

Počitačová Grafika I

- Image based Rendering -

Philipp Slusallek
Marcus Magnor

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Motivácia II

- Všetko na čom nám v podstate záleží je vytváranie nových renderovaných obrázkov z rôznych pohľadov

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Motivácia

Fotografia



Počitačová Grafika



- Jednoduché získavanie
- Rýchle zobrazenie
- Prirodzený dojem

- Časovo náročné modelovanie scény
- Intenzívne počítanie renderovania
- Umelý vzhľad

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Motivácia II

- Všetko na čom nám v podstate záleží je vytváranie nových renderovaných obrázkov z rôznych pohľadov
- V metódach založených na geometrii, *počítame* tieto nové obrázky
 - Projection (premietanie)
 - Lighting (osvetlenie)
 - Z-buffering

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Motivácia II

- Všetko na čom nám v podstate záleží je vytváranie nových renderovaných obrázkov z rôznych pohľadov
- V metódach založených na geometrii, *počítame* tieto nové obrázky
 - Projection (premietanie)
 - Lighting (osvetlenie)
 - Z-buffering
- Prečo *nehľadať* len tieto informácie ?

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Prehľad

- Teoretický základ
- “Pravé” IBR algoritmy
- Pomocné geometrické IBR techniky

Prehľad

- Plenoptic function
- Panoramas
- Concentric Mosaics
- Light Field Rendering
- The Lumigraph
- Layered Depth Images
- View-dependent Texture Mapping
- Surface Light Fields
- View Morphing

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

The Plenoptic Function

- Vlastnosti pozorovateľného svetla (vlnová dĺžka, 1D) z každého bodu priestoru (+3D) vo všetkých smeroch (+2D) v každom čase (+1D): 7D funkcia

$$p = P(\lambda, V_x, V_y, V_z, \theta, \phi, t)$$

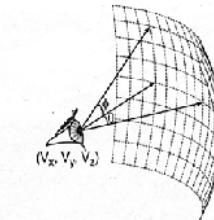


FIGURE 1. The plenoptic function describes all of the image information visible from a particular viewing position.

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

The Plenoptic Function II

- Získavanie
 - Spojitá funkcia → vhodná diskretizácia
 - Vysoký-rozmer → redukcia požiadavkov na pamäť
- Rendering
 - Spojitá funkcia → hľadanie funkčnej hodnoty
 - Diskrétné dátá → prevzorkovanie a interpolácia

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Plenoptic Rendering Taxonomy

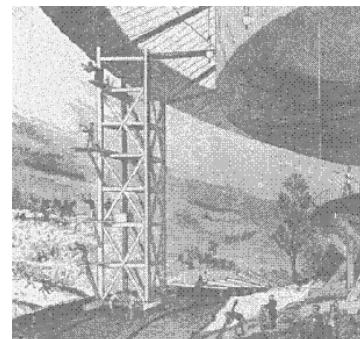
- Reduced Plenoptic Function
 - 5D: čas a vlnová dĺžka vynechané → statická scéna, RGB hodnoty
- Light Field Rendering
 - 4D: priečinný priestor, kamera mimo ohraňujúci priestor
- Concentric Mosaics
 - 3D: kamera leží na kružnici
- Panoramas
 - 2D: pevná poloha kamery

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Panoramas – História

- Robert Barker's Panorama (1792)
 - vysoká do 17 metrov, 130 metrov v obvode
- Raoul Brimoin-Sansons Cineorama (1897)
 - 10 synchronizovaných filmových projektorov, 100 metrov v obvode
- Disney's CircleVision
 - 9 35mm kamery
- Modern Cinemas
 - IMAX
 - OMNIMAX



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Panoramas

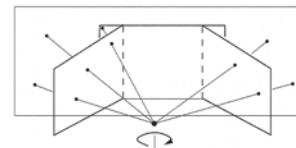
- Fixná kamera, ľubovoľný smer pohľadu
- Získavanie
 - viacnásobné bežné obrázky
 - špeciálne panoramatické kamery
 - Mosaicing
 - image registration (obrázková registrácia)
 - stitching (zošívanie)
 - warping (deformovanie)
 - Rendering
 - prevzorkovanie v realnom čase

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Panoramic Mosaicing

- Premietanie na jednu bežnú rovinu



→ Bow-tie shape
(tvar motýlika)

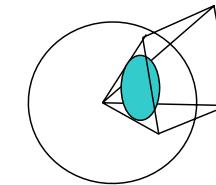


CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Panorama Parameterization

- Guľovitý premietací povrch



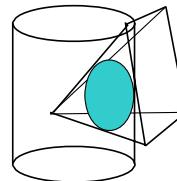
- Výhoda
 - konštantná oblasť znázornenia
- Nevýhoda
 - nepravidelná prevzorkovacia oblasť

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Panorama Parameterization II

- Valcovitý premietací povrch



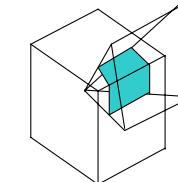
- Výhody
 - jednoduchý querying
 - jedna dátová štruktúra pre všetky smery
- Nevýhody
 - obmedzené zvýslé zorné pole

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Panorama Parameterization

- Kockový premietací povrch

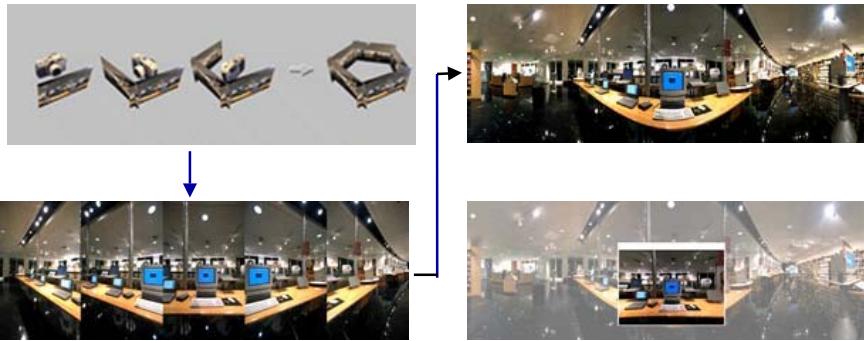


- Výhody
 - jednoduchá reprezentácia dát
 - všetky pohľadové smery
- Nevýhody
 - 6 separovaných kusov dát
 - skreslenie okolo okrajov

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Cylindrical Panoramas



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Panorama Cameras

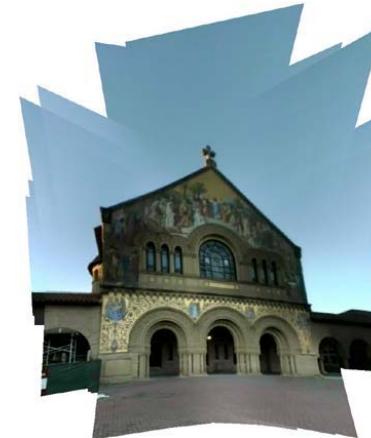
- Rotujúce Kamery
 - Kodak Cirkut
 - Globuscope
- Statické Kamery
 - Be Here
 - OmniCam
 - ...



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Panorama Mosaicing



© James Davis

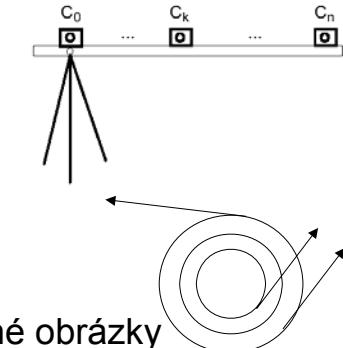
CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

- Prewarping
 - korekcia šošovky, radiometrická korekcia, valcovité premietanie
- Image Registration
 - zoradenie podľa charakteristických znakov
 - minimalizovanie pixelových rozdielov
- Compositing
 - eliminovanie pohybujúcich sa objektov
- Resampling
 - vyplnenie dier
 - zmiešanie
 - filtrovanie

Concentric Mosaics

H.-Y. Shum and L.-W. He, "Rendering with Concentric Mosaics", Siggraph'99
www-scf.usc.edu/~csci576/lectures/concentric-mosaics.pdf



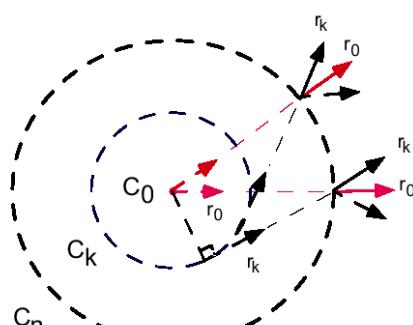
Kamera na obmedzenej rovine

- Získavanie
 - mimoos rotujúca kamera
 - rôzne polometry
 - Optické osové zarovnanie
 - dotyčnicové alebo polomerové
 - Uložené ako dotykovo rozrezané obrázky (zvyslé čiary)
- Vyjadruje vodorovnú parallaxu

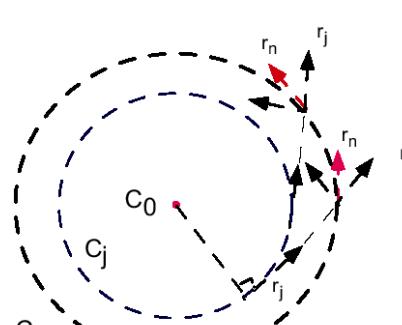
CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Concentric Mosaics – Optical Axis Orientation



Polomerové osi



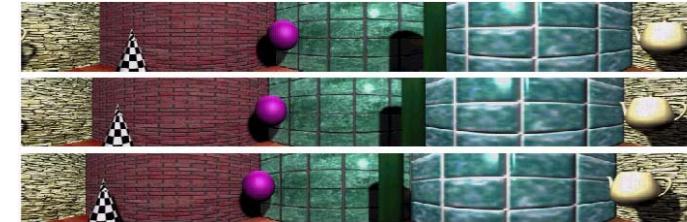
Dotyčnicové osi

- Parametrizovať každú zvyslú čiaru ako dotyčnicu ku kružnici

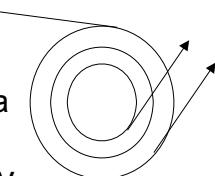
CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Concentric Mosaics – Data Representation



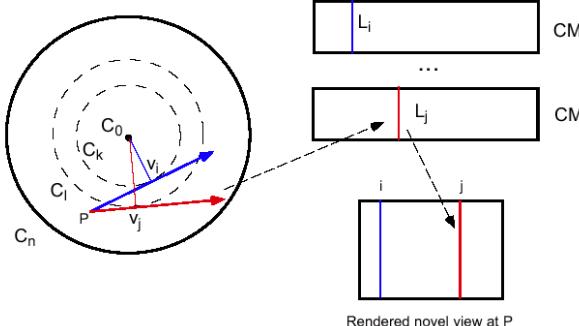
- Pozdĺž jednej kružnice
Dotyčnicová parametrisácia
 - Viacnásobné stredy premietania obrázka
 - Pushbroom kamera
- Medzi kružnicami rôznych polomerov
 - Vodorovný parallax pre rôzne hĺbky scény



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Concentric Mosaics - Rendering



Pre každú zvyslú čiaru:

- Nájsť dotyčnicu kružnice
- Vybrať najbližšiu kružnicu
- Vybrať najtesnejšiu zaznamenanú pozíciu

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Concentric Mosaic – Example

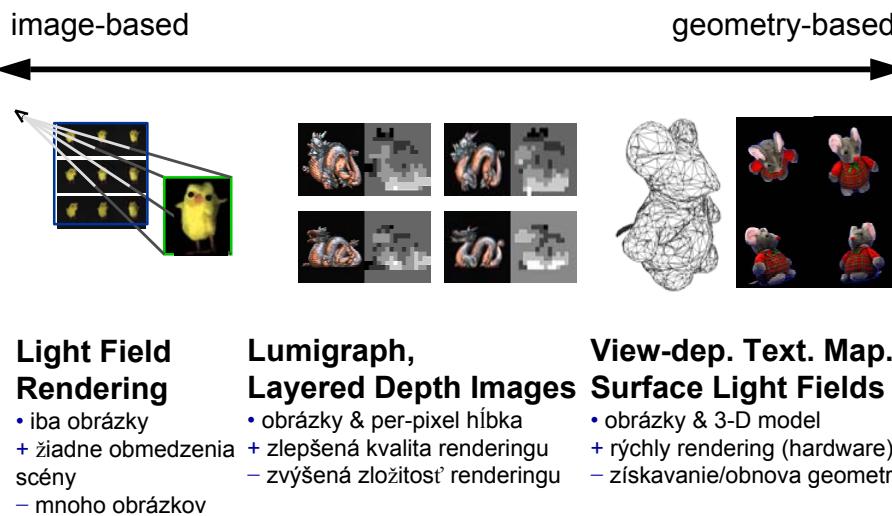


- Zvyslý parallax
- Odravové efekty
- Husté vzorkovanie zabráni aliasingu

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

IBR Taxonomy



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Light Field Rendering

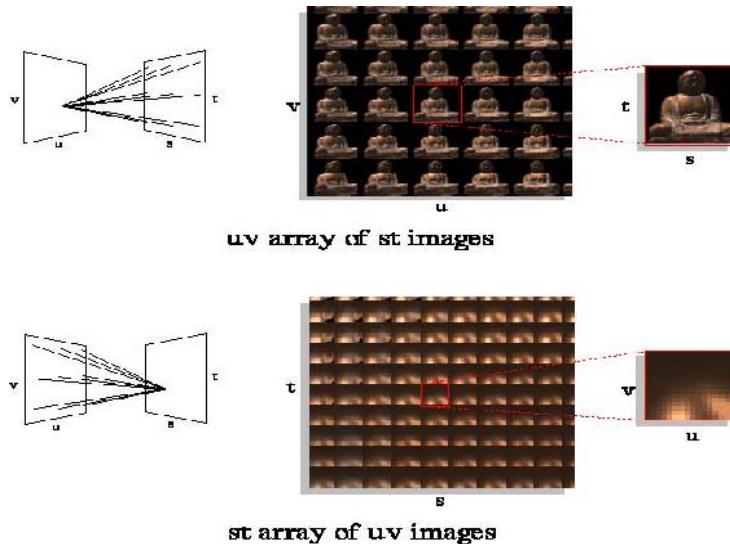
Levoy and Hanrahan, "Light Field Rendering", Siggraph'96
graphics.stanford.edu/projects/lightfield/

- Kamera mimo viditeľný hraničný trup
- Prepoklad: vlastnosti svetla sa nemenia pozdĺž lúča
- 2D matica - 2D obrázkov: 4D štruktúra
 - Vyjadruje celý parallax
 - Zachycuje complexný BRDFs

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Two-Plane Parameterization



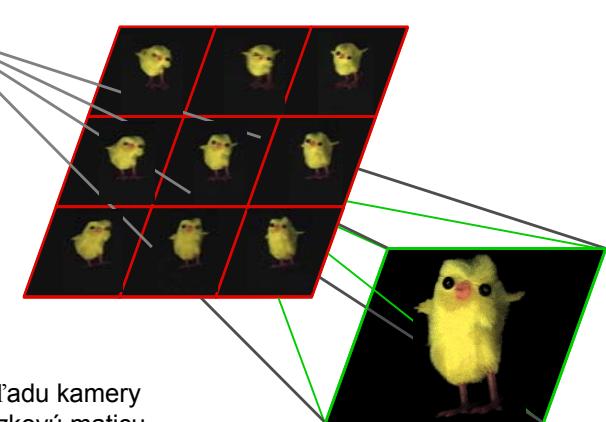
CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Light Field Rendering

Získavanie

- Statická 3D scéna
- Známe polohy kamery
- 2D obrázková matica: *Light Field*

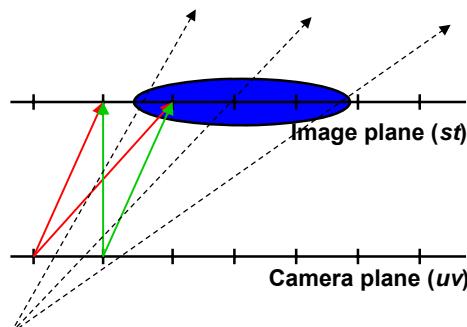


CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Light Fields – Quadralinear Interpolation

- Pre každý želaný lúč:
 - Počítame prienik s uv a st rovinami
 - Vezmeme najbližší lúč
- Varianty: interpolácia
 - Bilinear iba v (u,v)
 - Bilinear iba v (s,t)
 - Quadrilinear v (u,v,s,t)



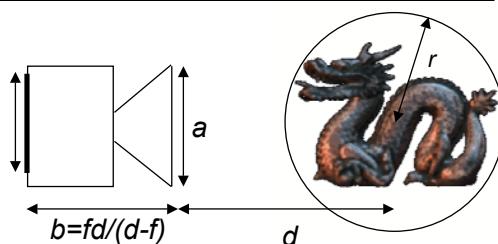
CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Light Field Sampling

známe

- ohnisková vzdialenosť f
- $N \Delta s$
- polomer objektu r
- veľkosť pixelu Δs
- počet pixelov N



- Optimálna vzdialenosť d
 - Objekt vypĺňa formát kamery

$$d = f \left(1 + \frac{2r}{N \Delta s} \right)$$

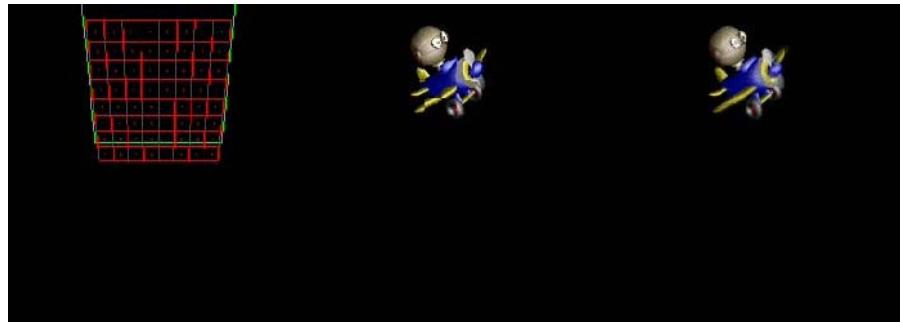
- Maximálny šošovkový priemer a_{max}
 - Depth-of-field < veľkosť pixelu Δs

$$a < \frac{\Delta s}{f} (d - f) \left(\frac{d}{r} - 1 \right)$$

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Light Field Rendering - Example



2-rovinná parametrizácia

najbližší obrázok

quadralinear interpolácia

Aliasing-free rendering: počet obrázkov → rozlíšenie obrázka

Na photorealistic rendering potrebujeme mnoho obrázkov !

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

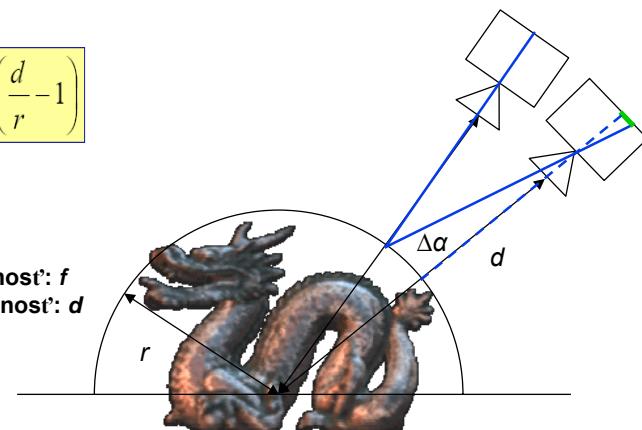
Light Field Sampling II

- Maximálny pohyb kamery

- Rozdielnosť < 1 pixel

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta s}{df} (d - f) \left(\frac{d}{r} - 1 \right)$$

- veľkosť pixelu: Δs
- polomer objektu: r
- ohnisková vzdialenosť: f
- zaznamová vzdialenosť: d
- uhol posunutia: $\Delta\alpha$



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Light Field Sampling III

- Maximálny priemer šošovky

$$a = \frac{\Delta s}{f} (d - f) \left(\frac{d}{r} - 1 \right)$$

- Maximálny pohyb kamery

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta s}{df} (d - f) \left(\frac{d}{r} - 1 \right)$$

- Uhlové predĺženie šošoviek

$$\Delta\alpha \approx \frac{a}{d}$$

→ Rovnaké kritérium vzorkovania
→ Šošovky kamery slúžia ako low-pass filter

→ počet obrázkov ponad guľu

$$Q \approx \frac{4\pi}{\Delta\alpha^2}$$

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Light Field Rendering – Aliasing Artifacts



renderované z husto
sub-samplovanej reprezentácie



renderované z mierne
subsamplovanej reprezentácie

Aliasing / blurring artefakty

→ Aplikujeme na geometriu scény aby sme odhadli chýbajúce
light-field informácie

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Light Field Sampling IV

- $N \Delta s = 2.56$ mm

• $f = 12$ mm

• $r = 100$ mm

• 24 bits/pixel

→ $d=950$ mm

pixel number N^2	max lens dia. $d\Delta\alpha$ (mm)	image number Q	total pixel number $N^2 Q$	memory (MB)
256^2	6.64	257213	$1.7 \cdot 10^{10}$	48600
128^2	13.27	64303	$1.05 \cdot 10^9$	3000
64^2	26.5	16076	$7.68 \cdot 10^7$	220
32^2	53.1	4019	$4.12 \cdot 10^6$	11.8
16^2	106	1005	257280	0.75

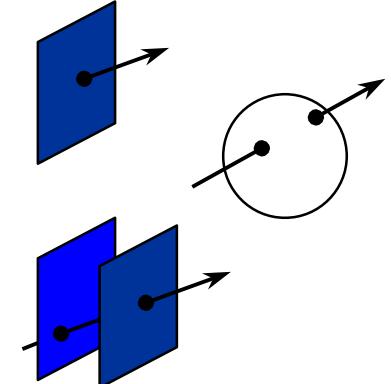
Je potrebné obrovské množstvo obrázových dát
→ IBR iba z subsampled light-field reprezentácií

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Light Field Parametrizácia

- Bod / uhol
- Dva body na guľu
- Body na dve roviny



- Originálne obrázky a pozície kamery

CG-I: Image-based Rendering

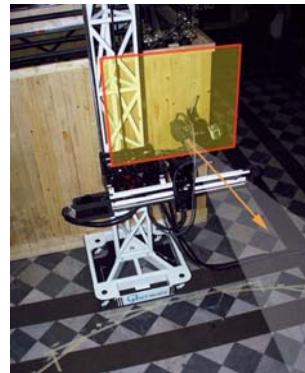
Marcus Magnor

Light Field Získavanie

- Kalibrované zachytávanie light-fieldu
 - Počítačom kontrolovaný rig kamery
 - Pohyby kamery po mriežke lokalít na rovine



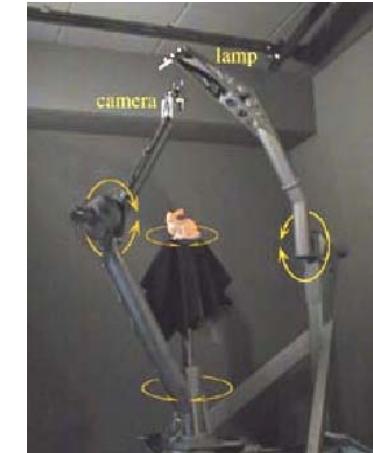
CG-I: Image-based Rendering



Marcus Magnor

Light Field Získavanie II

- Sférický pohyb kamery okolo objektu
- Vzorky priestoru rovnomerne vo všetkých smeroch
- Jednoduchá Kamera
 - Statická scéna – Postupné nahrávanie
 - Kalibrovaný pohyb – Mechanický žeriav
 - Jednoduchá photometrická kalibrácia



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Light Fields - súhrn

- Výhody
 - Jednoduchší výpočet proti tradičnej PG
 - Nezávislé od komplexnosti scény
 - Nezávislé od vlastností materiálu a iných optických efektov
- Nevýhody
 - Statická geometria
 - Fixné osvetlenie
 - Vysoká cena pamäti / aliasingu

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

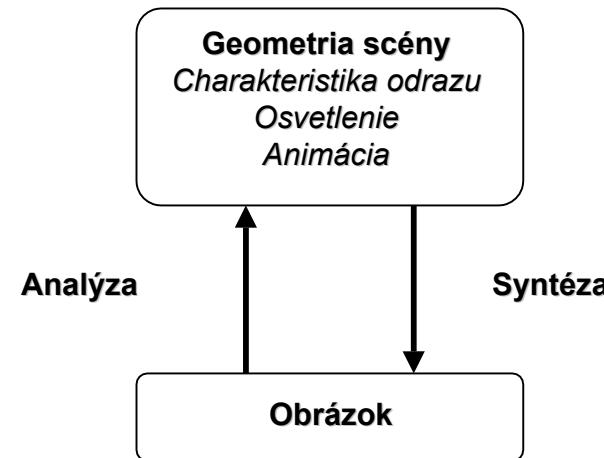
Geometry-assisted IBR Metódy

- Základná myšlienka IBR:
Vytváranie nových pohľadov scény priamo zo zaznamenaných pohľadov
- “Pravé” IBR → Light Field Rendering
- Potrebné obrovské množstvo obrázkov
- Vysoko nadbytočné dátá
- Iné IBR techniky sa pokúšajú získať vyššú kvalitu s menšou pamäťou využitím informácií o geometrii scény

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

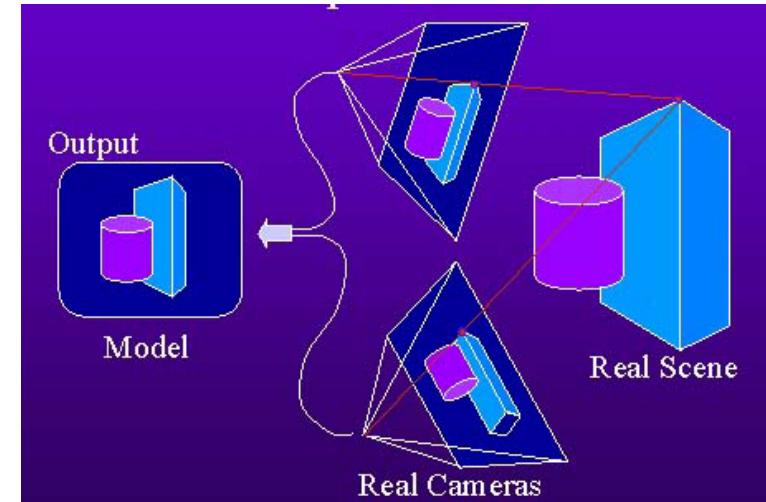
Computer Graphics – Computer Vision



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

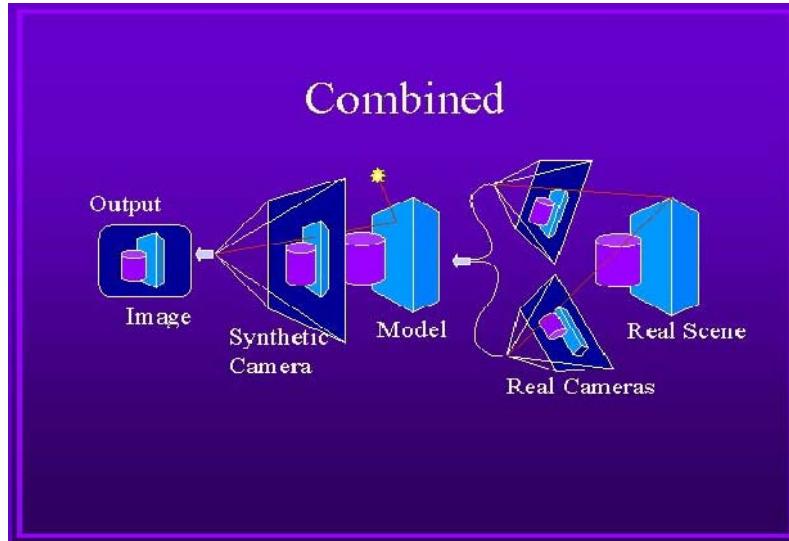
Rekonštrukcia Geometrie



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

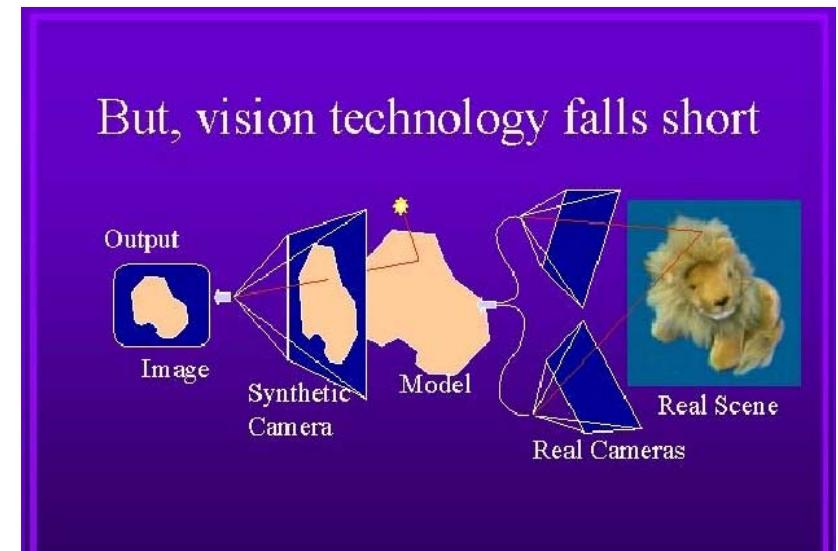
Videnie – Geometrická Pipeline



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

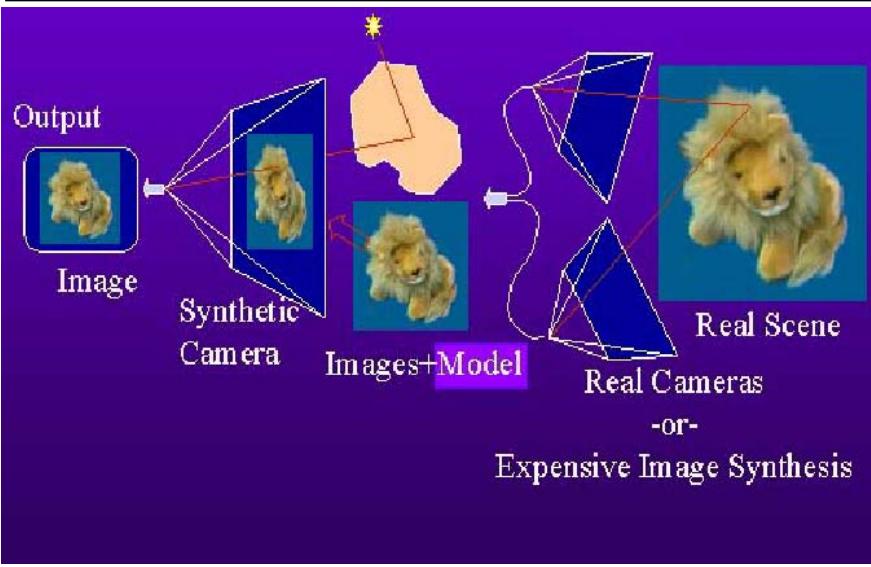
Približná Geometria



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Geometry-assisted IBR

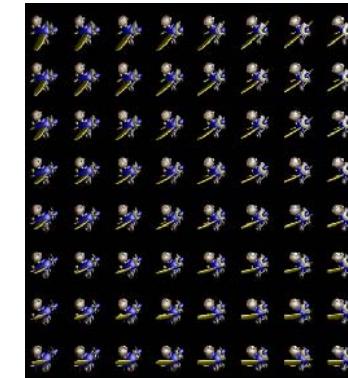


CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

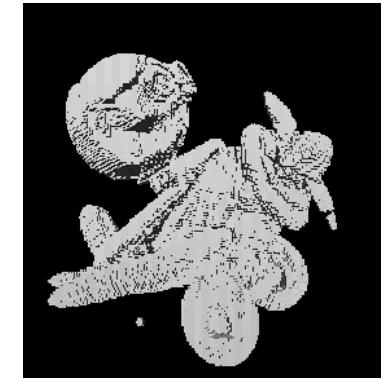
Geometry-assisted IBR: Example

Lietadlo Light Field



• 8×8 obrázkov, 256×256 pixelov

Zrekonštruovaný voxel model

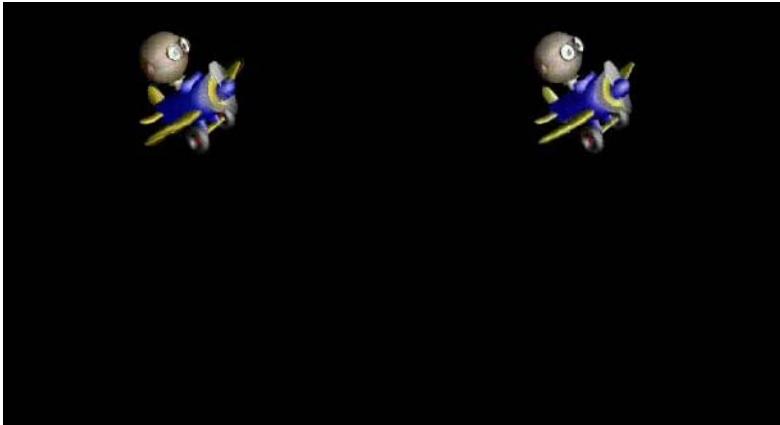


• $250 \times 260 \times 200$ voxelov
• povrch objektu: 450,000 voxelov

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Geometry-assisted LF Rendering



originál Lietadla light field
8x8 RGB obrázkov, 256x256 pixelov
12 MBytes

Model-aided Coder
LF rozšírený na 29x29 obrázkov
32.2 dB PSNR, 0.095 bpp (48.6 KBytes)

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

The Lumigraph

Gortler et al., "The Lumigraph", Siggraph'96, pp. 43-52
research.microsoft.com/siggraph96/96/lumigraph.htm

- Vstup: mnohonásobné obrázky
- Prevzorkovanie do 2-rovinnej parametrizácie
 - Ekvivalent Light Field Renderingu
- Rekonštruovať približnú hĺbku z obrázkov pixel po pixeli
 - Opravené rozdielnosti renderingu

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Lumigraph – Depth-corrected Rendering

Akú farbu má lúč (s, u) ?

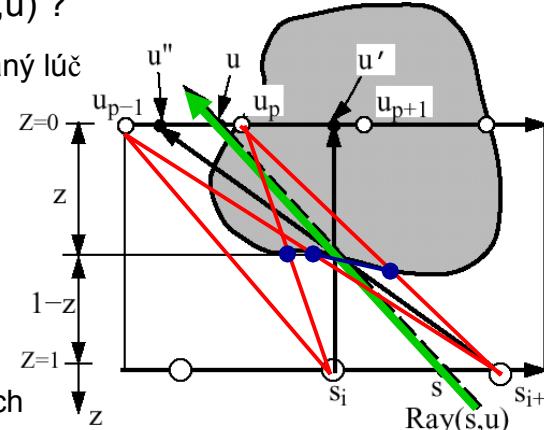
- Najbližší zaznamenaný lúč

→ Zlý bod povrchu

- Susedné lúče

→ nájsť bod povrchu
najbližšie k lúču (s, u)

- Upraviť rovinný povrch
→ interpolovať medzi najbližšími lúčmi



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

The Lumigraph – Výsledky Renderovania



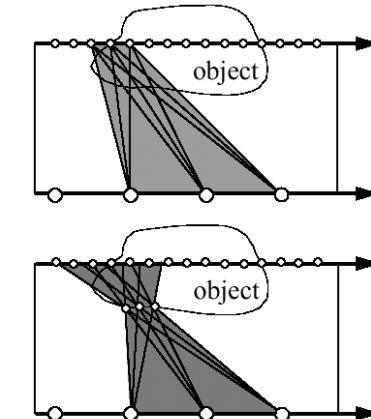
Bez použitia
geometrie
→ Light Field Rendering



Použitím približnej
geometrie

Lumigraph Rendering

- Oprava približnej híbky
 - problém návratu
- Zahrnutý Parallax
- Redukovaný aliasing
- Problém s uzavretím oblastí



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Layered Depth Images

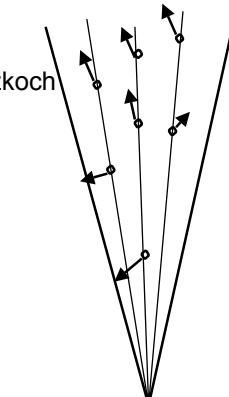
J. Shade et al., "Layered Depth Images", Siggraph'98
grail.cs.washington.edu/projects/ldi/

• Myšlienka:

- Zvládnuť disoklúziu
- Uloženie neviditeľnej geometrie v híbkových obrázkoch

• Dátová štruktúra:

- Vzorky híbky pre každý pixel
- Vzorka pre každú híbku:
 - RGBA
 - Z
- Kódovaný: Normálny smer, vzdialosť



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

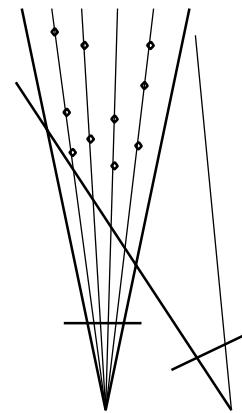
CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Layered Depth Images II

• Výpočet:

- Výpočet prírastkového zdeformovania
- Implicitné usporiadanie informácií
- Výpočet veľkosti škáry
 - Vyhládávanie tabuľky
 - Fixné šablóny škáry
- Orezávanie LDIs



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Layered Depth Images III



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

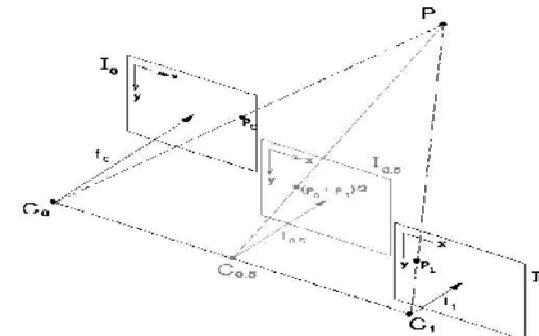
View Morphing

S. Seitz and C. Dyer, "View Morphing", Siggraph'96
www.cs.washington.edu/homes/seitz/vmorph/vmorph.htm

- Deformovanie medzi 2 (alebo viac) obrázkami
- Známe Kamerové F matice
- Obrázok súhlasí pre všetky známe pixely
- Plynulé deformovanie jedného obrázku do iného dávajúce fyzicky vierohodný dojem

View Morphing II

- Morphing medzi paralelnými pohľadmi
 - epipolarne čiary sú paralelne
 - jednoduchá hĺbka – rozdielna korešpondencia
 - lineárna interpolácia pixelov oboch obrázkov



CG-I: Image-based Rendering

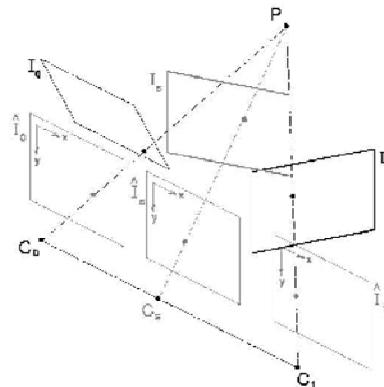
Marcus Magnor

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

View Morphing III

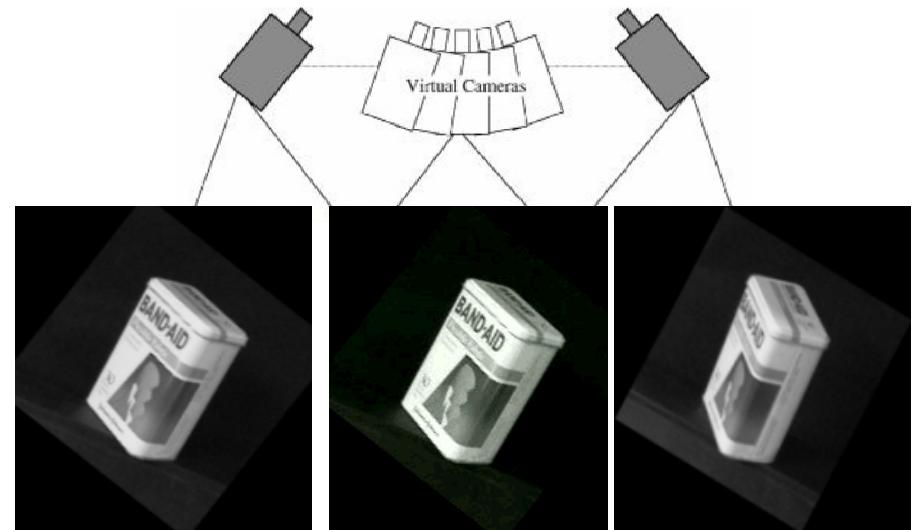
- Morphing medzi neparalelnými pohľadmi
 - Prewarp na bežnú rovinu (homography)
 - Morph
 - Postwarp



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

View Morphing - Results



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

View-dependent Texture Mapping

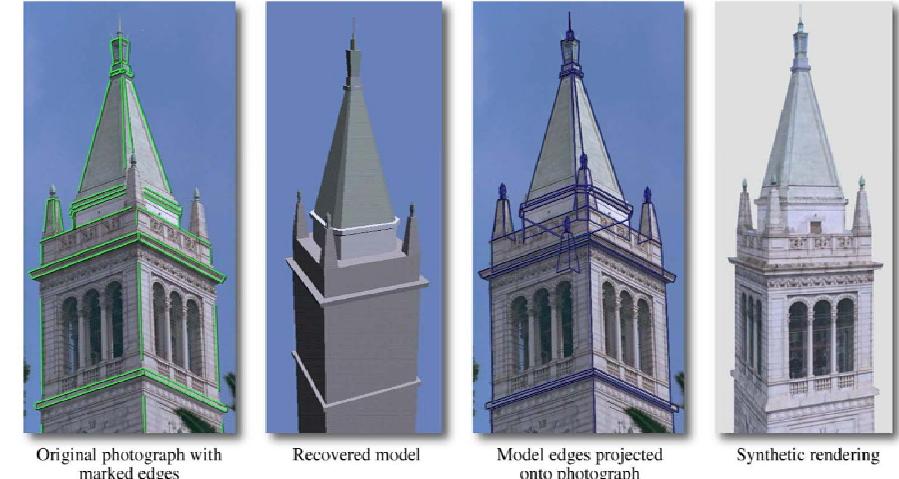
P. Debevec et al.,
"Efficient View-Dependent Image-based Rendering with Projective Texture-Mapping",
Eurographics Rendering Workshop'98
www.debevec.org/Research/VDTM/

- Kompletný 3D geometrický model scény
- Mnohonásobné fotografie scény
- Dokonale kalibrované obrázky
- Nanášanie fotografií ako textúru na geometriu
- Použitie najbližšieho obrázku v smere pohľadu pre textúrovanie

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

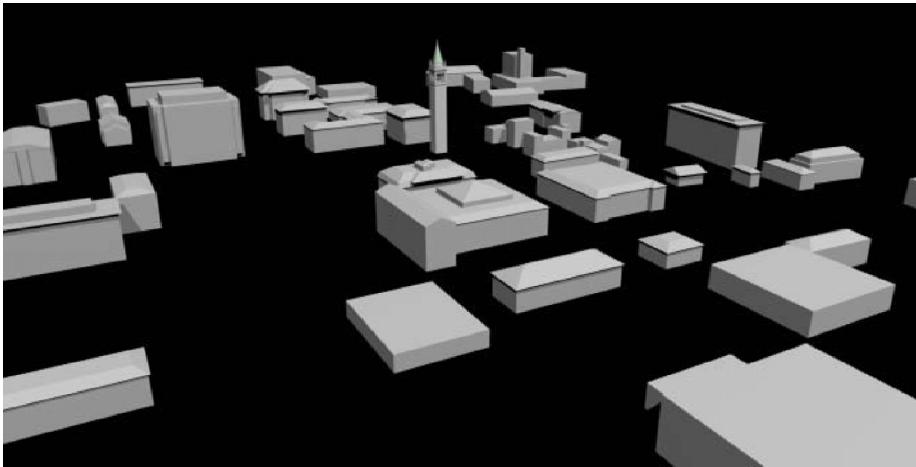
View-dependent Texture Mapping



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

View-dependent Texture Mapping



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

View-dependent Texture Mapping



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

View-dependent Texture Mapping



www.debevec.org

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Surface Light Fields

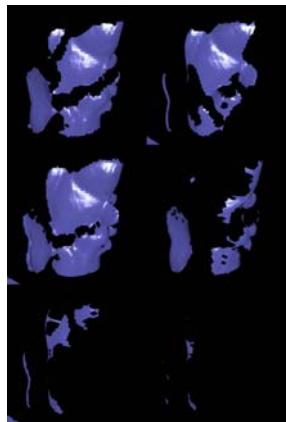
D. Wood et al., "Surface Light Fields for 3D Photography", Siggraph'00
grail.cs.washington.edu/projects/slff/

- Kompletný 3D geometrický model scény
- Mnohonásobné fotografie
- Dokonale kalibrovaná kamera
- Parametrizovanie Light Field cez povrch objektu

CG-I: Image-based Rendering

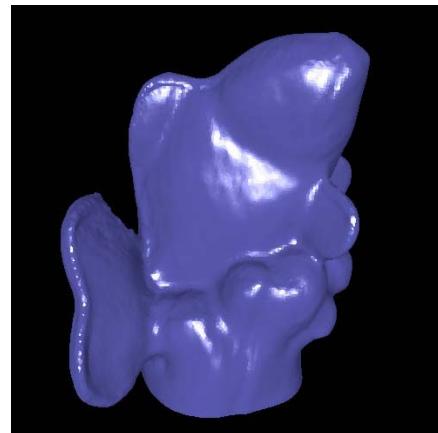
Marcus Magnor

SLF: Geometry Model Acquisition



Range scans
(iba pár ukázaných. . .)

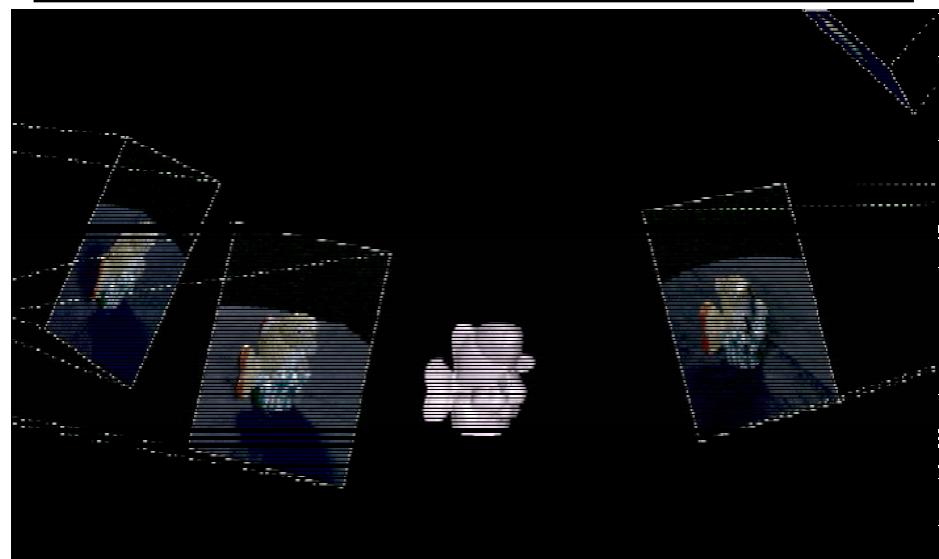
CG-I: Image-based Rendering



Spojený geometrický model

Marcus Magnor

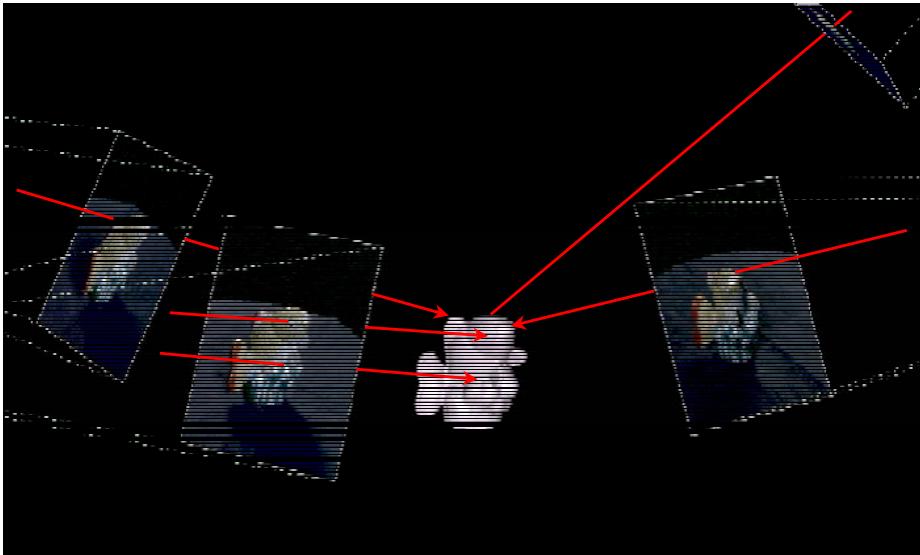
SLF: Register Images to Geometry



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

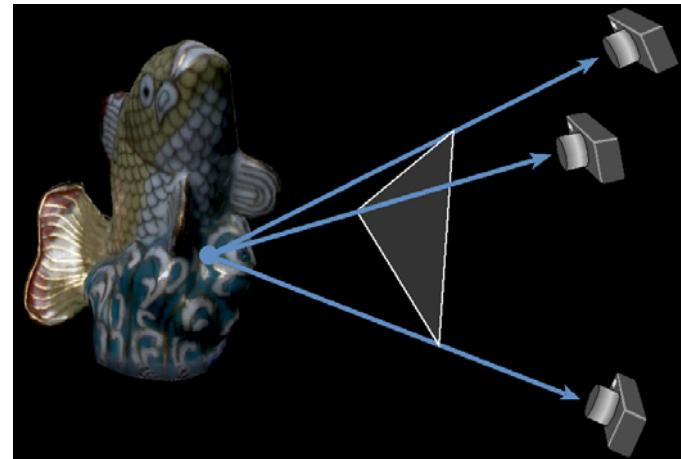
SLF: Register Images to Geometry



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

SLF vs. View-dependent Texture Mapping

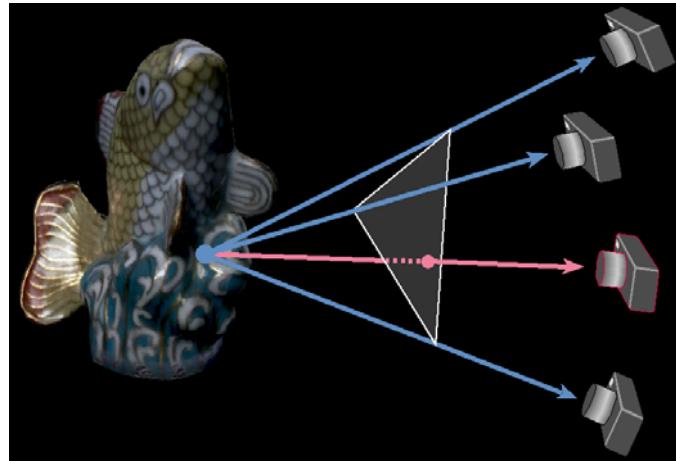


Debevec et al. 1996, 1998
Pulli et al. 1997

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

SLF vs. View-dependent Texture Mapping

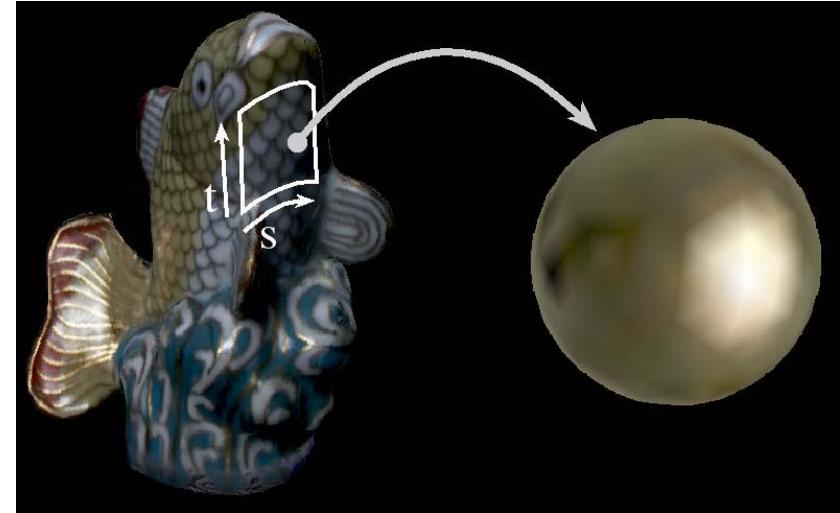


Debevec *et al.* 1996, 1998
Pulli *et al.* 1997

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

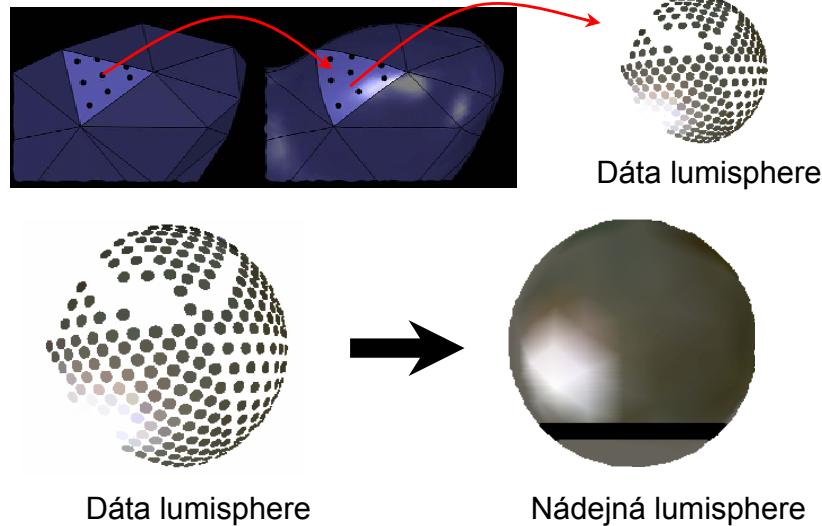
SLF: Lumispheres



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

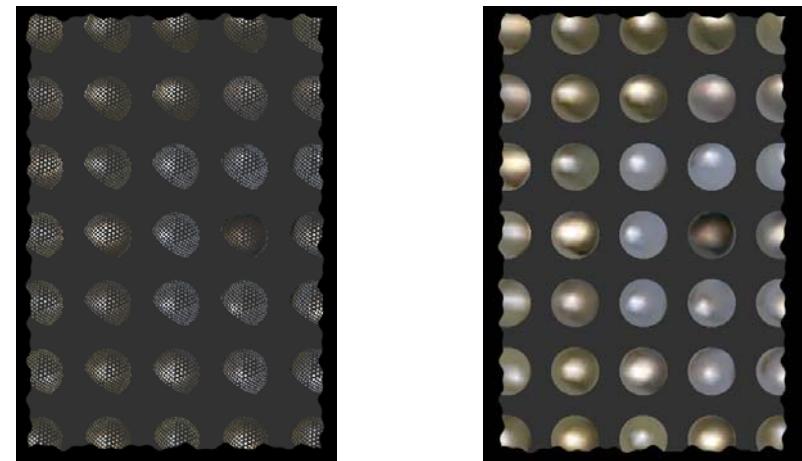
SLF: Lumisphere Fairing



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

SLF: Lumisphere Matrix



Mnoho vstupních dát lumispheres Mnoho slušných lumispheres

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

SLF - Výsledky



CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor

Wrap-Up

Teoretické pozadie

- Plenoptic Function
- “Pure” IBR
- Panoramas
- Concentric Mosaics
- Light Field Rendering

Geometricky pomocné IBR

- The Lumigraph
- Layered Depth Images
- View Morphing
- View-dependent Texture Mapping
- Surface Light Fields

CG-I: Image-based Rendering

Marcus Magnor