

Multimediální grafické aplikace realistické metody texturování

Radek Richtr

Institute of Information Theory and Automation
Academy of Sciences of the Czech Republic
Prague, Czech Republic

December 11, 2018



Outline I

① Úvod

Stínování

Osvětlovací model

Multitexturování

② Taxonomie

Taxonomie

③ BRDF

BRDF

④ BTF

Textura

BTF texturování

⑤ DBTF

BTF + Dynamics

⑥ Syntéza textur

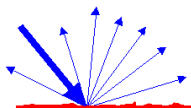
Syntéza textur

Intro

- Materiál + Textura
- Texturování
- Základní přehled a ukázka

Zrcadlový odraz

- Ideálně odražené světlo (specular)
 - fresnelova rovnice
 - lom světla, ...



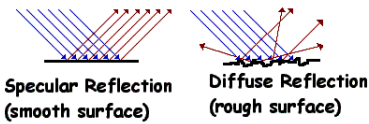
diffuse reflection



specular reflection

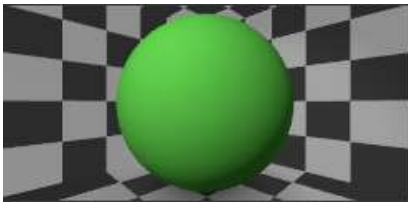
Zrcadlový odraz

- Ideálně odražené světlo (specular)
 - fresnelova rovnice
 - lom světla, ...



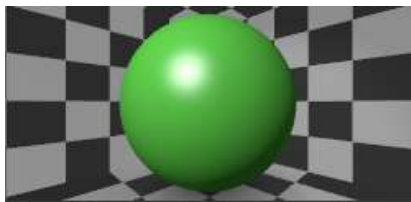
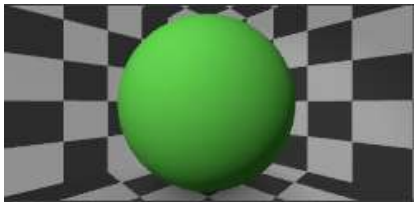
Materiál

- V zásadě udává barvu objektu.



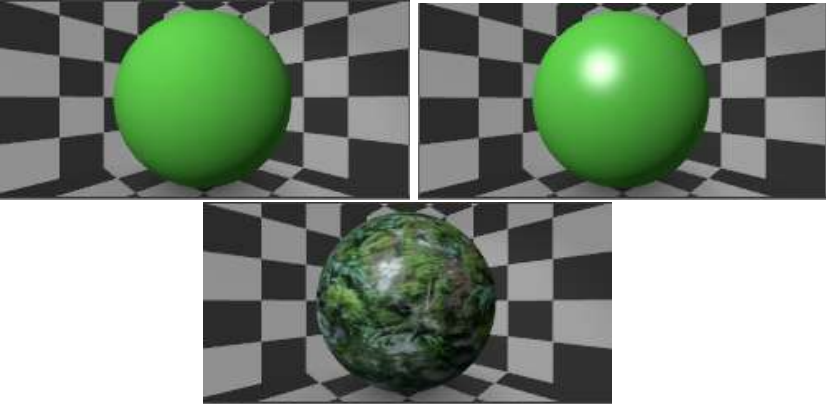
Materiál + odrazivost

- V zásadě udává barvu objektu a to, jak reaguje na světlo.



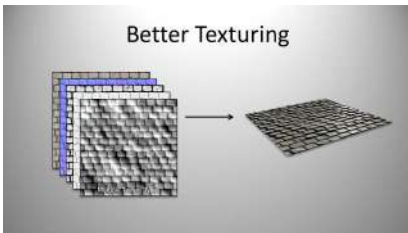
Materiál a textura

- Textura překrývá materiál.

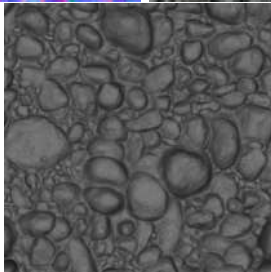
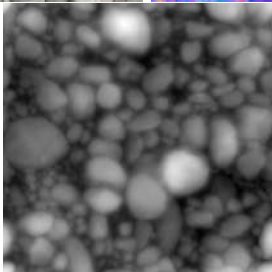
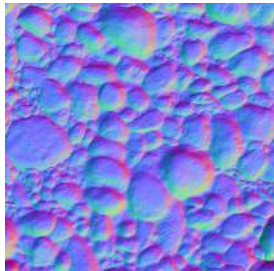


Materiál a textura

- Je obrovské množství reálných jevů, které tento jednoduchý model není schopen pojmut.
- Obvyklý přístup je přidávat pro každý typový jev vrstvu textury navíc.
 - hloubková mapa
 - normálová mapa
 - zastínění drobných proláklín
 - odraz okolí
 - barevné odlesky, ...



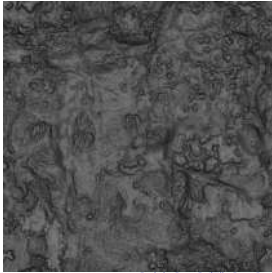
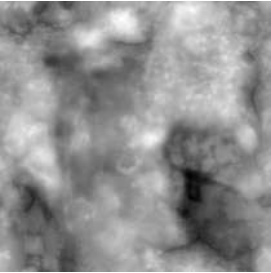
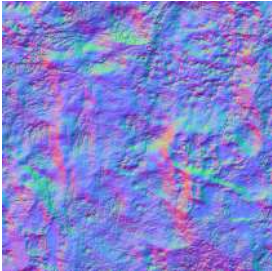
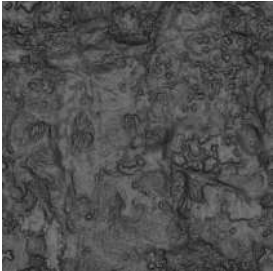
Multitexturování



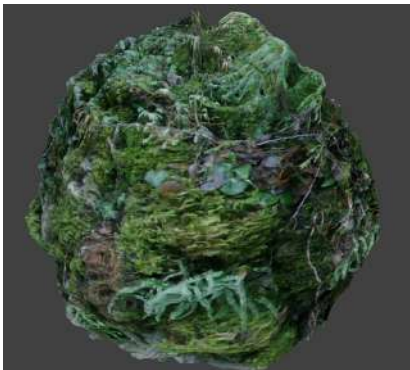
Multitexturování



Multitexturování



Multitexturování



Multitexturování

- V zásadě každý dodatečný jev se řeší další přidanou vrstvou textury.
- Používané např. ve filmech.
 - Enviroment mapping
 - Displacement mapping
- Většina je však uměle vytvořena, model není založen na reálných vlastnostech textury, modelu
- Kombinovaný model se nemusí vždy chovat tak jak čekáme, někdy jsou kombinování efektů kontraproduktivní

Ukázka 0:35, Colossus.

Taxonomie

Realistický materiál (texturu) se všemi podstatnými vlastnostmi lze modelovat 16-ti dimenzionální funkcí

$$GRF(\varsigma_i, x_i, y_i, z_i, t_i, \theta_i, \phi_i, \varsigma_v, x_v, y_v, z_v, t_v, \theta_v, \phi_v, \theta_t, \phi_t) \quad (1)$$

- ς_i is incident light spectral value.
- The triplet x_i, y_i, z_i denote the illuminating surface location at time t_i .
- $\omega_i = [\theta_i, \phi_i]$ is illumination spherical incidence angles observed at time t_i .
- Surface location is denoted by x_v, y_v and z_v with spherical reflectance angles $\omega_v = [\theta_v, \phi_v]$ and appropriate spectrum ς_v .
- $\omega_t = [\theta_t, \phi_t]$ are the corresponding transmittance angles.

Note that $\omega = [\theta, \phi]$ are the elevation and azimuthal angles, respectively.

Taxonomie

Realistický materiál (texturu) se všemi podstatnými vlastnostmi lze modelovat 16-ti dimenzionální funkcí

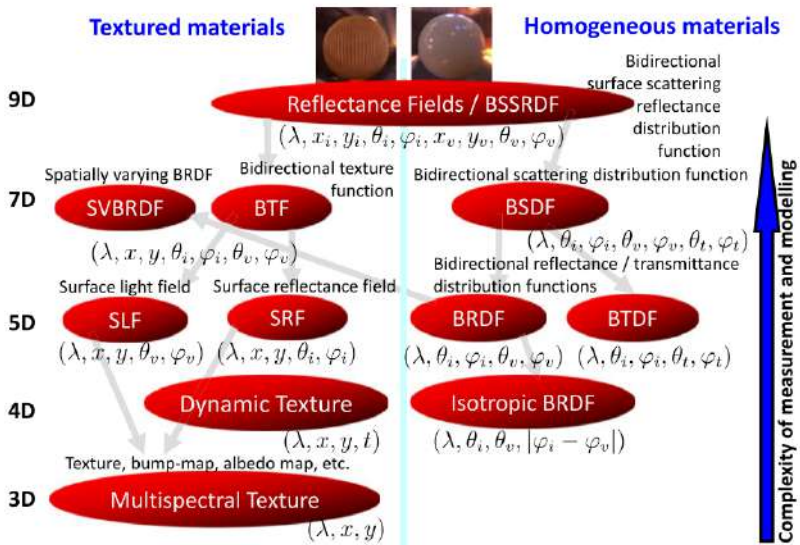
$$GRF(\varsigma_i, x_i, y_i, z_i, t_i, \theta_i, \phi_i, \varsigma_v, x_v, y_v, z_v, t_v, \theta_v, \phi_v, \theta_t, \phi_t) .$$

Aproximace této funkce a stávající state-of-the-art je přitom BTF funkce, která bere v potaz úhel pohledu a osvětlení dané textury:

$$BTF(\varsigma, x, y, \theta_i, \phi_i, \theta_v, \phi_v) \tag{2}$$

- BTF lze měřit a reprezentovat vzorky
- Minimální potřebný počet měření je 81×81 měření pro každou texturu
- Nameřená textura tedy může zabrat až několik terabytů
- Při zmenšení měřené plochy na bod funkce degraduje v BRDF (obousměrně odrazová distribuční funkce pro homogenní materiál)

Taxonomie - schema



BRDF (obousměrná odrazová funkce)

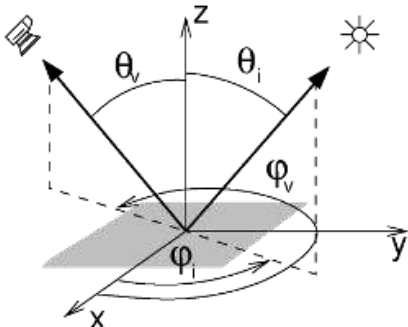
- Většina světla, která vidíme je *odražené*.
- Barva objektu je dána spektrální charakteristikou světla, které na něj dopadá, ale *především* vlastnostmi povrchu, zejména tím, jaké vlnové délky v jakém směru odráží.
- Obousměrná odrazová funkce BRDF charakterizuje odrazové schopnostmi *materiálu* v určitém jeho bodě x .
 - světlo dopadá ve směru ω_i a odráží se do směru ω_r
 - BRDF se označuje $f_r(x, \omega_r, \omega_i)$ a definuje *poměr* odražené radiance v daném bodě x označení jako $dL_r(x, \omega_r)$ ke vstupní radianci $dL_i(x, \omega_i)$ promítnuté na kolmou plochu

$$f_r(x, \omega_r, \omega_i) = \frac{dL_r(x, \omega_r)}{dL_i(x, \omega_i)(\omega_i \cdot n) d\omega_i} \quad (4)$$

Pokud radiance dopadá kolmo na plochu, je tedy přijatý světelný výkon nejsilnější.

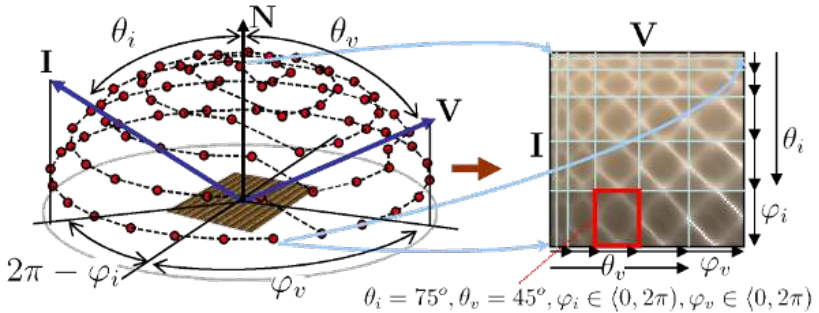
BRDF

- Měření BRDF



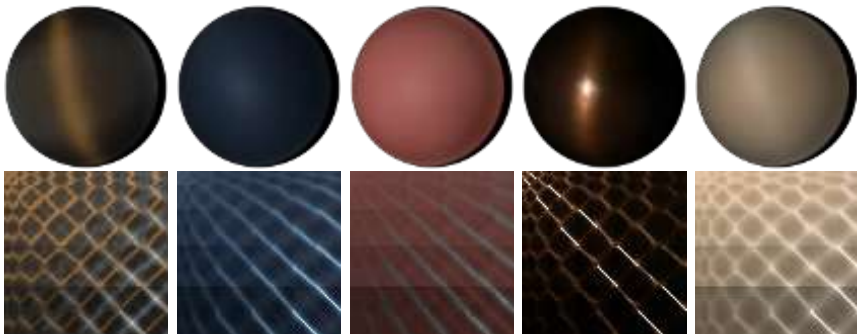
BRDF

- <http://btf.utia.cas.cz/>



BRDF

- <http://btf.utia.cas.cz/>

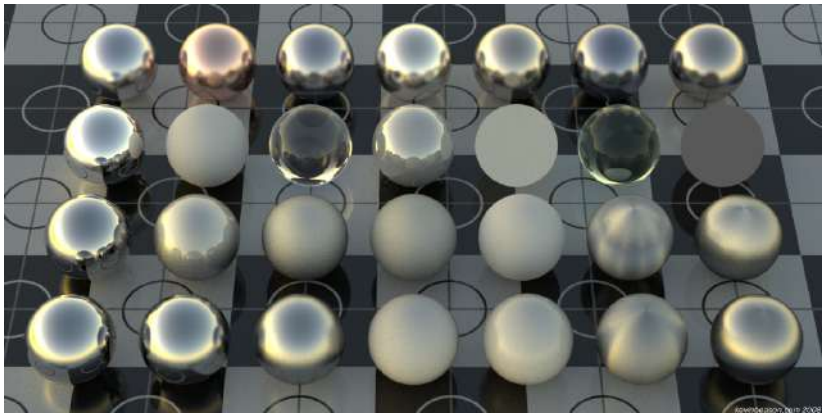


BRDF

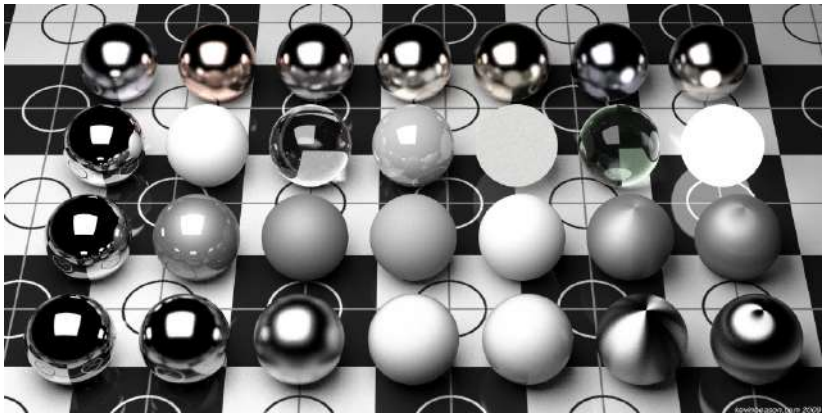
- <http://btf.utia.cas.cz/>



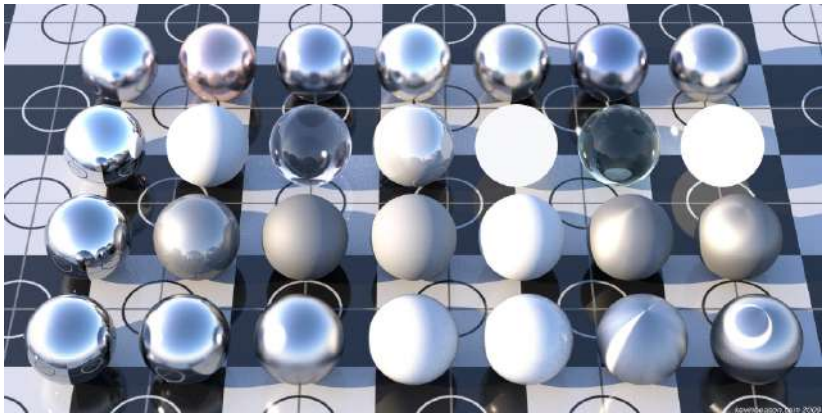
BRDF



BRDF



BRDF



BRDF



BRDF



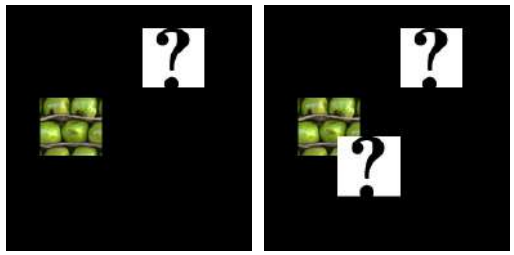
BRDF

- Umožňuje realistické chování materiálů.
- Různé chování v závislosti na úhlu pohledu a osvětlení.
- Nutný základ realistického renderování.
- Využívá se v kombinaci s reálněji zařazenými technikami.
 - např. enviroment mapy
- Dovoluje tedy použít *anisotropní* povrchy.
- Nejhrubější dustatečné měření, tj. 81 x 81 pohledů.

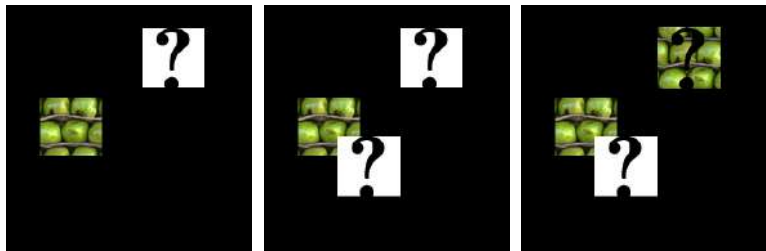
Textura

- Co je to vlastně textura?

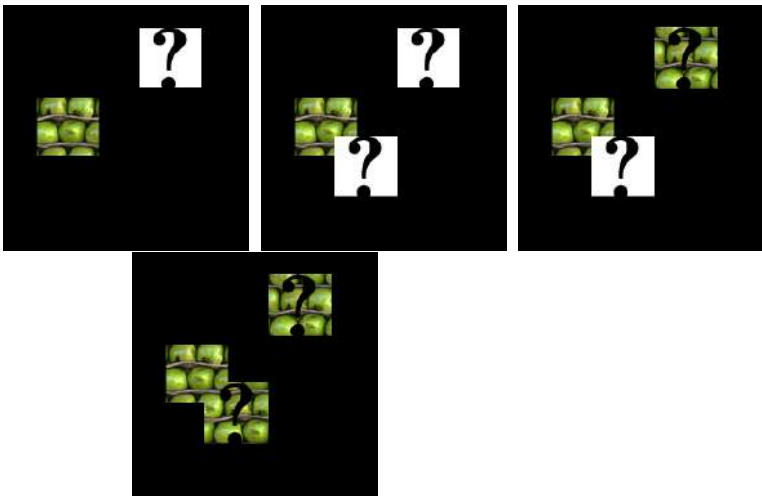
Textura



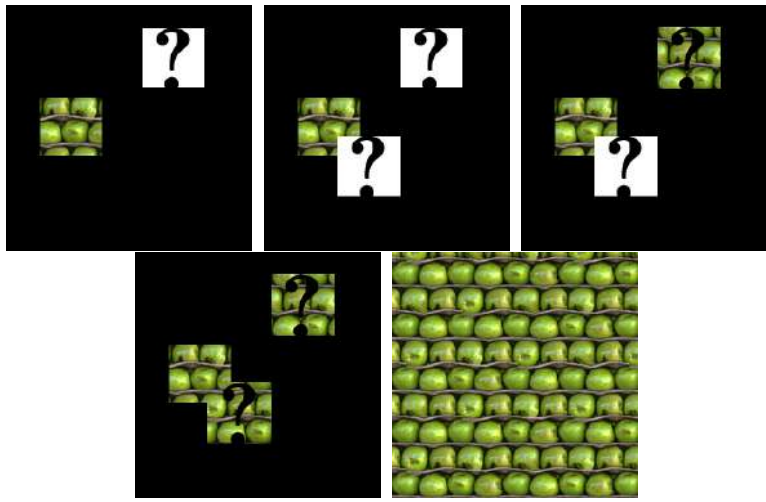
Textura



Textura



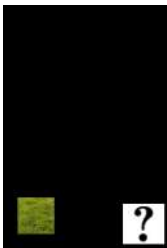
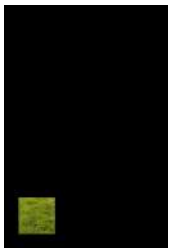
Textura



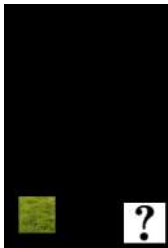
Textura



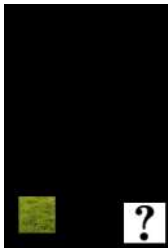
Textura



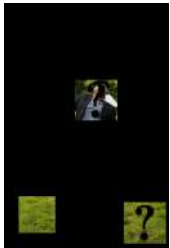
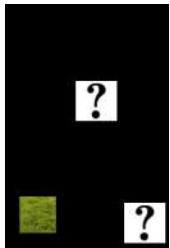
Textura



Textura



Textura



Textury

Exaktní matematická definice textury neexistuje.

Textury

Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Textury

Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Textury

Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Textury

Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Textury

Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Textury

Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Textury

Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Textury

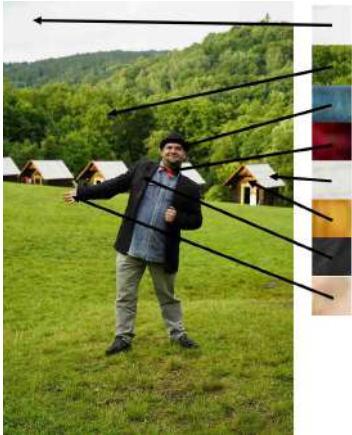
Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Textury

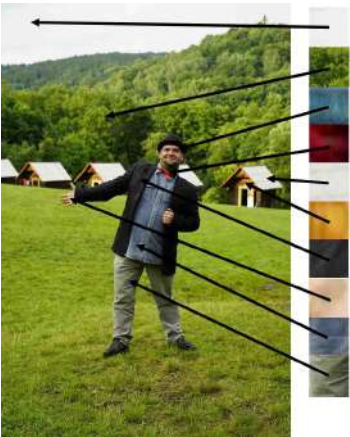
Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Texture

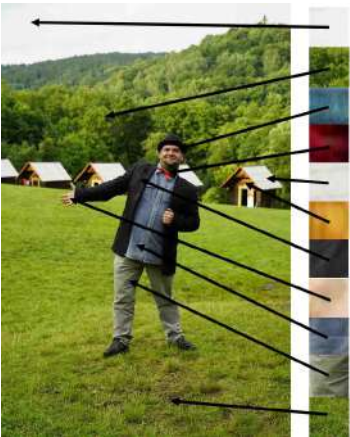
Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Texture

Exaktní matematická definice textury neexistuje.



Vizuální scény jsou reprezentovány tvary a materiály. Materiály jsou pak reprezentovány pomocí vizuálních textur.

Textura

- Exaktní definice textury neexistuje.
- Přesto je množství kritérií, které musí spňovat.
- Základní je homogenita ve všech dimenzích.
- To, že základní vlastnosti textury se průběžně nemění ji umožňují syntetizovat a zacházet s ní jako s celkem.
- Textura tedy není libovolný obrázek napláclý na 3D model.

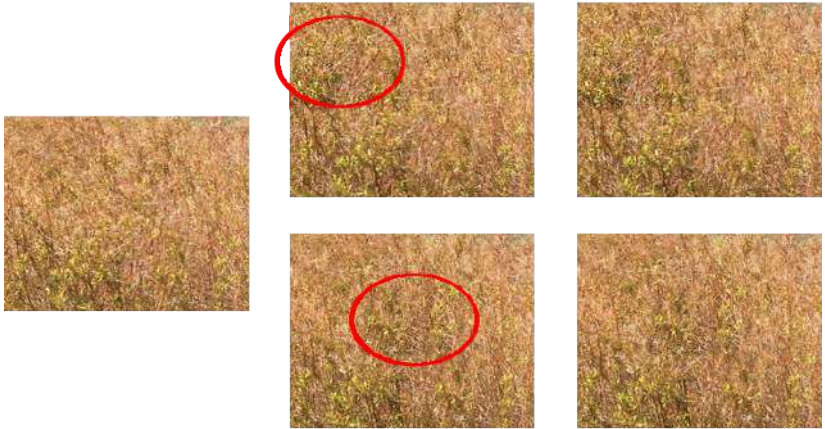
Základní vlastnost textury

Základní vlastností textury je to, že je (více či méně) homogenní. Tj. z jedné její části je možné odhadnout, jak vypadá jiná část. Jinými slovy dostatečný malý kus textury obsahuje všechny frekvence, které se objevují i ve všech dalších částech textury.

Spatial homogeneity - random placed universal patch



Spatial homogeneity - random placed universal patch



Spatial homogeneity - random placed universal patch



Spatial homogeneity - random placed universal patch

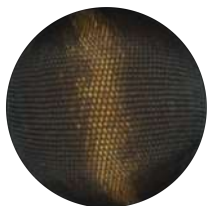


BTF

- BTF - bidirectional texture function.
- BRDF pracuje jen s materiálem a jeho chováním nikolik už s texturou.
- Přidává další dimenze - u a v , tedy pohyb v samotné textuře. Nejde tedy o měření jediného bodu.
 - tj. funkce je 6 rozměrná
 - objem dat se dostává minimálně do řádu několika GB.
 - $81 \times 81 \times 512 \times 512 \times 3B$

BTF

- BTF - bidirectional texture function.
- BRDF pracuje jen s materiálem a jeho chováním nikoliv už s texturou.
- Přidává další dimenze - u a v , tedy pohyb v samotné textuře. Nejde tedy o měření jediného bodu.
 - tj. funkce je 7 rozměrná

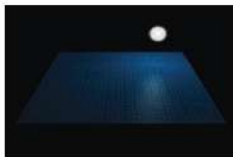
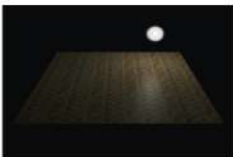
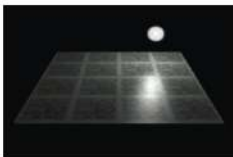
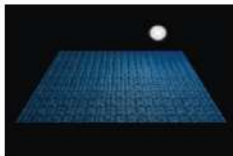
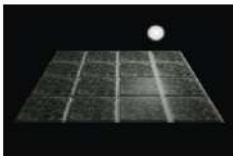


BTF

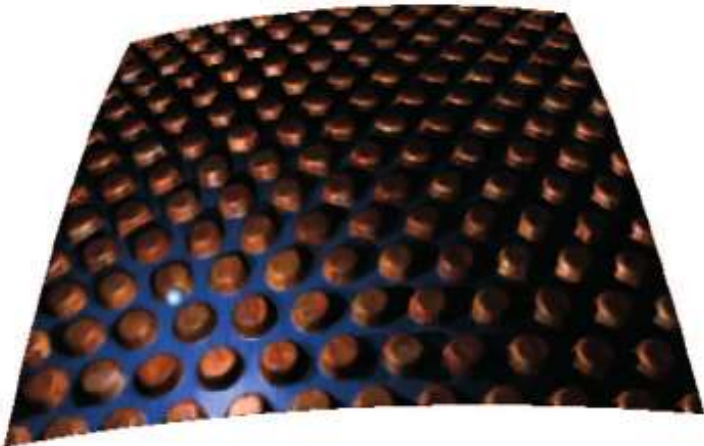
- BTF umožňuje naměřit více, než prostý povrch. Ten v důsledku může mít větší povrch než je rozměr samotné textury!
 - proč?
- Povrch objektu nemusí být pouhou výškovou mapou!
 - × parallax mapping?
 - × displacement mapping?
 - × bump mapping?
- Principiálně je textura zastíněna sama sebou.
- Vzhledem k masivní redundanci dat existuje značné množství kompresních metod.



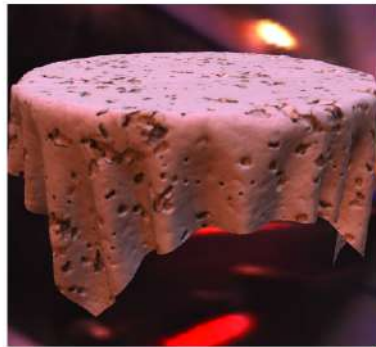
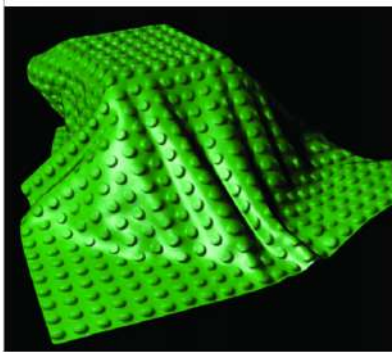
BTF



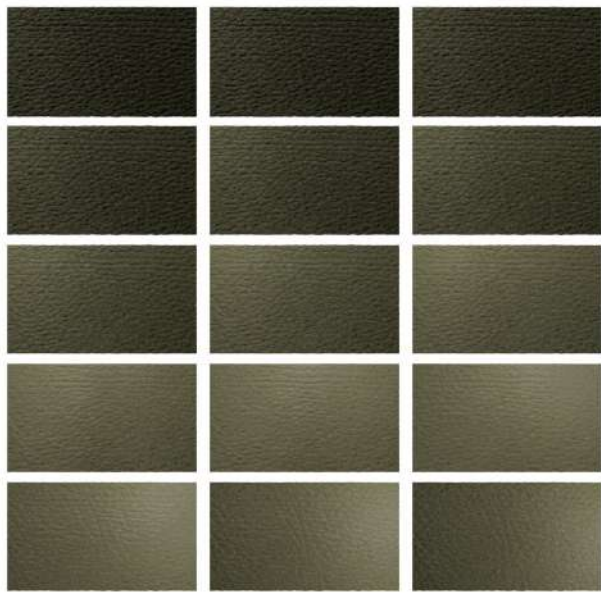
BTF



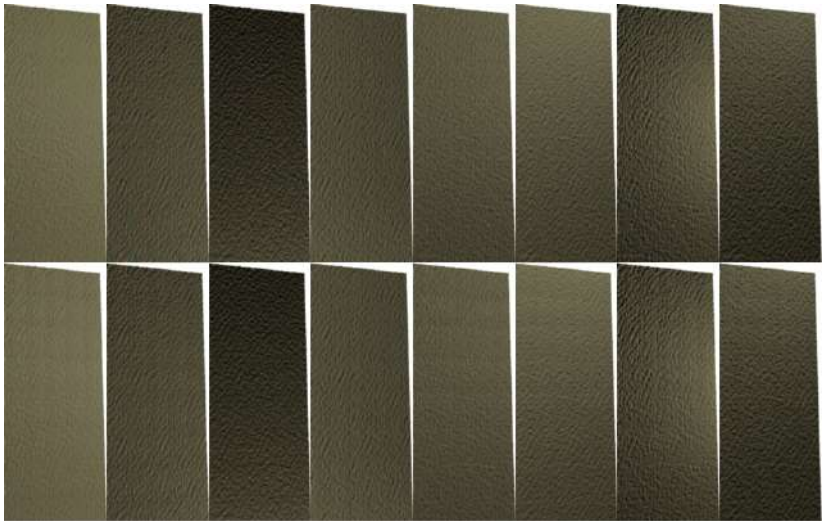
BTF



BTF



BTF

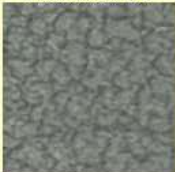


BTF

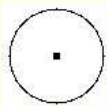


Leather BTF

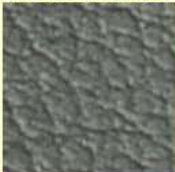
measured BTF



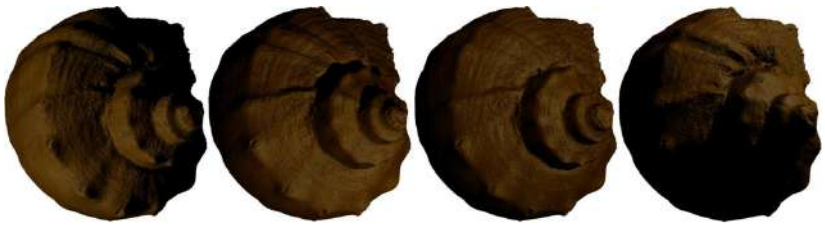
synthesised BTF (GMRF)
+ enlarged twice
+ huge compression



lit smooth texture



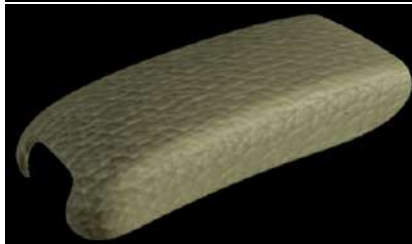
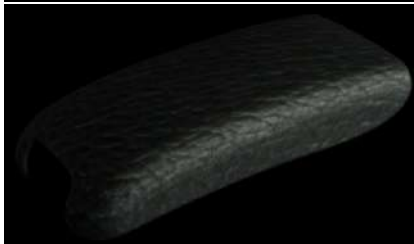
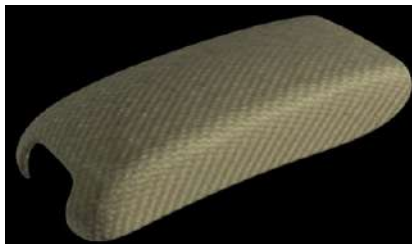
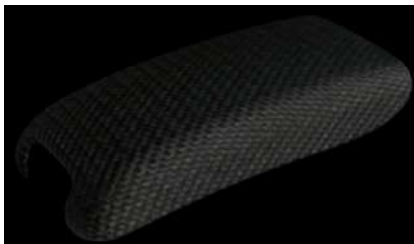
BTF



BTF



BTF



BTF

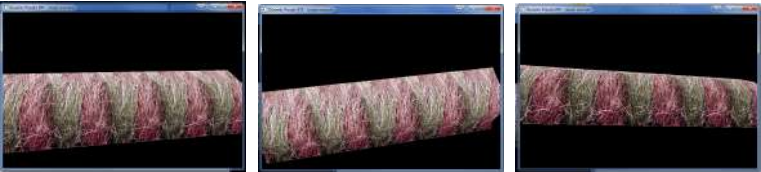


BTF



DBTF

- 8 (9) rozměrný model
- Dynamická textura zachycuje vývoj jen v čase
- BTF Zachycuje jen chování při změni pohledu a osvětlení
- Zachycení míkrostínů v textuře bez nutnosti modelování 3D objektu
- Distorze při ostrých úhlech
- Změna struktury vs. mix DT



DBTF

- Sestavený Povrch



DBTF

- Špatný zoom :-)



Textury

- Pokud chceme použít nějakou texturu - kolik jí potřebujeme?
 - jakkoli velká naměřená textura nikdy **NENÍ** dostatečná
- Toroidní textury (tileable)
 - textury které jsou navazovat vedle sebe
 - jednoduché u obyčejných textur (dlaždice, látka), problém u více náhodných textur (oblaka, kovy, tráva, ...)
- Syntéza textur
 - pravděpodobnostní model (kouř, oheň, voda,...)
 - vzorkování, získávání frekvencí

Syntéza

original



filo 1



filo 2



filo 3



$w_1 = 25$
 $w_2 = 5$
 $n = 35$


0	0	1	0	0	1	0	1
2	1	0	0	1	0	0	0
2	2	1	2	1	2	1	1
2	1	0	1	2	1	0	2
1	2	1	2	1	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	1
1	2	1	2	1	2	1	2
0	1	0	1	2	1	0	1
1	0	0	1	2	1	0	1

index matrix




synthosoid

original




$w_1 = 16$ $w_2 = 16$ $n = 29$


filo 1



filo 2




filo 3



index matrix

1	3	1	2	3	2	3
0	1	0	1	2	1	2
1	0	0	1	0	0	1
2	1	0	0	0	1	0
1	2	1	2	1	2	1
0	1	2	1	0	1	2
2	1	2	1	2	1	2



synthosoid

original



filo 1



filo 2



filo 3



$w_1 = 33$
 $w_2 = 13$
 $n = 70$

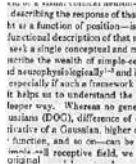
0	0	1	0
1	2	0	1
2	1	0	1
1	0	1	0
2	1	2	1

index matrix




synthosoid

original




$w_1 = 20$ $w_2 = 12$ $n = 18$


filo 1




filo 2




filo 3




filo 4



filo 5



filo 6



index matrix

0	0	1	0	0	1	0	1
2	1	0	0	1	0	0	0
2	2	1	2	1	2	1	1
2	1	0	1	2	1	0	2
1	2	1	2	1	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	1
1	2	1	2	1	2	1	2
0	1	0	1	2	1	0	1
1	0	0	1	2	1	0	1

Ukázka