správne v zmysle, že nekonečne vzdialený bod, by bol na oboch obrázkoch v strede záberu. Preto po nahratí dvoch záberov do programu, užívateľ určí najvzdialenejší kontrolný bod<sup>2</sup>. Program podľa neho určí odstup pravej fotky – čiže posunie ju vertikálne tak, aby Y súradnica kontrolného bodu bola na oboch záberoch rovnaká. Ďalej vypíše užívateľovi rozostup X súradníc kontrolného bodu a dá možnosť nastaviť aj X odstup záberov.

---

<sup>1</sup> Bežne: 1600x1200

<sup>2</sup> V skutočnosti sa jedná vždy o pár bodov – na oboch záberoch jeden; pre jednoduchosť ich však budem volať iba „bod“

Tento odstup spolu s rozostupom kontrolného bodu vlastne určia maximálny rozostup bodov rovnakej farby na výslednom autostereograme.

Nakoľko sa najvzdialenejšie miesto nenachádza v nekonečne, nie je vhodné nastaviť odstup až tak, aby rozostup kontrolného bodu bol rovný rozostupu očí, ikeď dosiahnutý efekt by bol zaujímavý. Nie je vhodné voliť priveľké rozostupy, lebo oči sa ťažko divergujú až do takých extrémnych (skoro až rovnobežných) smerov. Rovnako ani primálny maximálny rozostup nie je vhodný, nakoľko neposkytuje dostatočný stupeň voľnosti pre kreslenie rôznych výškových hladín a ľahko sa stane že sa oči zahľadia príďaleko.

Navyše, špeciálne pri autostereograme, nemôže byť ani hĺbkový rozsah príliš veľký, lebo vzorka sa vo vyšších hladinách skrakuje, a keď je prikrátka, nastáva rovnaký efekt, ako keď zvolíme maximálny rozostup primálny. V praxi sa najviac osvedčuje pomer minimálneho k maximálnemu rozostupu okolo 0,55.

### **3.3 Zadanie kontrolých bodov**

Ďalším krokom je určenie kontrolných bodov na záberoch. Jedná sa vždy o jeden bod scény označený na oboch záberoch. Spolu určujú konvergentnosť očí (ďalej nazývanú iba rozostup kontrolného bodu) pri pohľade na daný bod.

Pomocou týchto bodov program vypočíta hĺbkovú mapu, ktorú používa pri generovaní zložitejších zobarzení. Použije pri tom Delaunayovu trianguláciu. Jednotlivé výšky do výškovej mapy pre každý trojuholík potom vypočíta lineárnou interpoláciou medzi výškami jeho vrcholov. Treba pri tom však myslieť na to, že vzťah medzi rozostupmi kontrolých bodov a hĺbkov v hĺbkovej mape nie je lineárny a riadi sa vzťahom

**Rovnica 1**

$$h = \frac{h_0}{r_0 - r} \cdot r,$$

kde  $h_0$  je vzdialenosť diváka od obrázka,  $r_0$  je rozostup očí,  $r$  je rozostup kontrolného bodu a  $h$  je hĺbka scény prislúchajúca kontrolnému bodu.

### **3.4 Export rôznych binokulárnych zobrazení**

Program je schopný z načítaných a spracovaných záberov vytvoriť stereogram a anaglyf. Pri týchto sa riadi iba odstupom fotografií a oblasťou exportu, ktorú si určí užívateľ.

Ďalej môže vytvoriť autostereogram a anaglyf drôteného modelu. Tieto vyrába podľa hĺbkovej mapy, preto je potrebné zadať aj kontrolné body. K tvorbe autostereogramu ešte potrebuje aj vzorku. Na generáciu náhodne bodkových stereogramov obsahuje generátor náhodnej vzorky. Drôtený model vyzerá z pôdorysu ako mriežka a výška vrcholov jednotlivých štvorcov sa zoberie z výškovej mapy. Po jeho priestorovom natočení sa dá nakoniec uložiť ako anaglyf.

Všetky vstupno-výstupné operácie vykonáva vo formáte .bmp.

## 4 Prehľad metód vytvárania binokulárnych zobrazení

V tejto časti uvediem konkrétne postupy vytvárania jednotlivých biokulárnych obrázkov podľa zložitosti.

### 4.1 Stereogram

Stereogram vytvoríme tak, že nastavíme  $Y$  odstup záberov a oblasť, z ktorej chceme vytvoriť stereogram na jednej z nich. Príslušná oblasť v druhom zábere sa nájde tak, že sa obdĺžnik určujúci prvú oblasť posunie o  $X$  a  $Y$  zložky odstupe. Tieto dve oblasti sa umiestnia vedľa seba tak, aby oblasť z ľavého záberu bola napravo od oblasti z pravého. Nakoniec môžeme ešte doladiť  $X$ -odstup fotiek, aby stereogram vyzeral prirodzene.

Ak vymeníme oblasti medzi sebou, získame stereogram na pozeranie za scénu.

### 4.2 Anaglyf

Anaglyf dokáže zachytiť iba čiernobielu scénu, preto je prvým krokom konverzia záberov do odtieňov šedej. To realizujeme napríklad pomocou aritmetického priemeru jednotlivých farebných zložiek.

Ďalej potrebujeme kalibrovať okuliare, ktoré bude divák používať. Nakoľko meniť vlastnosti okuliarov je obtiažne, budeme prispôsobovať nastavenie farieb. Cieľom je nájsť tri farby: volajme ich ľavá, pravá a farba pozadia. Ľavá farba má byť čo najmenej kotrasntá s farbou pozadia pri pohľade cez ľavý filter. Rovnako pre pravú farbu a filter. Farbu pozadia nastavíme ako odtieň šedej a pre ľavú a pravú farbu nastavujeme intenzitu každej zložky separátne. Pri interaktívnom nastavovaní kontrolujeme kotrasty farieb s farbou pozadia cez príslušné farebné filtre a žiadnu farebnú zložku nedovolíme nastaviť na svetlejšiu ako farba pozadia, lebo by sa daná farba javila svetlejšia aj cez nesprávny filter.

Teraz vykreslíme ľavý záber použitím odtieňov pravej<sup>1</sup> farby. Rozsah odtieňov šedej od čiernej po bielu pri tom lineárne namapujeme na rozsah od pravej po farbu pozadia. Pravá farba s farbou pozadia nie je pri

---

<sup>1</sup> Pravá farba je kontrastná s pozadím pri pohľade cez ľavý filter



pohľade cez pravý filter nekonztrastná, takže aj celý gradient<sup>1</sup> od pravej po farbu pozadia by mal byť nekonztrastný.

Pravý záber vykreslíme rovnakým použitím ľavej farby cez ľavý záber s príslušným odstupom určeným manuálne alebo pomocou kontrolného bodu. Zábery zmiešame po pixeloch použitím aritmetického priemeru na všetky farebné zložky premietajúcich sa pixelov.

### 4.3 Hĺbková mapa

Na generáciu nasledujúcich zobrazení potrebujeme hĺbkovú mapu, preto si musíme vysvetliť, ako ju vypočítať. Cieľom je použiť informáciu z kontrolných bodov a dokázať určiť hĺbku každého pixelu pre hĺbkovú mapu. Je jedno, ktorý záber si vyberieme ako ten, pre ktorý budeme počítať hĺbkové úrovne. Kôli jednoduchosti implementácie si vyberieme ľavý, lebo kontrolné body si budeme ukladať vo formáte  $X, Y, rozostup$ , kde  $X$  a  $Y$  sú súradnice bodu na ľavom zábere a  $rozostup$  je rozdiel  $X$  súradníc kontrolného bodu na pravom a ľavom zábere.

Kontrolné body určené užívateľom použijeme ako vrcholy trojuholníkov. Použijeme delaunayovu trianguláciu, čiže trianguláciu, pre ktorú platí, že opísaná kružnica ľubovoľného trojuholníka neobsahuje vo svojom vnútri žiadny vrchol<sup>2</sup>. Pri takejto triangulácii nevznikajú vedľa seba tenké trojuholníky, triangulácia je intuitívna a užívateľovi ľahko pochopiteľná. Táto planárna triangulácia je vlastne kolmým premietnutím trojrozmernej triangulácie viditeľnej strany fotografovaného objektu do roviny záberu.

Po triangulácii si pripravíme hĺbkovú mapu. Bude to dvojrozmerné pole takých rozmerov, aké bude vyžadovať cieľový binokulárny obrázok, inicializované hodnotami najväčšej<sup>3</sup> hĺbky. Jednotlivé trojuholníky do nej zakreslíme tak, že prepočítame súradnice vrcholov trojuholníka do súradnicového systému mapy a vyplníme daný trojuholník správnymi hodnotami. Hodnoty vypočítame tak, že súradnice každého pixelu hĺbkovej mapy prepočítame naspäť to sústavy súradníc trojuholníka a hĺbku zistíme lineárnou interpoláciou hĺbok jeho vrcholov. Hĺbky vrcholov určuje vzťah

---

<sup>1</sup> Plynulý prechod

<sup>2</sup> Žiadny vrchol nemá menšiu vzdialenosť od stredu kružnice ako polomer kružnice.

<sup>3</sup> Hĺbka rastie smerom od diváka

[Rovnica 1]. Pri tomto postupe sa vďaka zaokrúhľovaniu môže stať, že do mapy budeme chcieť vypočítať hĺbku pixelu, ktorý danému trojuholníku nepatrí. V takom prípade hodnotu v hĺbkovej mape nezmeníme.

Z optimalizačných dôvodov je najvhodnejšie zvoliť si súradnice trojuholníka tak, aby jeden vrchol ( $A$ ) bol počiatok sústavy a dve priľahlé strany tvorili jednotkové vektory  $i$  a  $j$ . Teraz ľahko prepočítame súradnice mapy do sústavy  $A_{i,j}$ . Stačí vyriešiť dve rovnice o dvoch neznámych  $x$  a  $y$ :

$$\begin{aligned}v_x &= x \cdot i_x + y \cdot j_x + A_x \\v_y &= x \cdot i_y + y \cdot j_y + A_y\end{aligned}$$

kde za vektor  $\vec{v}$  zvolíme postupne obe súradnice  $v_1(1,0)$  a  $v_2(0,1)$ . Zároveň vieme jednoducho zistiť, či sa daný pixel nachádza v trojuholníku. Stačí, aby mal v systéme  $A_{i,j}$  obe súradnice kladné a ich súčet menší ako 1.

Rovnako trojuholník, ktorému sa dva vrcholy zobrazili na ten istý pixel mapy, netreba prepočítavať, nakoľko susedné trojuholníky preočítajú všetky pixely na ktorých sa nachádza.

Výslednú mapu môžeme zobrazit' ako obrázok pomocou odtieňov ľubovoľnej farby, alebo dokonca farebného gradientu. Najčastejšie sa však používajú odtiene šedej.

#### **4.4 Anaglyf drôteného modelu**

Drôtený model skonštruujeme z hĺbkovej mapy ako 3D teleso. Ako  $X$ ,  $Y$  súradnice poslúžia súradnice do hĺbkovej mapy, ako  $Z$  súradnicu použijeme hodnotu z mapy. Teleso môžeme zobrazovať pomocou násobenia súradníc jeho vrcholov jednotkovými vektormi, ktoré môžeme zväčšovať či otáčať. Na otočenie dvoch vektorov  $\vec{x}$ ,  $\vec{y}$  o uhol  $\varphi$  okolo osi kolmej na rovinu, v ktorej ležia, použijeme známy vzorec

$$\begin{aligned}\vec{x}' &= \vec{x} \cdot \cos(\varphi) + \vec{y} \cdot \sin(\varphi) \\ \vec{y}' &= -\vec{x} \cdot \sin(\varphi) + \vec{y} \cdot \cos(\varphi).\end{aligned}$$

Nakoniec vykreslíme na obrázok drôtený model v perspektívnom zobrazení pre každé oko vlastnou farbou, ako anaglyf.

#### **4.5 Autostereogram**

V tomto prípade sa použije algoritmus z časti hĺbková mapa optimalizovaný pre výpočet rozostupovej mapy, čiže rozostupy kontrolných bodov sa

nebudú prepočítavať podľa [Rovnica 1]. Na začiatku inicializujeme rozostupovú mapu rozostupom najvdialenejšieho bodu.

Rozostupová mapa nám pre každý pixel výsledného autostereogramu povie, o koľko pixelov vľavo sa na výslednom stereograme má nachádzať rovnofarebný pixel. Výnimku tvoria iba pixely, ktoré sú tak blízko pri ľavom okraji obrázka, že ich rovnofarebný susedia sú už mimo obrázka. Aby sme túto podmienku splnili, budeme prechádzať riadkami obrázku z ľava do prava a umiestnime na všetky body so súradnicami  $(x, y)$ , ktoré sa odkazujú za hranice obrázka, pixel zo vzorky na súradniciach  $(x \bmod \textit{šírka vzorky}, y \bmod \textit{výška vzorky})$  a na body, ktoré sa odkazujú doľava v rámci obrázka, skopírujeme farbu pixela, na ktorý sa odkazujú.

Šírku vzorky je vhodné voliť rovnakú ako je maximálny rozostup v rozostupovej mape – čiže rozostup najvzdialenejšieho bodu.

Pri vytváraní autostereogramu pre predškulovanie treba použiť hĺbkovú mapu a obrátiť hodnoty v nej, lebo pri tejto technike znamená väčší rozostup menšiu vzdialenosť od diváka. Pri tejto technike je možné použiť aj širšiu vzorku ako je rozostup očí, vďaka čomu sa vzorka menej skreslí.

## 5 Literatúra

- [1] <http://www.wikipedia.org>
- [2] <http://www.techmind.org/stereo/>
- [3] <http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/papers/triangulate/>