



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Katedra algebry, geometrie a didaktiky matematiky

Bakalárska práca

Pavol Beluško

Bratislava 2007



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Katedra algebry, geometrie a didaktiky matematiky

Prehľad metód image-based renderingu

Autor: Pavol Beluško

Vedúci bakalárskej práce: Doc. RNDr. Andrej Ferko, PhD.

Bratislava 2007

Zadanie bakalárskej práce

Študent *Pavol Beluško* vypracuje za účelom obhajoby v rámci záverečného konania vo vysokoškolskom bakalárskom štúdiu na UK FMFI záverečnú prácu s názvom *Špeciálne metódy spracovania obrazu* (zmenené na *Prehľad metód image-based renderingu*) pod vedením pracovníka *Doc. RNDr. Andreja Ferka, PhD.* z pracoviska *KAGDM*. Cieľ bakalárskej práce: *naštudovať problematiku, navrhnúť prototyp a vystaviť na internete.*

V Bratislave dňa 16.10.2006

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

V Bratislave 11. júna 2007

.....

Pavol Beluško

Týmto by som sa chcel poďakovať vedúcemu bakalárskej práce, RNDr. Andrejovi Ferkovi, za pomoc pri písaní tejto bakalárskej práce, rodine, priateľom a tiež všetkým, ktorí mi pomohli užitočnými radami a cennými myšlienkami.

1. Obsah:

1. Obsah:.....	6
2. Abstrakt	7
3. Úvod	8
4. Teória.....	10
4.1 Plenoptická funkcia (Plenoptic function)	10
4.2 Epipolárna geometria (Epipolar geometry)	12
4.3 Poznámky o fotografických prístrojoch	15
5. 2D IBR.....	17
5.1 Mapovanie textúr (Texture mapping).....	17
5.2 Sprity, billboardy, zástupcovia (Impostors)	19
5.2.1 Sprite.....	19
5.2.2 Billboard	19
5.2.3 Zástupca (Impostor).....	22
5.3 Panoráma	26
6. 3D IBR.....	29
6.1 Obraz s hĺbkou, vrstvený obraz s hĺbkou	29
6.1.1 Obraz s hĺbkou (Depth Image)	29
6.1.2 Vrstvený obraz s hĺbkou (Layered Depth Image)	29
6.2 Interpolácia obrazu (View interpolation)	32
6.3 Morfing pohľadu (View morphing).....	35
6.4 Sústredné mozaiky (Concentric Mosaics)	37
7. 4D IBR.....	40
7.1 Svetelné pole (Light Field)	40
7.2 Lumigraf (Lumigraph).....	43
8. Aplikácie IBR	47
8.1 Filmové scény.....	47
8.2 Urbánne rekonštrukcie.....	48
8.3 Fotorealistické interiéry	48
8.4 Fotorealistické textúry	49
8.5 Vykresľovanie ľudskej tváre	50
8.6 3D zobrazovacie zariadenia.....	51
9. Záver	53
10. Použitá literatúra.....	54

2. Abstrakt

Image-based modeling a rendering (IBMR) sú veľmi účinnými prostriedkami na dosiahnutie takmer dokonalého fotorealizmu, čím v niektorých oblastiach ďaleko presahujú výsledky tradičných metód modelovania a renderovania. Táto práca čitateľovi predstavuje image-based algoritmy zachytávania a zobrazovania virtuálneho sveta. Jej cieľom je zhrnúť súčasný stav výskumu, popísať aplikácie daných metód, navzájom ich porovnať a zhodnotiť nastúpený trend diametrálne odlišnými prístupmi. Dôraz je kladený na aspekty spracovania obrazu.

Image-based modeling and rendering (IBMR) are very effective means for achieving almost perfect photorealism and therefore surpass traditional methods of modeling and rendering in many areas. This paper is a guide through the image-based algorithms for capturing and visualizing the virtual world. The goal is to summarize present research and applications of methods described, to compare them mutually and to evaluate the trend with diametrically different approaches. The emphasis is put on the aspects of image processing.

3. Úvod

Počítačová grafika zaznamenala v posledných desaťročiach dôležitý pokrok v snahe zobrazit' reálny svet na monitoroch počítačov. Hrubo deliac možno toto snaženie klasifikovať do dvoch prúdov. Renderovanie založené na geometrii (geometry based rendering - GBR) je prístup, kde je snaha popísať vlastnosti objektov. Tento prístup je asi najprirodzenejší pre počítačové spracovanie, pretože umožňuje najväčšiu slobodu manipulácie so scénou. Za túto jeho výhodu sa platí vysokou výpočtovou zložitosťou renderovania scény (napr. raytracing) či nutnosťou zdĺhavého modelovania, ktorého výsledok je zväčša ďaleko od dokonalosti. Skenovacie prístroje sú dnes už na vysokej úrovni, ale aj napriek tomu stoja grafici stále pred tým istým problémom ako pred desaťročiami, ktorý predstavuje neuveriteľná komplexnosť sveta. Meradlom úspešnosti snaženia je pojem fotorealizmus, čiže nerozoznatelnosť syntetickej snímky od reálnej fotografie. V súčasnosti nie je možné týmto spôsobom zobrazovať fotorealisticky, čo vedie k druhému prístupu.

Image-based rendering (ďalej IBR) je na rozhraní medzi analýzou obrazu (počítačové videnie) a syntézou obrazu (počítačová grafika). Zobrazuje 3D svet pomocou 2D obrazovej informácie bez potreby explicitnej znalosti geometrie. Preto do veľkej miery ide o čisté spracovanie obrazu. Základným problémom je získanie spojitých informácií z konečného množstva referenčných obrázkov, a to pokiaľ možno v reálnom čase.

Výhody IBR sú jednoduchosť získavania fotografií, rýchle zobrazenie a prirodzené pôsobenie. Nevýhoda spočíva vo vysokej náročnosti na skladovanie dát (čo donedávna bránilo v širšom využívaní tejto technológie). Z toho vyplýva dočasná nemožnosť zobrazit' dynamické scény, na druhej strane zachytenie komplikovaných svetelných efektov je oproti GBR bezproblémové prirodzeným spôsobom. Ďalšou nevýhodou je vysoká redundancia dát.

Tieto dva prístupy sa navzájom dopĺňajú, dokonca výstup jedného môže slúžiť ako vstup druhému. Obrázky pre IBR možno získať GBR renderovaním, na druhej strane geometrické objekty zjednodušené na jeden obraz možno využiť v GBR.

Aj IBR predstavuje určitú hierarchiu. Medzi známe metódy patrí čistý image-based prístup (napr. projekt Sea of Images [03]), image-based s využitím podpornej

informácie vo forme hĺbkovej mapy a IBR s asistenciou geometrie (Lengyelovo spektrum renderingu [01]).

Výber tém pre túto bakalársku prácu motivovali hlavne odborné práce prezentované na grafických konferenciách. Cieľom je podať zrozumiteľne a súčasne na odbornej úrovni problematiku IBR.

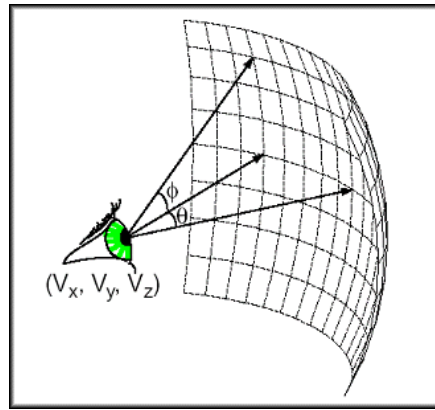
V prvej časti sa čitateľ oboznámi s teóriou, na ktorú sa text bude neskôr odvolávať. V nasledujúcich častiach sú podrobne popísané základné metódy IBR podľa taxonómie [21]. Analýze sa podrobujú po časovej i pamäťovej stránke. Metódy sa delia do kapitol podľa rozmeru plenoptickej funkcie, ktorú rekonštruujú. Na konci práce sú uvedené niektoré úspešné aplikácie IBR.

4. Teória

4.1 Plenoptická funkcia (*Plenoptic function*)

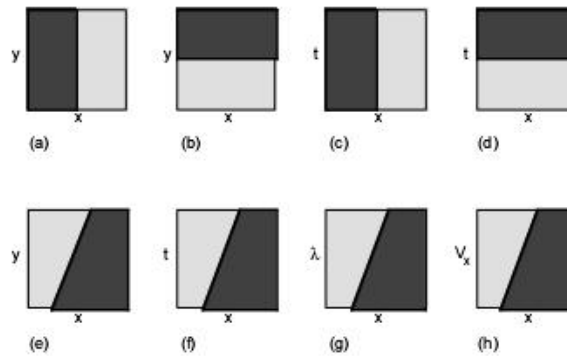
Pojem plenoptická funkcia v renderingu prvýkrát použili L. McMillan a G. Bishop v článku *Plenoptic modeling* [04]. V terminológii počítačovej grafiky sa využíva na popis sveta, ide o ideálny model. Predpokladom je, že skúmaná oblasť je plná svetelných lúčov, ktoré sa identifikujú pomocou parametrov funkcie. Predstavu možno preniesť do reálneho sveta umiestnením fotoaparátu na ľubovoľnú pozíciu, merajúc lúče dopadajúce na ohnisko objektívu pod ľubovoľným uhlom, pre každú hodnotu vlnovej dĺžky (farebný obrázok) v ľubovoľnom čase (videosekvencia). Takto sa výstup funkcie zjednoduší na jednu číselnú hodnotu. Vstupom je teda 7 parametrov (horizontálny Φ a vertikálny uhol Θ , vlnová dĺžka λ , čas t a poloha pozorovateľa $[x, y, z]$) a výstupom hodnota intenzity. Schopnosť rekonštruovať plenoptickú funkciu v takto všeobecnom tvare je ekvivalentná získaniu fotografie z každého miesta v každom momente atď. Preto je snaha zjednodušiť ju pre potreby konkrétnej aplikácie. Použitelnosť tohto modelu určuje aj dostupnosť a zložitosť metódy pre rekonštrukciu.

V prípade čiernobieleho obrázku hodnoty parametra vlnovej dĺžky zužuje spriemerovaná vlnová dĺžka viditeľného spektra farieb. Často sa vynecháva čas (statické scény) a zužuje zorný uhol. Obmedziť možno napríklad aj výšku pohľadu. Mnohokrát sa plenoptická funkcia reštringuje do tej miery, že jej rozmer je úmerný len dimenzii priestoru, v ktorom sa pohybuje kamera. Aj napriek tomu niektoré techniky IBMR vyžadujú veľmi veľké množstvo snímok (napr. projekt *Sea of Images* [03]). Pre metódy popísané v nasledujúcich kapitolách prirodzene platí, že čím vyšší rozmer plenoptickej funkcie rekonštruujú, tým väčšie úložné nároky má reprezentácia ich dátovej jednotky.



Obr1. Plenoptická funkcia $P(\Phi, \Theta, \lambda, t, V_x, V_y, V_z)$ [04]

Z priebehu plenoptickej funkcie možno vyextrahovať aj vlastnosti obrazu, niektoré z nich, vyplývajúce z deliacich nadrovin priestoru riešení (ak také možno zo získanej informácie skonštruovať), demonštruje obrázok Obr.2.

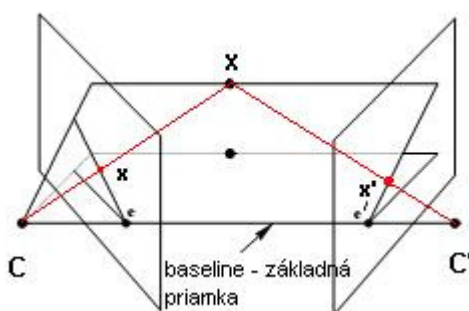


Obr2. Plenoptické štruktúry: a) zvislá hrana, b) horizontálna hrana, c) statická hrana, d) zmena jasů, e) naklonená hrana, f) pohybujúca sa hrana, g) zmena farby, h) spojitá paralaxa pri posune kamery, [05]

Pokročilejšími technikami extrakcie plenoptických štruktúr sa táto práca nezaobrá.

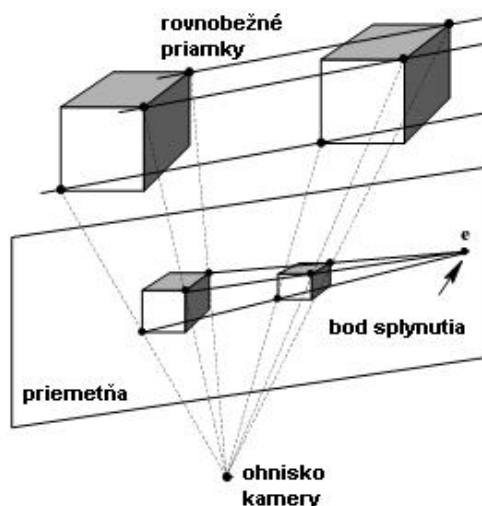
4.2 Epipolárna geometria (Epipolar geometry)

Epipolárna geometria popisuje projektívne vzťahy medzi dvoma kamerami, alebo presnejšie, popisuje geometrické vlastnosti priesečníkov priemetní kamier so zväzkom rovín, ktoré prechádzajú priamkou spájajúcou ohniska kamier (základná priamka – baseline, Obr3.). Tieto vzťahy sú základným kameňom stereorekonštrukcie a taktiež mnohých image-based metód využívajúcich korešpondenciu bodov. Sú nezávislé od geometrie scény, ovplyvňujú ich len vnútorné parametre kamier a ich vzájomná poloha.



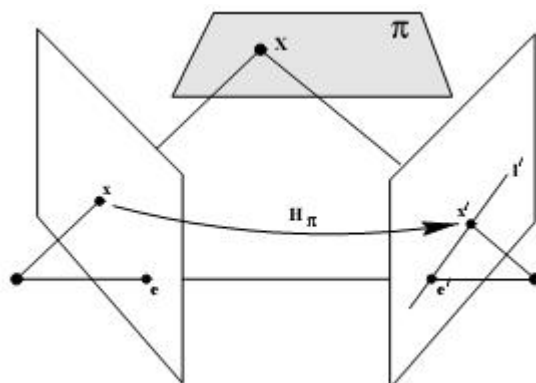
Obr3. Epipolárna geometria (upravené z [e])

Epipólom sa označuje priesečník základnej priamky s priemetňou (obraz jednej kamery v druhej). Epipolárna rovina je každá taká rovina, cez ktorú prechádza základná priamka. Takýchto rovín je nekonečne veľa a sú zoskupene do zväzku okolo základnej priamky. Epipolárna priamka je priesečnica epipolárnej roviny s priemetňou. Prechádza epipólom. Vzájomnú pozíciu kamier možno popísať ako zloženie posunutia a otočenia. Ak sa kamera len hýbe a smer zachováva, je to ekvivalentná situácia s posúvaním celej scény jedným smerom a statickou kamerou. Z toho vyplýva, že vektory posunutia všetkých bodov scény sú rovnaké (smer aj dĺžka). Priamky nimi určené sa premietnu do roviny kamery (tieto priemety sú epipolárne priamky) a pretínajú sa v jednom bode – epipóle kamery, ktorý môže byť aj nevlastný (pohyb rovnobežný s priemetňou). V tomto kontexte sa nazýva bodom splynutia (vanishing point, Obr4.).



Obr4. Bod splynutia [06]

Nech sa bod X zobrazí do bodu x v prvej priemetni a do bodu x' v druhej. Platí, že body x , x' a ohniská kamier sú koplanárne. Na určenie roviny stačia 3 body, teda ak je známe x , dá sa obmedziť priestor pre hľadanie korešpondujúceho bodu x' na priamku – priesečnicu priemetne druhej kamery s epipolárnou rovinou bodu X . Tento fakt má veľký význam pri určovaní korešpondencie bodov, keďže zníži dokonca dimenziu prehľadávaného priestoru, a je motiváciou pri ďalších úvahách.



Obr5. Prenos rovinou π [06]

Nech sú dané 2 kamery a rovina π , ktorá neprechádza ohniskami kamier. Ohniskom prvej kamery a bodom x vedie priamka, ktorá pretína rovinu π v bode X . Tento bod sa premieta do bodu x' v projekčnej rovine druhej kamery. Tento postup sa nazýva prenosom rovinou π (Obr5.). Situáciu možno chápať tiež ako priemet priestorového bodu X do oboch kamier a teda platí, že x' leží na epipolárnej priamke zodpovedajúcej priamke danej bodmi x a X . Existuje teda homomorfizmus H_π zobrazujúci každý bod x_i na jeho obraz, bod x'_i podľa roviny π . Predpoklad existencie roviny π však nie je správny. Preto sa vynecháva a pre bod x získa len epipolárna priamka l' v kontexte druhej kamery pomocou jednej ľubovoľne zvolenej roviny π .

Treba však zabezpečiť, aby body x a x' nesplývali s niektorým z epipólov. Vzťah medzi bodom x a epipolárnou priamkou l' danou epipólom e' a bodom x' možno vyjadriť maticovo (fundamentálna matica). Platí $l' = Fx$. Ide o zobrazenie z 2D do 1D (zväzok epipolárnych priamok). Pomocou fundamentálnej matice F možno vyjadriť nasledujúce vzťahy:

Korešpondencia bodov:

$$x'^T Fx = 0 \quad [v01]$$

Epipolárne priamky:

$$l' = Fx \text{ - prislúchajúca k bodu } x \quad [v02]$$

$$l = F^T x' \text{ - prislúchajúca k bodu } x'$$

Epipóly:

$$Fe = 0 \quad [v03]$$

$$F^T e' = 0$$

Ak F popisuje vzťah dvojice kamier C, C' , potom F^T popisuje vzťah dvojice C', C .

Fundamentálna matica F má stupeň voľnosti 7. Prvkov v matici 3×3 je síce 9, ale škálu nie je možné určiť bez toho, aby bola známa vzájomná poloha kamier a navyše nie je podstatná. Jej zanedbaním sa stupeň voľnosti zníži o 1. F splňa podmienku $\det(F) = 0$, čím sa stupeň voľnosti opäť zníži o 1. Na určenie fundamentálnej matice je teda potrebných 7 dvojíc korešpondujúcich bodov, avšak vtedy sú riešením korene polynómu 6. stupňa. Existuje jednoduchšia numerická metóda využívajúca 8 dvojíc bodov. Prvky matice F sú riešenia sústavy 8 lineárnych rovníc

$$uu' F_{11} + uv' F_{21} + uF_{31} + vu' F_{12} + vv' F_{22} + vF_{32} + u' F_{13} + v' F_{23} + F_{33} = 0$$

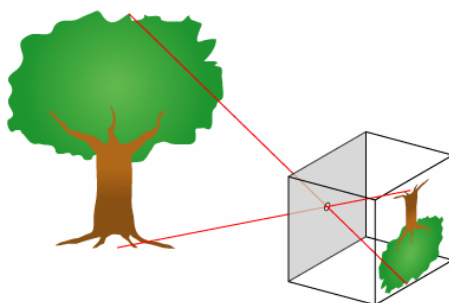
$$[v04] \text{ Predpis rovnice zo sústavy lineárnych rovníc [07]}$$

kde prvý bod dvojice má súradnice $[u, v, 1]$ a druhý $[u', v', 1]$.

Špeciálnym prípadom fundamentálnej matice je esenciálna matica, ktorá predpokladá normalizované kamery (jedna z kamier má kalibračnú maticu maticu identity). Esenciálna matica má stupeň voľnosti 5.

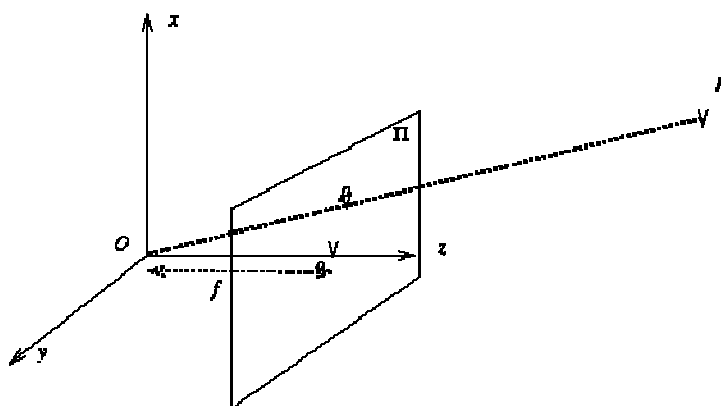
4.3 Poznámky o fotografických prístrojoch

Motivácia pre popis geometrického princípu fotografických prístrojov je fakt, že snímanie obrazu je na začiatku pipeline spracovania obrazu. História fotografických prístrojov siaha až do 11. storočia (camera obscura), prvú trvalú fotografiu zaznamenal Joseph Nicéphore Niépce v roku 1826. Odvtedy vývoj fotografických prístrojov značne pokročil, princíp premietania však zostal zachovaný a práve ten je podstatný pre výpočty. Modelom fotografického prístroja je bodová štrbinová kamera (pinhole camera, Obr6.). Tento model predstavuje ideál - stredové premietanie alebo perspektívnu projekciu.



Obr6. Bodová štrbinová kamera [19]

Stredové premietanie je projektívna transformácia z 3D projektívneho priestoru do 2D projektívnej roviny. Od čias renesančných maliarov sa ustálil nasledujúci štandard premietania.



Obr7. Perspektívna projekcia [20]

Stred premietania je totožný s počiatkom sústavy súradníc, projekčná rovina Π je rovnobežná s rovinou xy a posunutá o ohniskovú vzdialenosť f v smere osi z . Bod o je rovnobežnou projekciou v smere osi z bodu O do roviny Π . Tento bod sa nazýva hlavný a os z sa v tomto kontexte nazýva hlavná os. Pre bod 3D projektívneho priestoru so

súradnicami $[X, Y, Z, 1]$ a jeho obraz v 2D projektívnej rovine so súradnicami $[x, y, 1]$ platia vzťahy [v05]

$$x = \frac{fX}{Z}, y = \frac{fY}{Z} \quad [\text{v05}]$$

Ohnisková vzdialenosť f udáva len škálu, preto ju možno položiť rovnú 1 a vzťah zapísať maticovo.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad [\text{v06}]$$

V skutočnosti je situácia komplikovanejšia.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} M \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad [\text{v07}]$$

K obsahuje vnútorné parametre kamery a M vonkajšie.

$$K = \begin{pmatrix} s_x & s_\theta & u_o \\ 0 & s_y & v_o \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad [\text{v08}]$$

s_x a s_y udávajú škálu premietnutého obrazu v horizontálnom a vertikálnom smere, s_θ udáva sklon osi x a y (väčšinou $s_\theta=0$), $[u_o, v_o]$ sú súradnice hlavného bodu. Matica M reprezentuje zobrazenie zložené z posunutia (do pozície kamery) a otočenia (na smer kamery).

V praxi do hry vstupuje ešte mnoho ďalších parametrov, ktoré sú dôsledkom hlavne optických vlastností objektívu.

5. 2D IBR

5.1 Mapovanie textúr (Texture mapping)

Táto technika je na rozhraní IBR a GBR. Dá sa tiež hovoriť o jednom z prvých krokov v IBR, pretože ide o logické nahradenie komplexnejšej geometrie obrazom. Úlohou je umiestniť 2D textúru na 3D objekt, odkiaľ je premietnutá späť na 2D priemetňu (obrazovka; za pozornosť stojí priestor pre obídienie druhého kroku).

$$TextureSpace(u, v) \rightarrow 3D_ObjectSpace(x_0, y_0, z_0) \rightarrow ScreenSpace(x, y)$$

[v09] Schéma mapovania textúr [21]

Mapovanie textúr je dnes štandard implementovaný bežným hardwarom. Súčasťou grafických kariet je textúrovacia pipeline:

[výpočet pozície bodu polygónu v globálnom súradnicovom systéme] =>

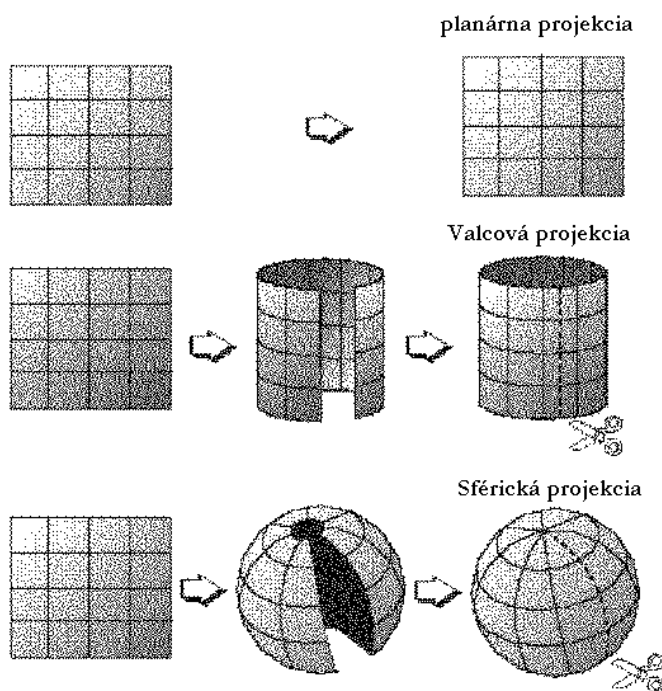
[získanie UV súradníc <0, 1> bodu projekčnou funkciou] =>

[získanie bodu zodpovedajúcich lokálnych textúrových súradníc] =>

[farebná korekcia bodu] =>

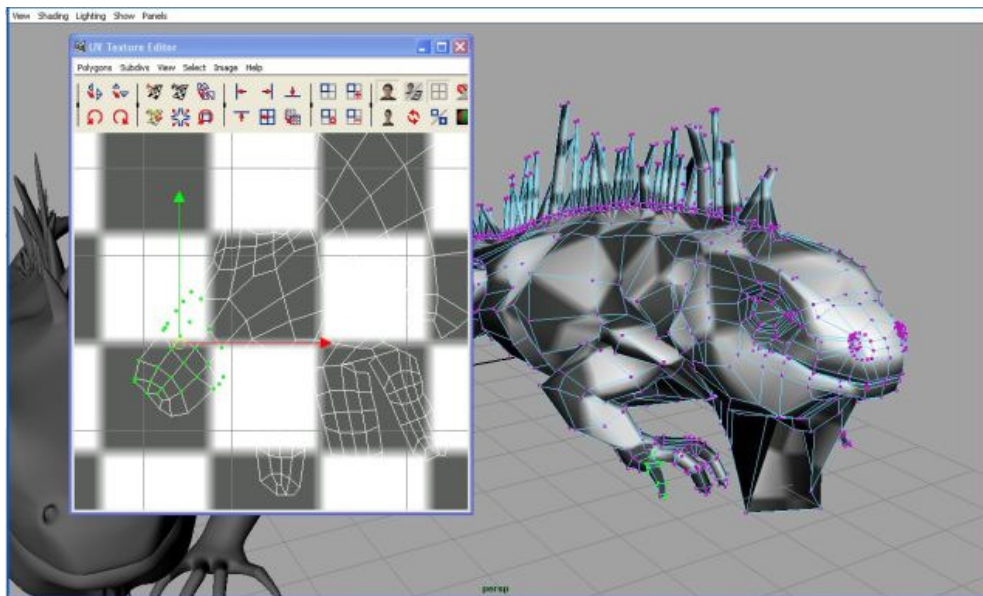
[nahradenie / ovplyvnenie bodu objektu vyrátaným texelom]

Medzi štandardné projekcie patria planárna, valcová a sférická (Obr8.).



Obr8. Druhy projekcie [22]

Pre komplexné modely je však potrebné ručné mapovanie textúry na objekty pomocou UV editorov, preto údaje pre túto časť pipeline je nutné vygenerovať ručne. Problémom mapovania textúr na model sa zaoberá aj kartografia.



Obr9. Editor UV máp s interaktívnou odozvou na modeli [23]

Software: Mapovanie textúr je súčasťou takmer každého modelovacieho programu a je implementované aj v API OpenGL.

5.2 Sprity, billboardy, zástupcovia (Impostors)

5.2.1 Sprite

Sprite je jedna z najjednoduchších primitív IBR, jednoduchý (pohybujúci sa) obrázok. V niektorých aplikáciách sa dokonca využíva mapovanie 1:1 bez úprav na obrazovku. Sprite môže mať definovanú aj priehľadnosť, a to buď pomocou alfa kanála alebo určenej farebnej hodnoty. Taktiež je možné a prakticky často využívané vytváranie jednoduchej animácie, aj keď prechod medzi jednotlivými sekvenciami je zreteľný a teda efekt nie je realistický (napr. staršie hry). Metóda je vhodná pre softwarové renderovanie, i keď aj v 2D aplikáciách je časté využitie 3D spritov, pretože hardwarová akcelerácia tejto metódy zníži zaťaženie procesora.

Ak je možné scénu rozdeliť do vrstiev, ktorých hierarchia sa pri zmene parametrov pozorovateľa nenaruší, možno na jej reprezentáciu použiť aj vrstvy spritov s asociovanou hĺbkou. Dokonca možno vynechať Z-buffer vykresľovaním „odzadu dopredu“ napr. pomocou BSP stromov, ktoré sú vhodné na reprezentáciu horizontálneho rozloženia scény. Pri kolmom premietaní možno približovať a oddaľovať scénu bez projekčných chýb, pokiaľ rozlíšenie škálovaného spritu nie je nižšie ako rozlíšenie výseku obrazovky, na ktorý sa premietne. To isté platí pri posúvaní kamery v smere rovnobežnom s rovinou spritov. Ak sa však mení smer kamery, sprite sa bude javiť ako pootočený polygón. Túto chybu ešte možno napraviť vhodnou transformáciou, avšak často sa v podobnej situácii sprite stáva neplatnou reprezentáciou daného objektu. Dokedy deformovať a odkedy regenerovať sprite je otázkou zmeny uhlu objektu a kamery relatívne k vzdialenosti kamery od objektu.

5.2.2 Billboard

Billboard je polygón (zväčša štvoruholník) otočený tak, aby smeroval k pozorovateľovi. V kombinácii s alfa kanálom a animáciou sa využíva na zobrazenie javov, ktoré je ťažké geometricky zachytiť. Príkladom sú oblaky, dym, explózie. U týchto javov na geometrii ani nezáleží, jednoduché explózie sú navyše takmer stredovo symetrické. Ide len o to, aby vyzerali presvedčivo. Na tomto poli by GBR

našlo ťažko uplatnenie, pretože fotorealizmus a výpočtová jednoduchosť je na strane IBR. Ak by sme sa pokúšali komplikované spojite prebiehajúce prírodné javy modelovať (ak ide o vizuálny dojem, nie fyzikálnu simuláciu), vznikol by zbytočne komplikovaný model, ktorý by nebol presvedčivý.

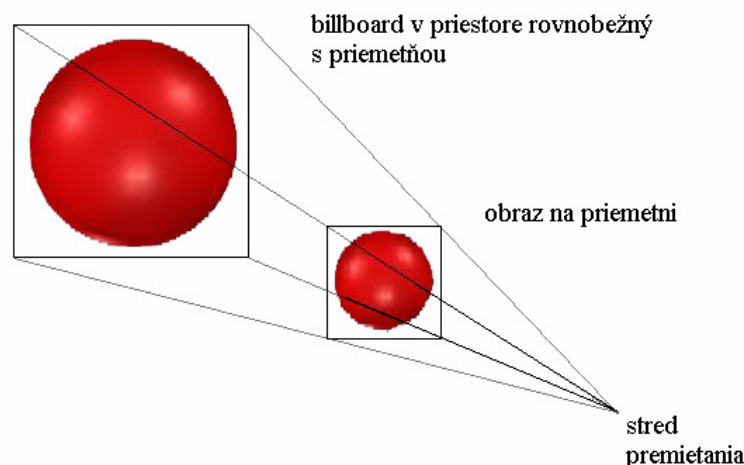
Orientácia billboardu

Udávajúcim parametrom bude normálový vektor polygónu, označme ho n . Tento vektor bude pri výpočte nemenný. Nech u je ľubovoľný vektor smerujúci rovnobežne s osou z (default). Pomocou vektorového súčinu ($n \times u$) vznikne vektor r , ktorý je rovnobežný s horizontálnou rovinou globálneho priestoru (xy). Tento vektor sa normalizuje. Nový vektor u' vznikne následným vektorovým súčinom ($n \times r$) a normalizáciou. Vektory r , u' , n tvoria bázu otočenia. Vrcholy polygónu, ktorý je na začiatku rovnobežný s rovinou xy , sa transformujú do správnej polohy vynásobením transformačnou maticou $M = (r, u', n)$.

Parameter n môže mať rôzne hodnoty.

Billboard zarovnaný s priemetňou (Screen aligned billboard)

Tento typ billboardu je rovnobežný s rovinou premietania. Vektor n je normálový vektor priemetne a vektor u je rovnobežný s priemetňou. Matica otočenia bude platná pre všetky takéto billboardy v scéne. Je to vhodný typ pre symetrické efekty, akými sú napríklad svetelné efekty.



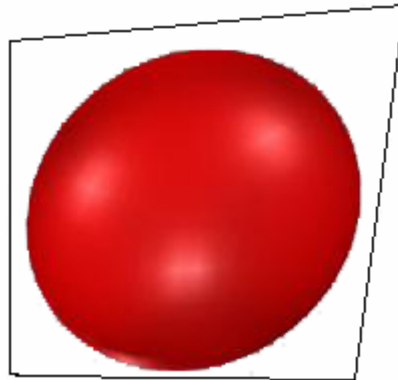
Obr10. Zobrazenie billboardu zarovnaného priemetňou v stredovom premietaní. Pri perspektívnom premietaní do roviny vzniká chyba, ktorá je však prijateľná pre ľudské oko. Objekty si zachovávajú svoj tvar bez ohľadu na perspektívu (Obr10.).

Billboard zarovnaný priestorom (World oriented billboard)

Ide o modifikáciu predošlého typu. Vektor n získame takisto z normálového vektora priemetne, vektor u je globálny, rovnobežný s osou z . Rozdiel spočíva v tom, že keď sa kamera otáča, objekt zostane v jednom smere orientovaný vzhľadom k okolitému svetu a nie kamere.

Billboard orientovaný pozíciou pozorovateľa (Viewpoint oriented billboard)

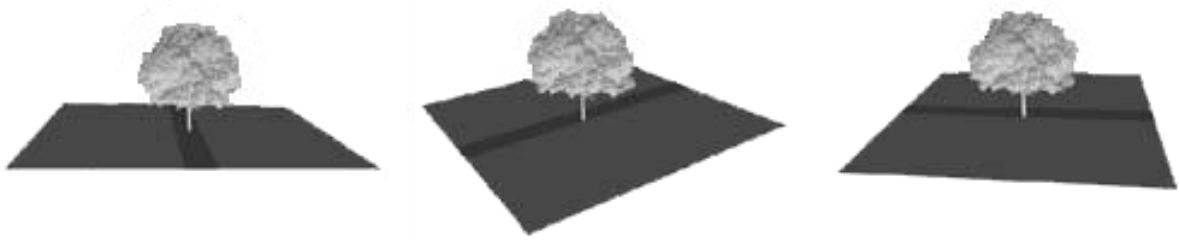
Vektor n smeruje zo stredu premietania do stredu billboardu. Kolmosť vektora n na priemetňu takto nahradzuje podmienka rovnobežnosti s priamkou vedúcou ohniskom a stredom billboardu. Vektor u je rovnobežný s priemetňou tak, že platí $u \times n \parallel \langle xy \rangle$. Perspektívne premietanie tu má za následok, podobne ako pri billboardoch zarovnaných priestorom, deformáciu objektov závisiacu od uhlovej vzdialenosti od osi kamery. Túto deformáciu by zrak nepostrehol, keby sa pozorovateľ reálne pozeral z teoretického stredu premietania.



Obr11. Billboard orientovaný pozíciou pozorovateľa premietnutý na priemetňu [01]

Osový billboard (Axial billboard)

Vektor u je vertikálny v globálnom kontexte. Vektor n polygónu je rovnobežný s horizontálnou rovinou xy a smeruje od stredu polygónu k stredu premietania. Kameru je možné umiestniť tak, že billboard bude jasne viditeľný ako polygón a nie ako realistická reprezentácia objektu (pohľad zhora). Tento jav možno čiastočne skorigovať skombinovaním vertikálneho billboardu s horizontálnym. Metóda sa používa na modelovanie valcovo symetrických objektov. Príkladom sú stromy, ktoré navyše vo väčších množstvách tvoria textúru a nie zoskupenie geometrických útvarov a preto ich možno takto hrubo geometricky aproximovať pri zachovaní postačujúcej miery realizmu.



Obr12. Osový billboard z rôznych pozícií [01]

V predošlom texte boli popísané len určujúce vektory pre konštrukciu matice otočenia, otočený billboard je nutné ešte posunúť na správne miesto (translačná matica).

5.2.3 Zástupca (Impostor)

Zástupca 3D objektu je vytváraný v reálnom čase. Objekt sa vyrenderuje do billboardu, ktorý smeruje k stredu premietania. Ide teda o billboard orientovaný pozíciou pozorovateľa. Rozdiel spočíva v tom, že reprezentuje komplexné objekty a nie objekty, ktorých geometrické vlastnosti sú špeciálne využiteľné pri zjednodušenej reprezentácii. Myšlienkou je zameniť ako meradlo náročnosti renderovacieho algoritmu geometrickú komplexnosť za počet pixlov, ktoré v konečnom dôsledku zaplní zástupca. Existuje tu však mnoho obmedzení, pretože jeden vyrenderovaný snímok je verný len v určitých prípadoch a v určitom rozsahu presnosti.

Konštrukcia zástupcu

Objekt sa vyrenderuje do 2D buffra, ktorého body nesú informáciu o priehľadnosti. Alfa kanál buffra je inicializovaný na 0.0 (plna priehľadnosť). Bodom, do ktorých sa premietne objekt, sa priradí alfa hodnota 1.0 (nepriehľadný). Os kamery bude smerovať do stredu objektu (resp. stredu najmenšieho kvádra obsahujúceho objekt). Z bázy osi sa odvodí n vektor pre billboard (dôležitá je orientácia). Predpokladom teda je, že buffer je správne orientovaný a umiestnený. Výberom najmenšieho obdĺžnika obsahujúceho premietnutý objekt vznikne výsledný billboard. V praxi ide o textúru pre polygón a technológia má názov renderovanie do textúry, ktorá je dnes hardwarovo urýchľovaná. Zástupca môže byť namapovaný nielen na polygón, ale na ľubovoľný konvexný objekt pozdĺž osi virtuálneho billboardu.

Obmedzenia realistikosti zástupcu

V dôsledku deformovania pri projekcii dochádza k naťahovaniu objektov, čo sa taktiež prejaví na potrebe vyššieho rozlíšenia. Keďže chyba je vo väčšine prípadov malá

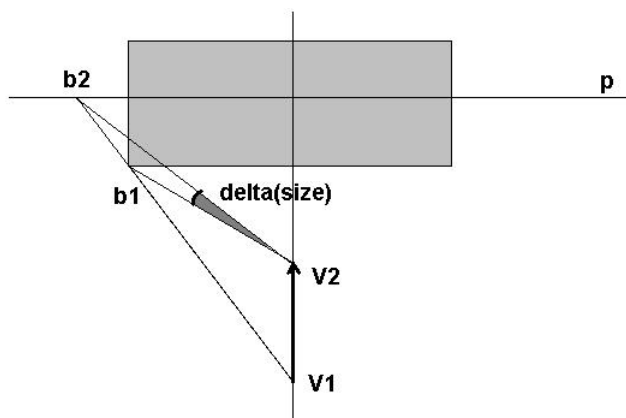
(viditeľná by bola pri extrémne širokom fov a širokej projekčnej ploche), je zanedbateľná.

Druhým typom obmedzení sú geometrické, vyplývajúce z polohy objektu vzhľadom ku kamere. Pri čistej rotácii kamery zostane perspektíva verná.

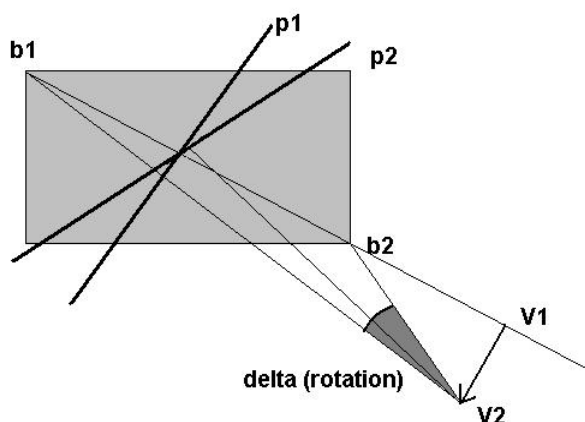
Prekreslenie zástupcu

Na zjednodušenie popisu problémov týkajúcich sa pohybu kamery a objektu budú nasledujúce úvahy pracovať s lokálnou súradnicovou sústavou zobrazovaného objektu. Pohybuje sa teda len kamera. Možno odlíšiť prípady, ktoré ovplyvňujú potrebu znovuvytvorenia zástupcu.

Odchýlky zobrazenia objektu pri rôznych polohách pozorovateľa sa nazývajú paralaxa. Pri renderovaní objektu do billboardu si zapamätáme kontrolné body: môžu to byť prirodzené rohy, ale možno ich zadať aj ručne, ak je záujem zachovať špecifický detail, resp. ich vzájomnú polohu (uhol). Pri zmene parametrov kamery sa vždy skontroluje, či niektorý z uhlov neprekročí zadanú hranicu. Ak áno, zástupca sa vytvorí nanovo.



Obr13. Kamera sa môže k objektu približovať. Uhol $delta(size)$



Obr14. Kamera sa môže posúvať okolo objektu. Uhol $delta(rotation)$

Je žiaduce vytvárať zástupcov v dostatočnom, najlepšie aj najnižšom postačujúcom rozlíšení. Vhodné rozlíšenie možno určiť rovnicou [v10]:

$$res(tex) = res(screen) * \left(\frac{size(object)}{2 * dist * \tan\left(\frac{fov}{2}\right)} \right) \quad [v10]$$

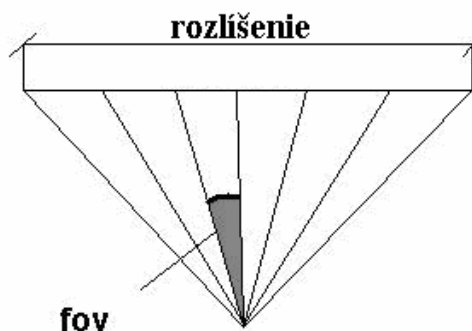
fov – zorné pole (field of view, v stupňoch), *dist* - vzdialenosť objektu od kamery, *res* - rozlíšenie textúry resp. obrazovky.

Renderovať zástupcu zakaždým v optimálnom rozlíšení by neprinieslo žiadny efekt, preto sa zavádzajú hranice presnosti. V prípade rozlíšenia je meradlom *fov* na pixel obrazovky, resp. texel textúry.

$$\begin{aligned} fov(texel) &= fov / res(tex) & [v11] \\ fov(pixel) &= fov / res(screen) \end{aligned}$$

fov je v tomto prípade uhol, pod ktorým vidí pozorovateľ krajné body daného objektu.

Ak $fov(tex) > fov(screen)$, tak je nutný update zástupcu. V opačnom smere možno povoliť interval, po prekročení ktorého sa textúra pregeneruje v nižšom rozlíšení.



Obr15. “Zorné pole“ obrazového bodu: $fov(texel)$ resp. $fov(pixel)$

Zástupca sa renderuje vždy keď je prekročená ktorákoľvek z hraníc ($res(tex)$, $delta(size)$, $delta(rotation)$)

V literatúre autori opomínajú fakt, že hranice je nutné nastavovať v závislosti od vzdialenosti od objektu, inak by mohla nastať situácia, že vo veľkej vzdialenosti si algoritmus nevšimne ani otočenie objektu o 180° alebo by boli rozdiely medzi samplami priveľké.

Použitie zástupcov je vhodné najmä pre vzdialené objekty, ktoré sa nehýbu. Animáciu je možné si predrenderovať dopredu podľa pohybu objektu a jeho kontrolných bodov po obrazovke. Jednotlivým sekvenciám animácie sa priradí jeden zo snímkov. Ak však nepoznáme priebeh animácie, nie je možné predpokladať zmenu

pozície kamery ani objektu a teda použitie zástupcov nie je možné. Je však možné použitie zástupcu pre objekt, ak sa tento nehýbe, a renderovať geometriu ak je v pohybe.

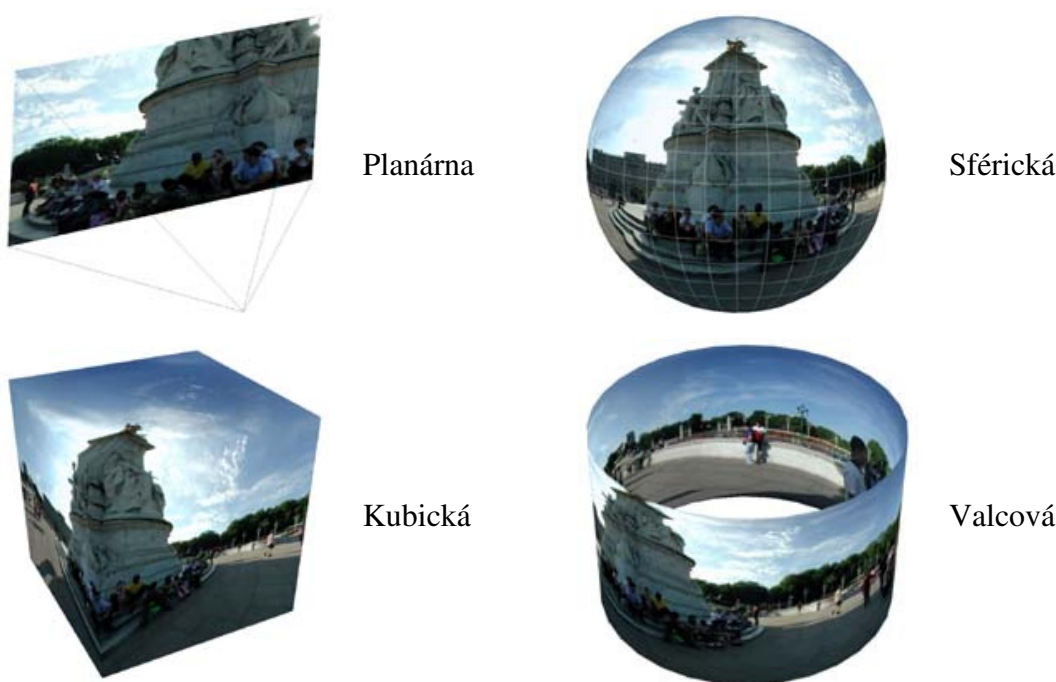
5.3 Panoráma

Slovo panoráma pochádza z gréckych slov pan (všetko) a horama (pohľad) a prvýkrát ho použil škótsky maliar Robert Barker už v roku 1792. Voľne povedané ide o širokohlý obraz zachytávajúci cele okolie (resp. jeho veľkú časť) pozorovateľa, avšak panorámu možno bez nadsadenia považovať za záber plenoptickej funkcie zo statického miesta. Ide teda o jednu z prvých aplikácií plenoptického modelovania. Panoráma je zároveň najrestringovanejšia plenoptická funkcia využívaná na rekonštrukciu úplného 3D prostredia. Najrozšírenejšia technológia na spracovanie a zobrazovanie panorám je Quicktime VR (virtual reality, [29]).



Obr16. Plná a čiastočná panoráma pri valcovej projekcii [24]

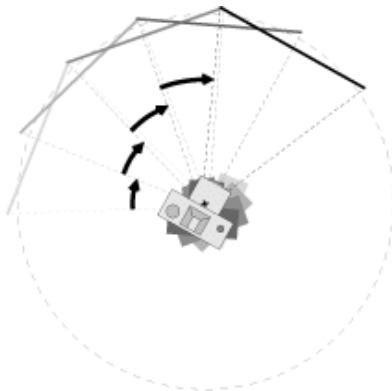
Existuje viacero parametrizácií panorám. Medzi najznámejšie patria:



Obr17. Druhy projekcie panorám [25]

V súčasnosti existuje mnoho spôsobov a zariadení na snímanie panoramatických fotografií. Širokohlý záber možno dosiahnuť použitím objektívu typu rybie oko, všesmerovou zrkadlovou kamerou, existujú aj špeciálne panoramatické fotoaparáty, ktorých objektív sa pri snímaní otáča okolo vertikály. Pre bežného používateľa najdostupnejšia metóda je poskladať panorámu ako tzv. obrazovú mozaiku z viacerých

fotografií snímaných štandardným prístrojom. Je potrebné zabezpečiť aparát pred veľkými zmenami v pozícii či rotácii okolo optickej osi prístroja napríklad statívom. Taktiež je nutné fixovať vnútorné parametre kamery: expozíciu (clona, uzávierka), ohniskovú vzdialenosť, pri digitálnych fotoaparátoch vyváženie bielej farby.



Obr18. Snímanie panorámy bežným fotoaparátom [24]

Spájanie samotné pozostáva z úpravy vstupných obrázkov, získania korešpondujúcich bodov zo „susedných“ snímok, následného „zošitia“ obrazov a ich blendovania (postprocessing). Susedné snímky sa musia čiastočne prekrývať. Kvalitu výsledku ovplyvňuje viacero faktov: nastavenie aparátu (napr. veľká ohnisková vzdialenosť redukuje sudovité skreslenie obrazu), použité algoritmy či komplikácie vyplývajúce z vlastnosti scény (paralaxa, hĺbková diverzita).

Pri vytváraní panorámy treba nájsť vzťah medzi bodom v 3D priestore a bodmi plochy, ktorú sme zvolili ako reprezentáciu, pri zobrazovaní medzi plochou a 2D projekčnou plochou (obrazovkou). Nasledujúce vzťahy platia pre valcový typ, ktorý je najrozšírenejší. Pre ostatné druhy panorám sú vzťahy obdobné. Ich výpočet nie je náročný a algoritmus na ich riešenie teda beží v reálnom čase.

Valcová plocha sa parametrizuje usporiadanou dvojicou $[\theta, v]$, kde θ je horizontálny index (daný uhlom s osou x) a v vertikálny (scanline), projekčnú plochu uspor. dvojicou $[u', v']$. $\theta, v, u', v' \in \langle 0, 1 \rangle$. Bod 3D priestoru má súradnice $[x, y, z]$. Začiatok súradnicovej sústavy je v strede valca, os z splýva s osou valca, os x zodpovedá $\theta=0$. Ďalej nech výška valca je h , veľkosť zorného poľa vo vertikálnom smere f . Platí [v12].

$$h = 2tg\left(\frac{1}{2}f\right) \quad [v12]$$

$$\theta = \frac{\arctg 2(y, x)}{2\pi} + \frac{1}{2}$$

$$v = \frac{1}{h} \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \frac{1}{2}$$

Pre zobrazenie do projekčnej plochy sa zavádza uhol θ_0 ako horizontálny uhol smeru projekcie (opačný vektor k normále plochy) a osi x . Za predpokladu, že vertikálny uhol je fixný, rovný 0, usporiadanú dvojicu $[\theta, v]$ možno vypočítať z parametrov x', y' vzťahmi [v13].

$$\theta = \theta_0 + \frac{\arctg(x')}{2\pi} \quad [v13]$$

$$v = \frac{1}{h} \frac{y'}{\sqrt{1+x'^2}} + \frac{1}{2}$$

Panorámu je praktické nasnímať jediným záberom pomocou katadioptrického všesmerového fotografického prístroja alebo iným špecializovaným aparátom.



Obr19. Katadioptrická kamera, záber katadioptrickej kamery, transformovaná panoráma (dole) [26]

6. 3D IBR

6.1 *Obraz s hĺbkou, vrstvený obraz s hĺbkou*

6.1.1 **Obraz s hĺbkou (Depth Image)**

Obraz s hĺbkou je 2D primitívum, ktoré okrem farby nesie aj informáciu o hĺbkovej odchýlke jednotlivých bodov, pohľad jednej kamery na scénu. Jeho reprezentácia je 2D pole bodov s hĺbkou.

```
DepthPixel {  
    RGBColor color;  
    Double depth;  
}
```

Obraz s hĺbkou je medzistupeň medzi spritmi a geometricky renderovanými modelmi v LOD (level of detail hierarchii). Ich veľkosť rastie lineárne s počtom zobrazovaných bodov, nie s geometrickou komplexnosťou objektu. Oproti spritom majú výhodu, že ich možno natáčať pri zachovaní vernosti zobrazovaných tvarov, možno ich vykresľovať bez potreby Z-buffra napr. usporiadaním bodov McMillanovým algoritmom (McMillan's ordering algorithm –MOA, [08]) a vykresľovaním „odzadu dopredu“, keďže body majú súradnice v lokálnej sústave. Reprezentácia je nedokonalá v tom, že nezachytáva tvary skryté pri snímaní. Vzhľadom na jednu hĺbkovú hodnotu na pixel nie je možné zaznamenať objekt pri 360° slobode jeho otáčania. Ide teda len o rozšírenie spritov. V literatúre sa obrazy s hĺbkou spomínajú aj ako bas-reliéfy.

6.1.2 **Vrstvený obraz s hĺbkou (Layered Depth Image)**

Na reprezentáciu komplexnejšej geometrie je možné použiť viacero obrazov vo vrstvách, avšak ich vzájomná neprepojenosť nejakou informáciou by znemožnila použitie MOA a renderovanie z takéhoto zdroja by vyžadovalo použitie Z-buffra, čo je oproti MOA drahý algoritmus, navyše by bolo nutné riešiť potenciálne prekrytia

blendovaním. Vrstvy obrazov sa zokupia do jednej dátovej štruktúry, vrstveného obrazu s hĺbkou.

```
LayeredDepthImage {
    Camera kamera;      //informácie o snímacom zariadení
    LayeredDepthPixel[Xwidth][Ywidth] LDpixels;
}
```

```
LayeredDepthPixel {
    Int NumLayers;
    DepthPixel[Max] Layers;
}
```

Za pozornosť stojí aj fakt, že oproti vrstvám obrazov rastie objem dát s geometrickou komplexnosťou a nie s počtom vrstiev.

Renderovanie

Ako už bolo spomenuté, samotné vykresľovanie zoradených bodov prebieha odzadu dopredu. Dôležitým krokom je však deformácia obrazu podľa aktuálneho miesta pozorovateľa. Nech $C1$ je matica kamery transformujúca globálne súradnice určitého bodu do projekčnej roviny. Touto projekciou sa stráca informácia o hĺbke bodu vzhľadom ku kamere, tá sa však dá určiť podľa pozície kamery, LDI a bodu v rámci LDI. Známe sú taktiež parametre pozorovateľa. Nech $C2$ je jeho projekčná matica. Transformácia bodu, ozn. $T = C2 * C1^{-1}$.

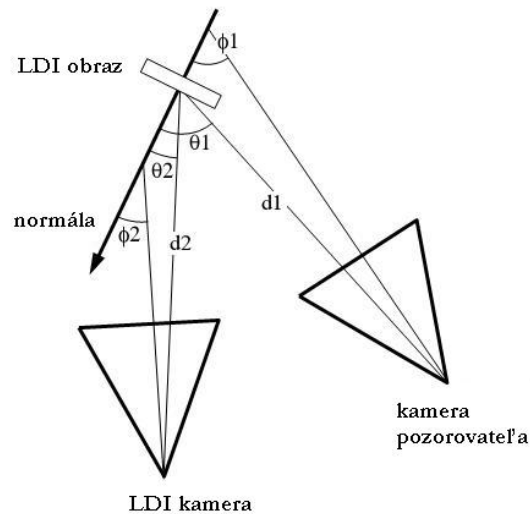
$$\mathbf{T} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \cdot w \\ y_2 \cdot w \\ z_2 \cdot w \\ w \end{bmatrix} = result \quad [v14]$$

Súradnice na výslednej obrazovke sú x_2, y_2 .

Na pokrytie potenciálnych medzier medzi zobrazenými bodmi sa nepoužíva interpolácia, ale pixel splatting („rozplesknutie“), ktoré využíva postup vykresľovania LDI. Bod ovplyvní aj svoje okolie a jeho veľkosť sa parametrizuje. Veľkosť v bodoch tejto oblasti je vyjadrená nasledujúcim vzťahom:

$$s = \frac{(d_1)^2 \cos(\theta_2) res_2 tg\left(\frac{1}{2} fov_1\right)}{(d_2)^2 \cos(\theta_1) res_1 tg\left(\frac{1}{2} fov_2\right)} \quad [v15]$$

d_1 je vzdialenosť bodu od LDI kamery, fov_1 je zorné pole LDI kamery, res_1 je rozlíšenie LDI kamery, θ_1 je uhol normály LDI obrazu a osi LDI kamery (Obr20.). Obdobné platí pre kameru pozorovateľa (indexy 2).



Obr20. Voľba veľkosti oblasti pre pixel splatting [08]

Okolie bodu je definované maskou, ktorá určuje alfa kanál pridelený bodom v okolí riadiaceho. Všetky tieto body tvoriace okolie sa použijú pri vykresľovaní.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Príklad splat masky - alfa kanál je (1 - 1/hodnota v matici)

Podľa [08] je riešenie vymenovaných úloh možné vykonávať v reálnom čase

McMillanov usporadúvací algoritmus:

Algoritmus nájde usporiadanie vykresľovaných bodov v spoločnej sústave súradníc tak, aby výsledný obraz bol hĺbkovo korektný. Prvým krokom je nájdenie obrazu kamery pozorovateľa v premietaní LDI kamery snímajúcej scénu (pracuje sa so stredmi premietania). Tento bod je priesečníkom priamky spájajúcej stredy premietania a projekčnej roviny LDI kamery a rozdelí projekčnú rovinu LDI kamery na 4 kvadranty. Ak sa výstupná kamera nachádza pred LDI, pri vykresľovaní sa postupuje „zvonku“ kvadrantov smerom k priesečníku (pre ľavý horný kvadrant zľava doprava, zhora dole), v opačnom prípade presne naopak. Detaily, ako aj dôkaz správnosti algoritmu popisuje McMillan v [09].

6.2 Interpolácia obrazu (*View interpolation*)

Interpolácia je vo všeobecnosti proces doplnenia diskkrétnej funkcie na spojitú. V kontexte počítačovej grafiky sa najčastejšie chápe ako vytváranie plynulej animácie z konečného počtu vstupných obrázkov. Interpolácia textúry v kombinácii s interpoláciou tvarov sa označuje pojmom morfing. V literatúre sa takisto spomína interpolácia morfovaním, avšak ide o zloženú interpoláciu viacerých parametrov vstupu. Toto termínové zacyklenie vzniká pravdepodobne kontextovým významom slova interpolácia.

Mapa prostredia (environment map) je snímka zachytávajúca celé okolité prostredie z určitého miesta (zachytáva pre daný bod všetko svetlo, ktoré naň dopadá, tzn. možno ju chápať ako jeden všesmerový záber reštrigovanej plenoptickej funkcie). V praxi sa využívajú rôzne druhy reprezentácie týchto máp, napríklad sférická a kubická. Interpolácia obrazu je založená na interpolácii máp prostredia. Dôležitý je predpoklad, že scéna je statická a všetky zmeny sa dejú v dôsledku pohybu kamery.

Úlohou je nájsť ku každému bodu jedného obrazu korešpondujúci bod v druhom obraze. Tento proces môže byť automatizovaný za predpokladu, že poznáme geometriu scény a parametre kamery. V opačnom prípade je možné potrebnú informáciu získať pomocou kamery snímajúcej hĺbku, využitím fotogrametrických metód alebo zásahom používateľa, ktorý zadefinuje viacero dvojíc korešpondujúcich bodov. Za predpokladu znalosti geometrie scény (tyká sa to aj snímania hĺbkovou kamerou) sa dá získať husté pokrytie dvojicami bodov, ostatné metódy určia zväčša len najvýznačnejšie dvojice. V prípade renderovaných snímok nie je problém korešpondenciu vypočítať.

Posun bodov relatívne k vstupnej dvojici obrazov reprezentujú vektory posunutia a vzniknú redukciou matíc posunutia (na základe korešpondencie je možné tieto matice pre každý pixel získať).

Vektorové pole vektorov posunu označujeme ako pole optického toku (optical flow field) alebo ako morfovaciú mapu (morph map). Ekvivalentný koncept, mapu rozdielov pozícií bodov (disparity map) využíva stereografia. Keďže zobrazenie popísané morfovaciú mapou nie je vo všeobecnosti bijektívne (v praxi takáto situácia takmer nikdy nenastane), je potrebné určiť korešpondencie a morfovacie mapy v oboch smeroch, aby sa nestratila informácia z jedného z obrazov. Aplikáciou oboch zobrazení a kompozíciou obrazov vznikne výsledný interpolovaný obraz.

Samotná interpolácia pozostáva z niekoľkých krokov. Prvým je lineárna interpolácia vektora posunutia

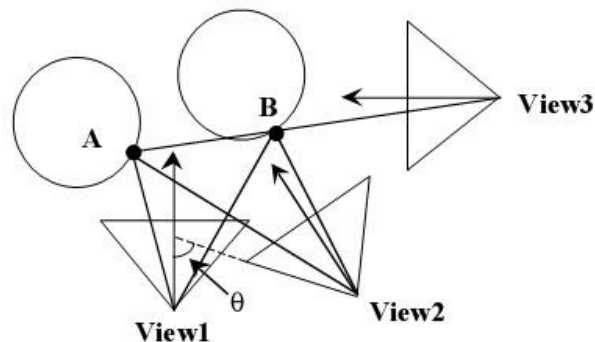
$$\Delta_{s,x,y} = s\Delta_{x,y,i,j,\dots}, s \in \langle 0,1 \rangle, x \in \{0,\dots,m\}, y \in \{0,\dots,n\}, \dots \quad [v16]$$

kde s určuje fázu interpolácie, x, y index do diskrétného obrazu a i, j, \dots index do grafu. Následne sa tento medzisúčet pripočíta ku konkrétnemu bodu.

$$P_{s,x,y} = P_{x,y} + \Delta_{s,x,y}, s \in \langle 0,1 \rangle, x \in \{0,\dots,m\}, y \in \{0,\dots,n\} \quad [v17]$$

Poslednou fázou je kompozícia medziobrazov získaných obojsmernou interpoláciou a súčasné riešenie problémov vyplývajúcich z rôznej viditeľnosti plôch vo vstupoch.

Môžu nastať dve zlé situácie: diery a viacnásobné prekrytia. Diery možno vyplniť lineárnou interpoláciou okolitých bodov, vektorov posunutia, alebo využiť presnejšiu metódu prezentovanú [10]. Využíva fakt, že pixel sa zobrazí na štvoruholník a namiesto hodnoty pixla interpolujú rohy štvoruholníka. Viacnásobné prekrytie je možné riešiť použitím Z-buffra za predpokladu znalosti geometrie scény. V opačnom prípade možno využiť disparitu bodov v stereo konfigurácii, ktorú predstavuje vstup. Táto disparita je proporcionálna hĺbke pri statických scénach. Chen a Williams navrhli taktiež vylepšenie spomínaných metód.



Obr21. Priorita viditeľnosti bodov A a B [10]

Prioritu vo viditeľnosti bodov A a B má ten, ktorý je bližšie ku kamere (Obr21.). Táto priorita vypočítaná v pohľade 1 (View 1, A bližšie ako B) produkuje platný výsledok aj v pohľade 2, ale nie v pohľade 3, kde sa body prekrývajú. Prioritu nie je potrebné prepočítavať, pokiaľ je uhol θ menší ako 90° .

V ostatných prípadoch je kompozícia realizovateľná renderovaním „na biele plátno“ (do obrazu inicializovaného na určenú hodnotu, symbolizujúcu ešte neovplyvnený pixel).

Vhodná reprezentácia pre interpoláciu obrazu je graf, ktorého vrcholy sú vstupné snímky (vrátané parametrov kamery a hĺbkovej mapy, ak je k dispozícii) a hrany tvoria

morfovacie mapy. Počet parametrov vstupujúcich do interpolácie udáva dimenziu grafu. Samotná morfovacia mapa je 2D pole vektorov posunutia.

Informácia v morfovacej mape je do veľmi veľkej miery koherentná, keďže je predpoklad, že jednotlivé body sa posunú približne rovnakým smerom o rovnakú vzdialenosť. Tento fakt ju predurčuje pre záznam v kvadrantovom strome a vytvára priestor pre jeho následnú kompresiu. Je predpoklad, že sa v strome budú tvoriť veľké oblasti a teda kompresia je veľmi efektívna, navyše všetky výpočty, ktoré boli doteraz robené po pixloch, možno teraz vykonať po oblastiach a tým dramaticky zvýšiť efektívnosť algoritmu. Faktor úspešnosti kompresie je závislý od hĺbkovej komplexnosti scény.

Metóda interpolácie obrazu je vhodná na implementáciu špeciálneho efektu motion blur (rozmazávanie pohybujúcich sa objektov). Tento efekt vyžaduje pre jeden frame výsledného obrazu vykresliť viacero dočasných za účelom ich kompozície. Implementácia zvaná temporálne antialiasovanie jednotlivé snímky renderuje a teda je neefektívna. Viaceré snímky sa možno dajú rýchlo vypočítať pomocou interpolácie.

Inkrementálne renderovanie je nový trend, ktorého snahou je využiť podobnosť snímok nasledujúcich za sebou v animácii a neprekresľovať celý obraz, ale v ideálnom prípade len časť, ktorá sa zmenila. Vyhľadávanie a identifikácia meniacich sa regiónov je však netriviálny problém, ktorého riešenie možno prirodzenou cestou obísť interpoláciou obrazu.

Obe spomínané aplikácie sa týkajú interpolácie syntetických snímok, keďže nemožno očakávať znalosť geometrie scény nasnímanej kamerou, možnosť jej merania a ani výpočtov na základe disparity bodov, keďže scéna je vo väčšine prípadov dynamická. Získavanie korešpondencie bez spomínaných predpokladov je problém, ktorým sa zaoberá veľa odborných prác.

6.3 Morfing pohľadu (View morphing)

Morfing je metóda spracovania obrazu, využívaná hlavne pri tvorbe animácii na metamorfózu dvoch vstupných obrázkov. Ako kritérium pre posudzovanie kvality morfovaného obrazu možno považovať zachovanie vernosti geometrických útvarov. Existuje mnoho úspešných metód, avšak priamočiary morfing spôsobuje neprirodzené deformácie geometrie pretože neberie do úvahy zmeny pozície objektu či vonkajších parametrov kamery (pozícia, smer), spracováva len obraz samotný. Nejde o projektívnu transformáciu a teda vo všeobecnosti nezachováva tvary. V tomto smere morfing funguje správne pri paralelných snímkoch. Morfing pohľadu zavádza transformácie vstupných snímkov pred ich spracovaním tak, aby boli paralelné a výsledný morfovaný obraz následnou transformáciou zmení tak, aby virtuálna kamera, ktorá ho vidí, ležala na spojnici ohnisk reálnych kamier. Problém morfingu pohľadu možno abstraktne popísať ako 2D transformáciu s parametrom sekvencie. Aj napriek 2D oboru je táto technológia schopná vytvoriť presvedčivú ilúziu 3D transformácie. Konkrétne rotácie, posunutia, skosenia, škálovania. Tým v niektorých prípadoch môže nahradiť modelovanie geometrie, a preto sa radí medzi image-based metódy renderovania 3D.

Vstupom pre morfing pohľadu sú vstupné obrazy, znalosť projekčných matic pre jednotlivé snímky a niekoľko dvojíc korešpondujúcich bodov.

$$\Pi = [H | -HC]$$

Π – projekčná homogénna matica 4x3, C – euklidovské súradnice ohniska kamery, H – matica projekčnej roviny 3x3

Projekčné matice možno získať priamo z obrázkov a informácie o vnútorných parametroch kamery. Netriviálnym problémom sú situácie, keď je na jednej snímke viditeľná časť povrchu, ktorá je na druhej zakrytá. Každému bodu jedného obrázka sa priraduje jemu zodpovedajúci bod v druhom (a aj naopak), preto v takýchto prípadoch môžu vzniknúť prekryté body alebo diery. Pri nesprávnom zobrazení často vznikajú „duchovia“.

Morfovanie paralelných snímkov vychádza z predpokladu podľa (Chen a Williams [10]), že interpolácia takto nasnímaných snímkov produkuje vernú projekciu danej scény vo virtuálnom mieste. Interpolovaná projekčná matica Π_s je daná nasledovným vzťahom:

$$\Pi_s = (1 - s)\Pi_0 + s\Pi_1 \quad [v18]$$

kde $s \in \langle 0,1 \rangle$ a Π_i sú projekčné matice jednotlivých snímkov. Vzťah medzi projekčnými maticami (pri paralelnom snímaní) je navyše jednoducho vyjadrený ako posunutie kamery [v19] (prvú kameru môžeme umiestniť do počiatku súradnicovej sústavy, čím výpočet opäť zjednodušíme).

$$\begin{aligned} \Pi_0 &= \begin{bmatrix} f_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} & [v19] \\ \Pi_1 &= \begin{bmatrix} f_1 & 0 & 0 & -f_1 C_x \\ 0 & f_1 & 0 & -f_1 C_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

f_i sú ohniskové vzdialenosti kamier, $[C_x, C_y]$ je nové ohnisko

Potom morfining možno vyjadriť vzťahmi [v20]:

$$\begin{aligned} C_s &= [sC_x, sC_y, 0] & [v20] \\ f_s &= (1-s)f_0 + sf_1, \quad s \in \langle 0,1 \rangle \end{aligned}$$

Samotný morfining predstavuje strednú fázu morfiningu pohľadu a úlohou je pretransformovať všeobecne zadané vstupy na vstupy vhodné pre popísaný algoritmus.

Transformácia vstupov pozostáva z aplikácie projektívnej transformácie H_i^{-1} (projekčná matica $\Pi_i = [H_i | -H_i C_i]$, $i \in \{0,1\}$ je pre jednotlivé obrazy známa).

Posttransformácia morfovaného medzivýsledku spočíva v definícii interpolácie kamier. Toto je možné dosiahnuť rôznymi metódami, treba len uchopiť priestorovú reláciu kamier. Napríklad pomocou rotácie, kde os rotácie je daná vektorovým súčinom normál projekčných plôch kamier a uhol otočenia ako uhol týchto normál.

Ak nie sú známe pozície kamier, všeobecnejšie ich vzájomná poloha, existuje algoritmus na určenie zobrazenia kamier navzájom pomocou niekoľkých vyznačených dvojíc korešpondujúcich bodov.

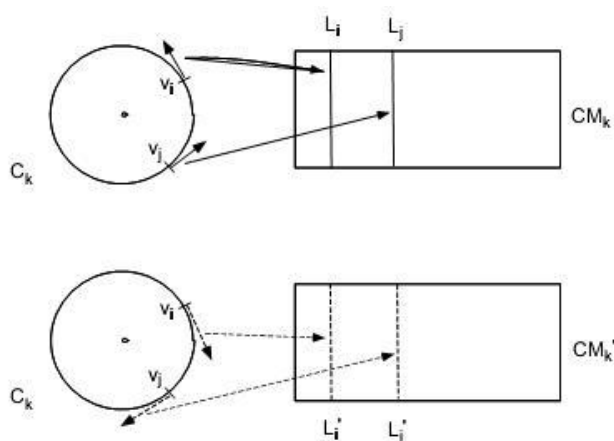
V prípade zmien vo viditeľnosti plôch nastávajú rovnaké situácie ako v prípade interpolácie obrazu, diery a viacnásobné prekrytia. Riešenia sú aplikovateľné aj tu.

Iteratívny krokový prístup môže viesť k strate kvality obrazu, pričom má vyššie časové nároky, preto je vhodné aplikáciu projektívnej transformácie tlačiť vždy ku koncu algoritmu. V prípade morfiningu pohľadu je možné zložiť zobrazenia do jedného a až tak ho aplikovať na vstupy.

6.4 Sústredné mozaiky (Concentric Mosaics)

Koncentrické mozaiky sú ďalším spôsobom zachytenia a rekonštrukcie 3D reštrikovanej plenoptickej funkcie. I keď v mnohom pripomína panorámy, rozširuje ich o možnosť pohybu v rámci kruhu, čím pridáva možnosť pozorovať rôzne svetelné efekty a horizontálnu paralaxu v scéne. Pri zachovaní troch rozmerov (v tomto prípade polomer kružnice, horizontálny uhol a veľkosť zorného poľa vo vertikálnom smere) nie je možné zachytiť vertikálnu paralaxu. Vertikálne línie sa pre potreby renderingu len škálujú z jedného záberu. Tento nedostatok nie je veľmi nepríjemný vzhľadom k tomu, že ľudské oko vníma horizontálny smer oveľa citlivejšie ako vertikálny. Na rozdiel od svetelných polí a lumigrafu, popísaným v ďalších kapitolách, zachytávajú pohľad „zdnu von“, kde pre tieto metódy neexistuje jednoduchá metóda na snímanie scény v tomto smere.

Obrazovú informáciu pre jednu mozaiku zachytáva štrbinová (zachytávajúca len jeden vertikálny stĺpec bodov) kamera, ktorá sa pohybuje po kružnici. Pomyselný smerový vektor lúčov, ktoré prejdú štrbinou, je v danom bode rovnobežný so smerom pohybu. Po jednej otáčke a následnej kompozícii stĺpcov (odtiaľ názov mozaika) vznikne plynulý obraz podobný panoráme, rozdiel je v tom, že panoráma má fixný bod pohľadu. Mozaika nie je záber plenoptickej funkcie z jedného miesta.

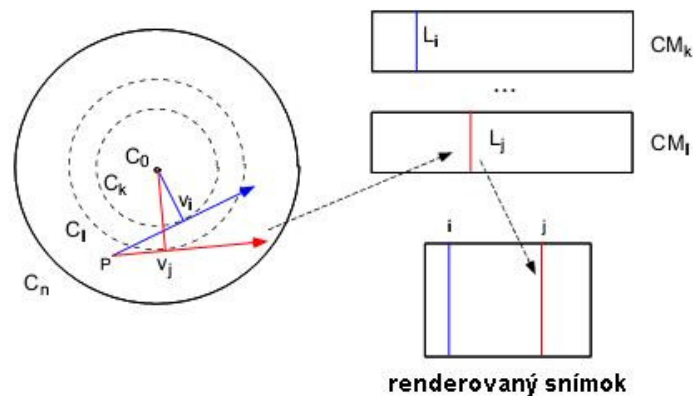


Obr22. Dve mozaiky vytvorené zo záberov snímaných po kružnici s relatívnym polomerom k v oboch smeroch [12]

Prostredie možno snímať aj prostredníctvom jedinej rotujúcej kamery zachytávajúcej úplný obraz, ktorý je následne dekomponovaný na stĺpce a analyzovaný kvôli určeniu „smeru“ a následne pozície daného stĺpca v globálnom kontexte. Do výpočtu vstupujú parametre kamery a obmedzením môže byť jej zorný uhol v horizontálnom smere.

Virtuálne prostredie sa rekonštruje z viacerých dvojíc koncentrických mozaík (2 smery snímania), ktorých kružnice majú rôzny polomer. V spoločnom strede kružníc postačuje jedna kamera a smer snímania. Voľnosť pohybu pozorovateľa je obmedzená na kruh daný kružnicou s najväčším polomerom, pretože chýbajúca informácia sa dopĺňa interpoláciou.

Pri renderovaní sa identifikujú stĺpce v pôvodných mozaikách, z ktorých sa skladá syntetický snímok (predpokladom je úplné pokrytie informáciou vyplývajúce z možnosti interpolovať). Postup demonštruje obrázok Obr23.



Obr23. Renderovanie z koncentrických mozaik [12]

Pozícia kamery je označená bodom P . Pre každý stĺpec renderovaného obrázku sa vypočíta smer lúča a nájde kružnica C_k (resp. C_l), ku ktorej je dotykový. Táto kružnica zodpovedá mozaike CM_k (CM_l) a je práve jedna. Metóda je teda korektná. Dotykový bod, na obrázku označený v_i (v_j) určuje pozíciu štrbinovej kamery, ktorá reálne snímala scénu. Obrázok snímaný touto kamerou je stĺpec L_i (L_j), ktorý za predpokladu, že kruh, v ktorom sa pohybuje pozorovateľ, neobsahuje prekážky, až na škálu priamo zodpovedá tomu, čo v i -tom stĺpci vidí kamera v bode P . Nemožno predpokladať, že hĺbka scény je nekonečná a teda škála sa na výsledku neprejaví, preto je potrebné vykonať hĺbkovú korekciu.

Hĺbková korekcia pozostáva z určenia korektnej škály pre vertikálne línie, pričom je potrebné škálovať jednotlivé segmenty tejto línie podľa toho, aký objekt je na konkrétnej časti zachytený. Škála je proporcionálna hĺbke objektu. Vhodné vzájomné pozície kamier (navyše sa dajú určiť ich presné vonkajšie a vnútorné parametre) predurčujú použitie metód stereo rekonštrukcie na základe epipolárnej geometrie. Požiadavku na znalosť geometrie však možno zjednodušiť na nastavenie iniciálnej konštantnej hĺbky pre všetky stĺpce, ktorú ovplyvní používateľ za účelom odstránenia deformácií. Inou cestou je zaviesť postačujúci predpoklad, že vertikálna línia má

konštantnú hĺbku a líšia sa len línie navzájom. Takúto informáciu je možné jednoducho získať, ak je k dispozícii napríklad mapa prostredia (pohľad kolmo zhora), čím sa problém fotogrametrie redukuje na problém spracovania obrazu. Nevýhodou je nepresnosť v prípadoch, keď je v scéne vysoká hĺbková diverzita. V praxi je očakávateľné, že sa neprejaví vo väčšine situácii, keďže interiéry tak ako otvorené priestranstvá sa touto nepríjemnou vlastnosťou nevyznačujú.

Množstvo nasnímaných fotografií tvorí videosekvenciu, dátová reprezentácia pre koncentrické mozaiky je teda komprimovateľná pomocou metód na kompresiu videa.

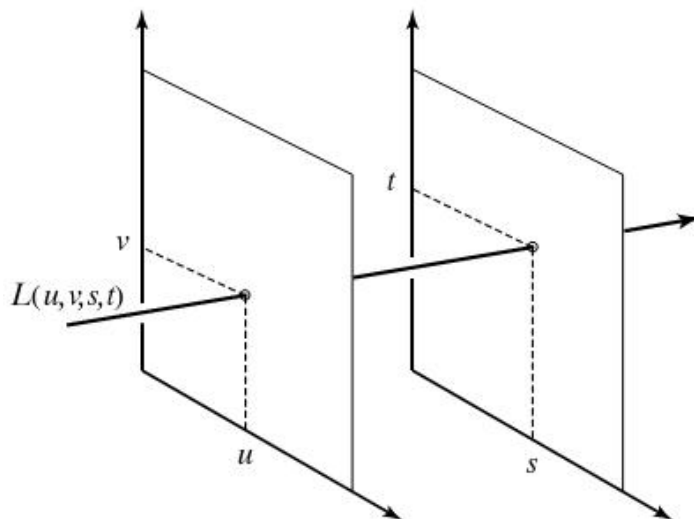
7. 4D IBR

7.1 Svetelné pole (Light Field)

Technika renderingu svetelných polí má, ako napovedá názov, blízko k modelu plenoptickej funkcie. Svetelné pole je jeden záber plenoptickej funkcie, pričom svetlo sa šíri vákuom resp. prostredie neovplyvňuje lúče svetla ak v ňom nie sú prekážky. Tieto podmienky umožnia zanedbať faktory ovplyvňujúce lúč svetla pri jeho putovaní priestorom (médium ktorým prechádza, čas).

Výhody spočívajú v jednoduchosti renderovacích algoritmov pre svetelné polia, vhodnosti pre real-time prezentácie (nezávislosť náročnosti algoritmu od komplexnosti scény) či možnosti kombinovať reálne a generované snímky. Reprezentovať však možno, podobne ako pri iných IBR metódach, len statické scény.

Existuje viacero parametrizácií pre identifikáciu lúčov v priestore. Často sa ako parameter používa pozícia pozorovateľa a smerový vektor jeho pohľadu. Tu však popisom budú štyri parametre u, v, s, t (v praxi $u, v, s, t \in \langle 0, 1 \rangle$) adresujúce do dvoch dvojrozmerných polí, ktoré tvoria tzv. svetelný pás (light slab, Obr24.). Svetelný pás samotný reprezentuje 4D pole.



Obr24. Svetelný pás [02]

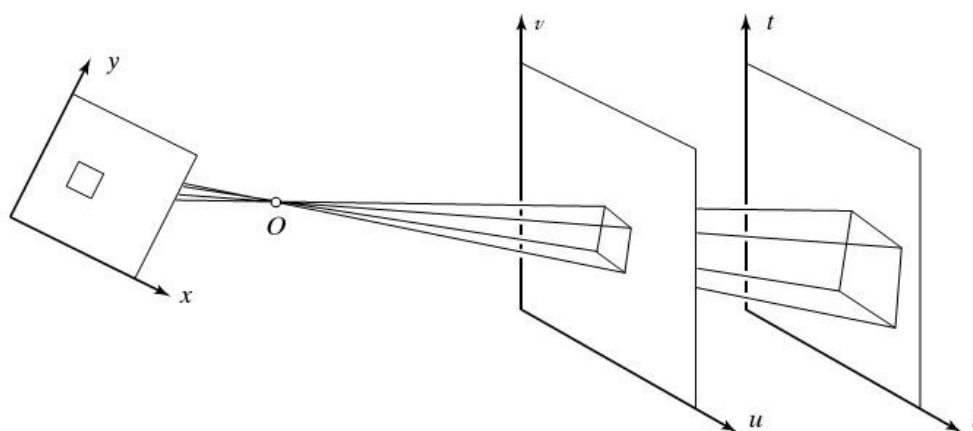
Metóda nerekonštruuje a nevyužíva geometriu zachytených objektov.

V prvej fáze je nutné získať informáciu, ktorá posluží ako vstup pri renderovaní. Naplniť svetelné pole je možné pomocou veľkého množstva fotografií, pričom

jednotlivé pixle fotografií sa priradia k štyrom súradniciam v rovinách definujúcich svetelný pás projekciou. Z toho vyplýva, že je nutné poznať parametre kamery, ale nie je nutné hľadať súvislosti medzi obrázkami. V praxi sa zábery získavajú napr. kamerou umiestnenou na ramene tak, že jej pohyb je obmedzený na rovinu rovnobežnú so svetelným pásom (poloha kamery je teda daná len dvoma súradnicami, čo zjednoduší výpočet) a jej os pohľadu je nasmerovaná k stredu snímaného objektu. Totiž nutné je poznať len lúče prechádzajúce cez konvexný obal objektu. Na samotné mapovanie sa používa hardwarová či softwarová implementácia mapovania textúr.

Syntéza nových záberov pozostáva z určenia novej kamery a indexovania do svetelného pásu po bodoch v ideálnom prípade (100% pokrytie) alebo interpoláciou z hodnôt ktoré máme k dispozícii. Kvalita výsledného obrazu teda závisí od hustoty pokrytia svetelného pásu získaným obrazom. Takisto čím bližšie sa aktuálna kamera nachádza k niektorému pôvodnému miestu záberu, tým vyššiu kvalitu bude mať výsledný obraz.

Index pre konkrétny bod sa vypočíta ako priesečník priamky danej bodom na priemetni kamery a jej ohniskom s rovinami svetelného pásu (projekcia do pásu). Pre zjednodušenie možno zaviesť vhodnú sústavu súradníc tak, aby prvá rovina svetelného pásu bola určená začiatkom sústavy súradníc a dvoma bázovými vektormi. Druhá rovina je s ňou rovnobežná, líšia sa teda len o konštantnú vzdialenosť. Druhu rovinu možno umiestniť do nekonečna a tým zmeniť reprezentáciu na priesečník s prvou rovinou a smer. Použitie homogénnych súradníc zjednotí výhody oboch reprezentácií. Druhá rovina v nekonečne má ďalšiu pozitívnu vlastnosť, a to rovnomernejšie samplovanie prostredia.



Obr25. Náčrt projekcie priemetne do svetelného pásu [02]

Pri vytváraní syntetických záberov dochádza k aliasovaniu, ktoré je možné odstrániť nízkofrekvenčným filtrom podľa [13].

Vysokú redundanciu dát je možné potlačiť stratovou kompresiou (napr. [15]), pričom sa dá dosiahnuť kompresný pomer viac než 100:1.

Na kompletný popis objektu je potrebné zachytenie niekoľkých svetelných tabúl.

Príbuznou technológiou je environment mapping. Definícia pojmu environment map sa nachádza v kapitole 3.2. Využíva sa na aproximáciu odleskov povrchu, ale aj pri renderovaní pohľadov zvnútra prostredia pri statickej pozorovacej kamere, ktorej je umožnené len rotovať (QuickTimeVR). Rozšíriť slobodu pohybu je možné pomocou interpolácie pohľadu umožnenej pridaním hĺbkovej informácie pre prostredie (depth image).

Model svetelných poli je využiteľný aj v holografii (projekt Interactive 360° Light Field Display [14]) .

7.2 Lumigraf (Lumigraph)

Lumigraf je koncept podobný svetelným poliam. Neopiera sa o explicitnú geometrickú reprezentáciu a ani o znalosť vektorového poľa pohybu pixlov (optical flow; získanie tejto informácie je v praxi zložitá a neefektívna). Približná informácia o geometrii však môže pomôcť pri kalibrácii básových funkcií a zvýšiť tak kvalitu reprodukovanej obrazu. Vzorkuje a rekonštruje sa 4D funkcia – lumigraf ako reštrikovaná plenoptická funkcia. Tak ako v prípade svetelných polí, čas a vlnová dĺžka sa zanedbáva. Výhodou tejto technológie je možnosť kombinovať syntetické a reálne zábery vo finálnom obraze.

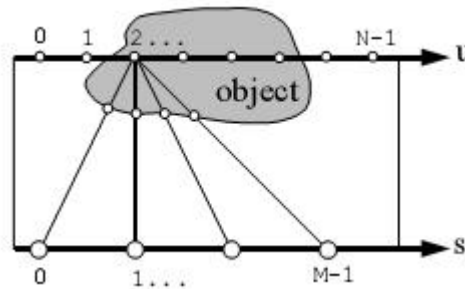
Reprezentácia informácie je identická so svetelnými poľami ($uvst$). Cieľom záujmu sú len svetelné lúče vychádzajúce z konvexného obalu daného objektu (tento je praktické aproximovať kvádom pre jeho vhodné výpočtové vlastnosti a zjavný súvis s $uvst$ reprezentáciou).

Lumigraf je neznáma, spojitá funkcia s 4D definičným oborom a skalárnym oborom hodnôt. Pre potrebu reprezentovať ju v počítači sa diskretizuje [v21]. Diskretizácia pozostáva v rozčlenení definičného oboru na dva 2D ohraničené roviny rozdelené na konečný počet oblastí tvoriac mriežku.

$$\tilde{L}(s, t, u, v) = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^M \sum_{p=0}^N \sum_{q=0}^N x_{i,j,p,q} B_{i,j,p,q}(s, t, u, v) \quad [v21]$$

M je rozlíšenie prvej mriežky (st), N druhej (uv), $x_{i,j,p,q}$ je hodnota v danom bode (spravidla RGB), $B_{i,j,p,q}(s, t, u, v)$ je básová funkcia pre daný bod.

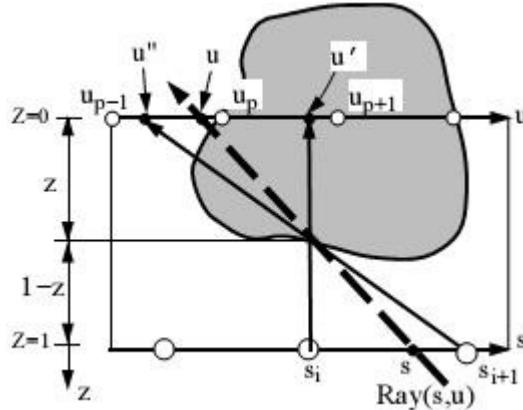
Za predpokladu, že väčšina viditeľného povrchu objektu je blízko uv roviny, postačuje omnoho menšie rozlíšenie na st rovine. Čím vyššie rozlíšenie bude mať uv rovina, tým presnejší výsledok možno rekonštruovať.



Obr26. Voľba rozlíšenia rovín [15]

Voľba bázových funkcií ovplyvní správanie lumigrafu po častiach. Napríklad konštantná bázová funkcia má hodnotu 1 pre 4D bod najbližšie k vypočítanému a všade inde 0. Takýto lumigraf je po častiach konštantný a nadobúda hodnotu najbližšieho bodu v mriežke. Kvadrilineárna funkcia má hodnotu 1 v danom bode mriežky a klesá pre okolité body. Výsledná hodnota sa v tomto prípade interpoluje.

Ak je k dispozícii približná informácia o geometrii objektu, možno ju využiť pre zlepšenie kvality výsledného obrazu, presnejšie v hladkosti prechodov.



Obr27. Hĺbková korekcia [15]

Nech z je známa informácia o hĺbke bodu a vyrátaný parameter je bod $[s, u]$. Najbližší bod lumigrafu je $[s_{i+1}, u_p]$. Avšak body $[s_{i+1}, u_{p-1}]$ a $[s_i, u_{p+1}]$ zachytávajú bod objektu reálne bližšie k priesečníku objektu s $[s, u]$. Pre dané s_i sa teda doráta hodnota u' lúča, ktorá presnejšie opisuje objekt. Pre vzorec [v22] platí predpoklad, že hĺbka sa rovná 0 pre uv rovinu a 1 pre st .

$$u' = u + (s - s_i) \frac{z}{1 - z}, \text{ obdobne pre } v' \quad [\text{v22}]$$

Premapovaním u a v na u' , resp. v' sa upraví konkrétna bázová funkcia.

$$B'_{i,j,p,q}(s, t, u, v) = B_{i,j,p,q}(s, t, u', v') \quad [\text{v23}]$$

Získanie informácie o geometrii je možné, ak je okrem pozície samotného objektu známa aj pozícia a parametre kamery. Pri snímaní pomocou špecializovaného zariadenia je toto jednoducho realizovateľné, tak ako samotné získavanie obrázkov.

Ak sa lumigraf skladá zo syntetických obrázkov, umiestnením kamery do bodov st roviny a nasmerovaním smerom k uv rovine možno koeficienty $x_{i,j,p,q}$ priamo renderovať. Avšak najčastejší prípad je použitie záberov z bežnej kamery. Kameru je potrebné kalibrovať a identifikovať pozíciu objektu. Vnútorne parametre kamery sú pri snímaní fixované a tak možno tento faktor považovať za ľahko riešiteľný problém, ktorého výsledkom je konštantné nastavenie. Vonkajšie parametre: pozíciu a smer

kamery sa vypočítajú priamo z nasnímanej snímky identifikáciou špeciálnych značiek. Aby boli tieto ľahko identifikovateľné, využíva sa „filmová“ blue-screen technika. Tieto nastavenia je potrebné prepočítavať pre každý snímok.

Na identifikáciu značiek je vhodná metóda segmentácie obrazu – prahovanie alebo aplikácia Houghovej transformácie. Autori lumigrafu popisujú iný postup založený na hľadaní súvislých komponentov.

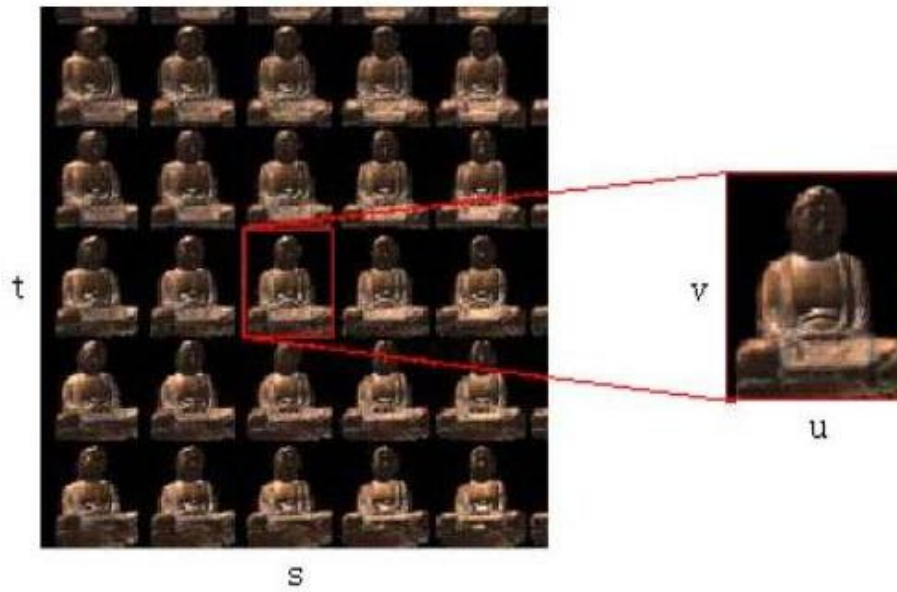
Vytvorenie objemového modelu objektu pozostáva zo spracovania jednotlivých záberov. Z nich je určená pozícia kamery, využitím blue-screen technológie vysegmentovaná silueta objektu. Samotný objem je reprezentovaný pomocou oktantového stromu, tj. kocky, o ktorej vieme, že úplne zahŕňa snímaný objekt. Každý voxel súčasného oktantového stromu sa premietne do snímku a porovná proti siluete. Podľa určitého prahu sa strom prerozdelí. Iteratívne postup pokračuje pre každý snímok. Takto získaná geometrická informácia je síce hrubá, ale dostatočne presná a ľahko získateľná, pričom je možné použiť ďalšie algoritmy na vylepšenie výsledku (napr. vyhladzovanie).

Pri použití ručne získaných záberov vyvstávajú problémy pri konštrukcii lumigrafu: nedostatočné pokrytie niektorých miest vstupnou informáciou a neuniformnosť pokrytia. Autori lumigrafu uvádzajú trojfázový algoritmus na riešenie tohto problému. Pre jeho špecifickosť je tu popísaný len stručne.

V prvej fáze sa vytvorí mriežka samotná a ohodnotia sa jednotlivé oblasti podľa hustoty pokrytia originálnym obrazom (hustotu odzrkadľuje váha). V druhej fáze sa skladajú oblasti a podľa ich váh sa vypočíta vážený priemer hodnoty pre takto vytvorenú oblasť vyššej úrovne. Táto fáza sa opakuje, pokiaľ je informácia nerovnomerne rozložená. V tretej fáze sa táto informácia využije pri ohodnotení pôvodných oblastí, ktoré majú nízku váhu a teda nie sú dostatočne pokryté. Taktiež sa postupuje iteratívne po úrovniach kombinujúc súčasnú a nižšiu úroveň. Korekcia hĺbky sa aplikuje v druhej a tretej fáze.

Pre pamäťové nároky reprezentácie platí to iste čo pre svetelné polia, teda charakteristická je vysoká redundancia, na potlačenie ktorej existujú špeciálne na určené kompresné algoritmy s vysokou efektívnosťou.

Rendering samotný je realizovateľný raytracingom, avšak namiesto tejto neefektívnej metódy je možné využiť hardwarové mapovanie textúr (Obr28.).



Obr28. Mapovanie textúr - každému bodu st roviny je priradená textúra – pohľad z daného bodu na uv rovinu, čiže platí $tex_{i,j}(u_p, v_q) = x_{i,j,p,q}$ [16]

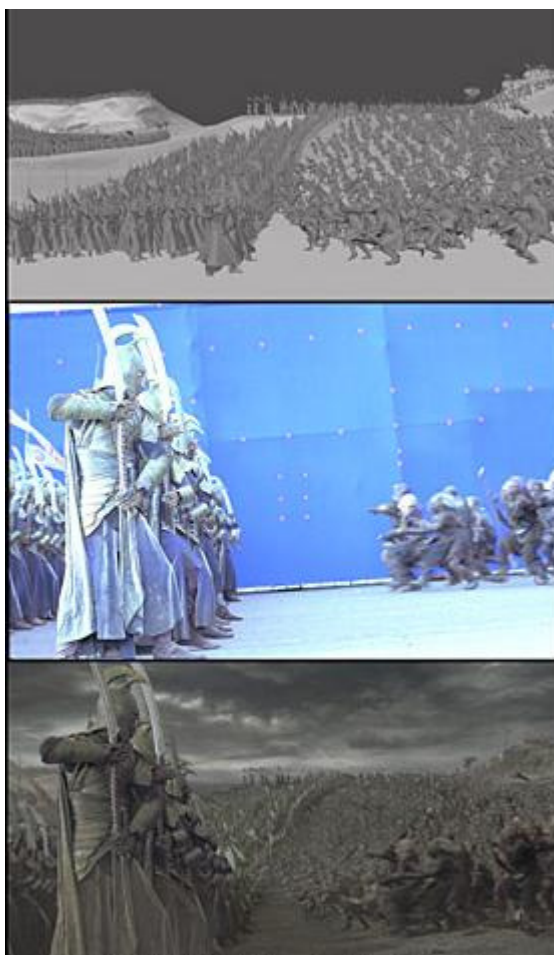
Táto technológia rozširuje svetelné polia o možnosť prirodzeným spôsobom zapojiť do výpočtu pomocnú informáciu, napr. hĺbku.

8. Aplikácie IBR

Image-based rendering má široké uplatnenie v mnohých situáciách, v tejto kapitole sú vymenované a popísané len niektoré z nich.

8.1 Filmové scény

Image-based metódy sa využívajú na realistické vykreslenie situácii, ktoré je neefektívne alebo nemožné vypočítať. Medzi ne patria aj masové scény s veľkým počtom postáv, kde je síce principiálne možné počítať každú postavu zvlášť ako 3D model, nie je to však efektívne. Zvlášť to platí pre filmové scény, kde je kladený veľký dôraz na kvalitu. Príkladom sú napríklad veľké bitky.



Obr29. Scéna z filmu Pán Prsteňov, vzdialenejšie postavy sú renderované, postavy vpredu sú hrané reálnymi hercami [27]

8.2 Urbánne rekonštrukcie

Cieľom projektov urbánnych rekonštrukcii je zobrazenie exteriérov miest. Často sa vyžaduje, aby používateľ interaktívne zasahoval do priebehu renderovania, dôraz sa teda kladie na rýchlosť vykresľovania. Navyše je predpoklad, že sa v scéne nachádza vegetácia či ľudia. V kombinácii s databázou objektov a prefetchovacími algoritmami je nasadenie IBR primitív – 2D zástupcov veľmi účinné.



Obr30. Projekt Image-based crowd rendering [18]

8.3 Fotorealistické interiéry

Jednou z typických črt interiérov je komplikovanosť umelého osvetlenia a optických vlastností materiálov v nich. Počítanie komplexných svetelných efektov ako sú odlesky nie je možné v reálnom čase, čo je nevyhovujúce pre virtuálne prehliadky. Jedným z projektov riešiacich tieto otázky je Sea of Images [03]. Autori popísali spôsob získavania, ukladania a prefetchovania 360° panoramatických záberov zachytených všesmerovou katadioptrickou kamerou na pojazdnom vozíku. Interiér týmito zábermi pokryli s vysokou hustotou, čo im umožnilo verne interpolovať zábery z aktuálnej pozície.



Obr31. Katadioptrická kamera na vozíku [03]



Obr32. Vľavo záber katadioptrickej kamery, vpravo projekcia do roviny pozorovateľa [03]

8.4 Fotorealisticke textúry

Textúrovanie je dôležitou súčasťou tvorby 3D modelov. I keď existujú rozsiahle databázy textúr, najvernejšou textúrou je fotografia samotného vzoru. Má nedostatok, že zachytáva aj detaily, ktoré nie sú univerzálne viditeľné, ako napríklad tieň či miesta viditeľné len z určitého uhlu (otvory, okná, výklenky). V týchto prípadoch sa využíva textúrovanie závislé od pozície pozorovateľa. Pre jednu stenu modelu je pripravených viacero textúr, ktoré boli snímané z viacerých miest. Jedným z najúspešnejších projektov v tejto oblasti je Campanile (Paul Debevec).



Obr33. Campanile – textúrovanie závislé od pozície pozorovateľa [28]

8.5 Vykresľovanie ľudskej tváre

Výraz ľudskej tváre je veľmi ťažké zachytiť, pretože človek je citlivý na chyby pri tomto základnom vyjadrovanom prostriedku. Nielen preto sa využíva interpolácia fotografií na vytvorenie animácie. Ďalším dôvodom je odľahčenie sieťového pripojenia pri prenose interaktívneho videa rozmerov videokonferencie (Obr35.), keďže na dnešných počítačoch sa dajú chýbajúce snímky dopočítať v reálnom čase. Takisto je možné výsledok ovplyvňovať na úrovni obrazu, čo demonštruje obrázok [dole].



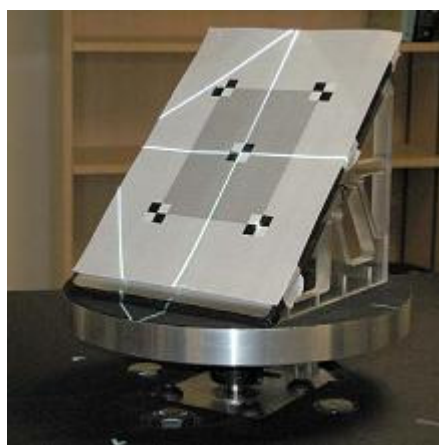
Obr34. Zmena pohľadu zachytenej osoby v animácii pomocou view morfinhu [28]



Obr35. Videokonferencia. Osoba vľavo má zmenený smer pohľadu [28]

8.6 3D zobrazovacie zariadenia

3D zobrazovacie zariadenia sú technológiou budúcnosti. Už dnes existujú projekty, ktoré sa zaoberajú vývojom týchto zariadení. Jedným z nich je Light Field Display [14] využívajúci na vykresľovanie rýchlo rotujúce zrkadlo (Obr36.), na ktoré sa zhora premieta obraz podľa toho, ktorým smerom je práve otočené.



Obr36. Rýchlo rotujúce zrkadlo, na ktoré sa premieta obraz [14]



Obr37. Vľavo je obraz objektu, vpravo reálny objekt [14]

9. Záver

V práci sú popísané metódy image-based renderingu vrátane matematického pozadia, vysvetľujúcich ilustrácií a sprievodného textu. Teoretický základ tvoria vybrané celky podľa referencií v texte, doplnené o postup spracovania obrazovej informácie a snímania vstupného obrazu. Hlavná časť je venovaná samotným metódam.

Hlavným prínosom je vytvorenie súhrnu základov IBR, tohto rýchlo sa rozvíjajúceho odvetvia, keďže je veľmi ťažké nájsť podobný voľne dostupný. Tieto texty je možné použiť aj ako podporný materiál pri výučbe počítačovej grafiky. Práca perspektívne môže slúžiť ako odrazový mostík pre hlbšie štúdium problematiky niektorej konkrétnej oblasti IBR.

10. Použitá literatúra

Všetky internetové zdroje boli v máji 2007 dostupné a obsahovali popísaný obsah.

Knihy a články

- [01] Akenine-Möller T., Haines E., “Real-Time Rendering, 2nd Edition”, A K Peters, 2002
- [02] Forsyth D.A., Ponce J., “Computer Vision: A modern approach“, Prentice Hall, 2002
- [03] Aliaga D.G., Funkhouser T., Yanovsky D., Carlbom I., "Sea of Images", Proceedings of IEEE Visualization, 2002
- [04] Mcmillian L., Bishop G., “Plenoptic Modeling: An Image-Based Rendering System”, ACM Siggraph, 1995
- [05] Adelson E. H., Bergen J. R., “The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision“, MIT Press, 1991
- [06] Hartley R.I., Zisserman A., “Multiple View Geometry in Computer Vision, 2nd Edition“, Cambridge University Press, 2004
- [07] Hartley R. I., “In Defence of the 8-point Algorithm“, IEEE Computer Society, 1995
- [08] Gortler S., Wei L., Cohen M., “Rendering Layered Depth Images“, Dostupné na internete: <<http://citeseer.ist.psu.edu/gortler97rendering.html>>, 1997
- [09] McMillan L., “A list-priority rendering algorithm for redisplaying projected surfaces“, UNC Technical Report 95-005, University of North Carolina, 1995
- [10] Chen, S.E., Williams L., “View Interpolation for Image Synthesis”, ACM Siggraph, 1995
- [11] Seitz S., Dyer C., “View Morphing”, Computer Graphics vol. 30, 1996
- [12] Shum H., He Li, “Rendering Concentric Mosaics“, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999
- [13] Halle M. W., “Holographic stereograms as discrete imaging systems” in Practical Holography VIII, S.A. Benton, Ed., Proc. SPIE, 1994
- [14] Jones A., McDowall I., Yamada H., Bolas M., Debevec P., “Rendering for an Interactive 360° Light Field Display“, ACM Siggraph, 2007
- [15] Levoy M., Hanrahan P., “Light Field Rendering“, ACM Press, 1996

- [16] Gortler S., Cohen M., Girzesczuk R., Szeliski R., "The Lumigraph", ACM Siggraph, 1996
- [17] Zhang Cha, Li Jin, "Compression of Lumigraph with multiple reference frame (MRF) prediction and just-in-time rendering", IEEE Computer Society, 2000
- [18] Tecchia F., Loscos C., Chrysanthou Y., "Image-based crowd rendering", IEEE Computer Society Press, 2002

Iné zdroje

- [19] Pinhole camera, <<http://www.answers.com/topic/pinhole-camera>>
- [20] Perspektívna projekcia,
<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MOHR_TRIGGS/node9.html>
- [21] Introduction to IBR,
<http://web.cs.wpi.edu/~emmanuel/courses/cs563/write_ups/cliff/IBR.pdf>
- [22] Texture Mapping, <<http://docs.hp.com/en/B2355-90118/ch10s04.html>>
- [23] UV mapping, <<http://www.tsplines.com/resources/uvhut.php>>
- [24] Quicktime VR tutorial,
<http://www.letmedoit.com/qtvr/qtvr_online/Mod2/m2.html>
- [25] Panoramic Images,
<<http://escience.anu.edu.au/lecture/comp1710/QuicktimeVR/printNotes.en.html>>
- [26] Katadioptrická kamera,
<http://www1.cs.columbia.edu/CAVE/projects/cat_cam_360/cat_cam_360.php>
- [27] New Line Cinema, <<http://www.newline.com/>>
- [28] Campanile <<http://www.debevec.org/Campanile/>>
- [28] Image-based rendering for faces <http://ip.hhi.de/comvision_G2/ibrface.htm>
- [29] Quicktime VR, <<http://www.apple.com/quicktime/technologies/qtvr/>>