

Základy počítačové grafiky

Texturování 3D objektů

Michal Španěl

Ústav počítačové grafiky a multimédií
Fakulta informačních technologií
Vysoké učení technické v Brně

Brno 2013

Cíl

Cílem této přednášky je seznámit se s podstatou a hlavními metodami texturování 3D objektů. Věnuje se problematice mapování textur a hlavním způsobům jejich použití pro popis povrchové struktury objektů.

Motivace pro texturování

Proč texture ?

- Realita je velmi komplexní
- Materiál i povrch objektů mají svou strukturu
- Dosažení této komplexnosti na úrovni geometrie je velmi náročné (velikost modelu, rychlost zobrazení scény atd.)
- Mnohem efektivnější je nanést tyto struktury na povrch objektů jako "další" informaci - texturu



Definice texturování

Definice textury

Textura je popis detailní struktury povrchu a materiálu objektu, nezávislý na jeho geometrii. Jeden vzorek textury nazýváme *texel*.

Definice texturování

Texturování je proces nanášení textur na geometricky definovaný povrch objektu. Texturování pomáhá odlišovat a rozpoznávat jednotlivé objekty a zvyšuje úroveň realističnosti jejich zobrazení.

Datová reprezentace textur

Reprezentace dat textury

- Datové textury – diskrétně navzorkované a uložené v paměti, rychlé vykreslení, datově náročné, dochází k aliasu
- Procedurální textury – matematicky spojitě definované (funkcí), parametrické, dynamické, datově nenáročné, relativně pomalejší (shadery), méně náchylné k aliasu (spojité)

Dimenze dat textury

- 2D – popisují pouze povrch objektu, problémy navazování
- 3D – spojitě popisují prostorové rozložení vlastností v celém objemu objektu (dřevo, mramor)
- 4D – jsou to 3D textury s časovou změnou, umožňují dynamické změny (ohněň, mlha)

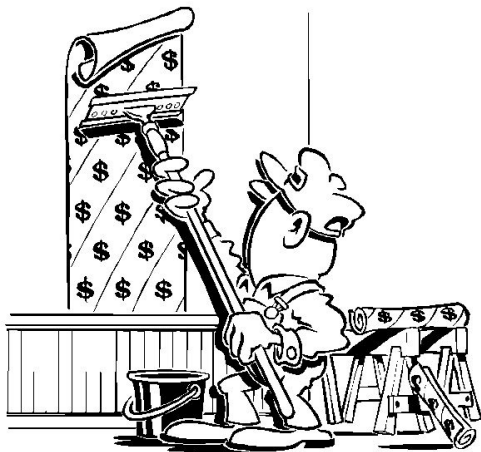
Interpolace dat textury

Způsob získání hodnoty (z datové textury)

- *Bez interpolace* – zaokrouhlíme souřadnice v prostoru textury na nejbližší celočíselné hodnoty. Jde tedy o výběr nejbližší hodnoty. Je to nejrychlejší a nejjednodušší postup.
- *Bilineární interpolace* – provádíme lineární interpolaci z nejbližších čtyřech hodnot. Jde o základní interpolaci, požadují se minimální výpočty a zachovává se spojitost obrazových dat.
- *Polynomická interpolace* – provádí se interpolace z širšího okolí, polynomem vyššího stupně (nejčastěji kubickým). Je již náročnější na výpočty, ale velmi dobře vyhlazuje obrazová data.

Mapování textur

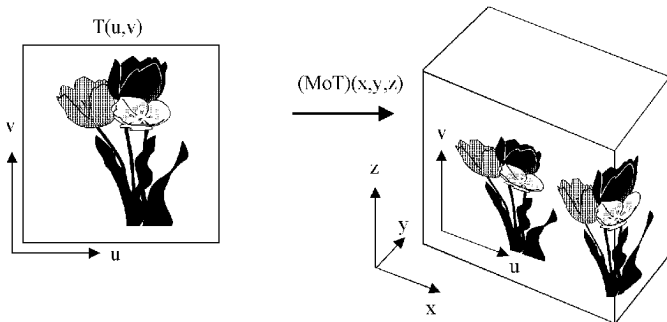
Mapování textur – nanášení textury na povrch objektu



Mapování textur

Hledáme funkci $T(M(x, y, z))$, která pro (x, y, z) dává hodnoty textury

$$\begin{array}{ll}
 T(u, v) : D_T \longrightarrow H_T, & D_T \subset R^2 - \text{prostor textury} \\
 M(x, y, z) : D_M \longrightarrow D_T, & D_M \subset R^3 - \text{prostor objektu}
 \end{array}$$



Inverzní mapovací funkce

Analytický popis objektu

- Povrch objektu je popsán jednou analytickou funkcí
- Inverzní funkci k funkci popisu povrchu je možné použít jako "mapovací funkci" pro nanesení textury
- Používá se při promítání textur (viz. dále)
- Takovýchto případů analytických těles je prakticky pouze několik (koule, válec, kvadriky atd.)

Mapování na válec

$$x = R \cos \theta, \quad \theta \in \langle 0, 2\pi \rangle$$

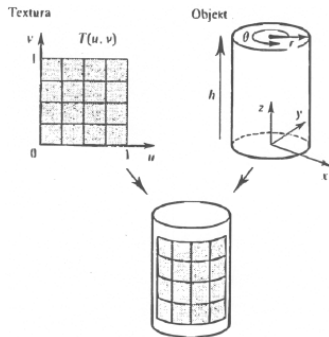
$$y = R \sin \theta$$

$$z \in \langle 0, h \rangle$$

$$u = \frac{1}{2\pi} \arccos \frac{x}{R}, \quad \text{pro } y \leq 0$$

$$u = 1 - \frac{1}{2\pi} \arccos \frac{x}{R}, \quad \text{pro } y > 0$$

$$v = \frac{z}{h}$$



Mapování na kouli

$$x = R \cos \theta \cos \phi, \quad \theta \in \langle 0, 2\pi \rangle$$

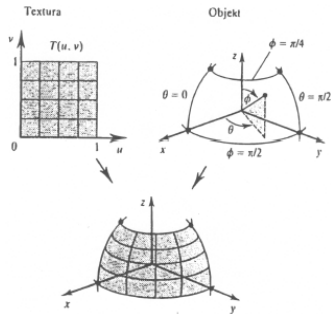
$$y = R \cos \theta \sin \phi, \quad \phi \in \langle -\pi/2, \pi/2 \rangle$$

$$z = R \sin \theta$$

$$u = \frac{1}{2\pi} \arccos \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \quad y \leq 0$$

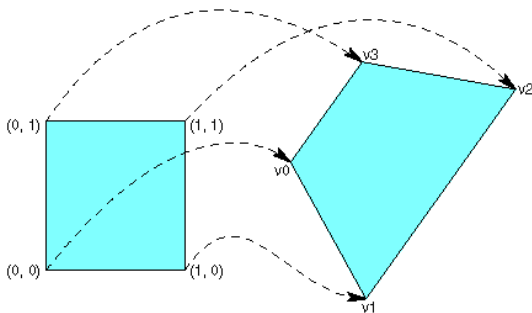
$$u = 1 - \frac{1}{2\pi} \arccos \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \quad y > 0$$

$$v = 0.5 + \frac{1}{\pi} \arcsin \frac{z}{R}$$



Texturovací souřadnice

- U většiny "běžných" objektů není možné nalézt jedinou analytickou funkci popisující povrch
- Proto musíme provádět mapování po částech (plochy, polygony)
- Spojitost částí zajistí "Texturovací souřadnice"

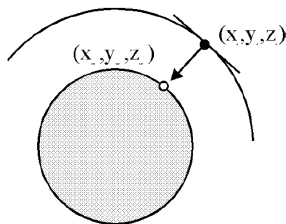
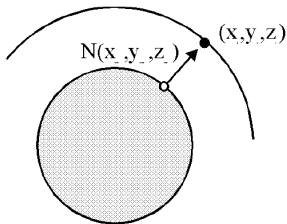
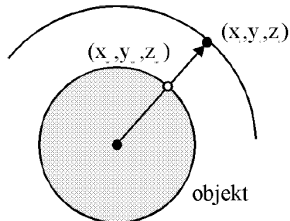
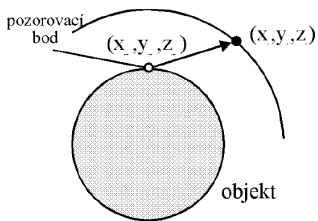


Promítání textur

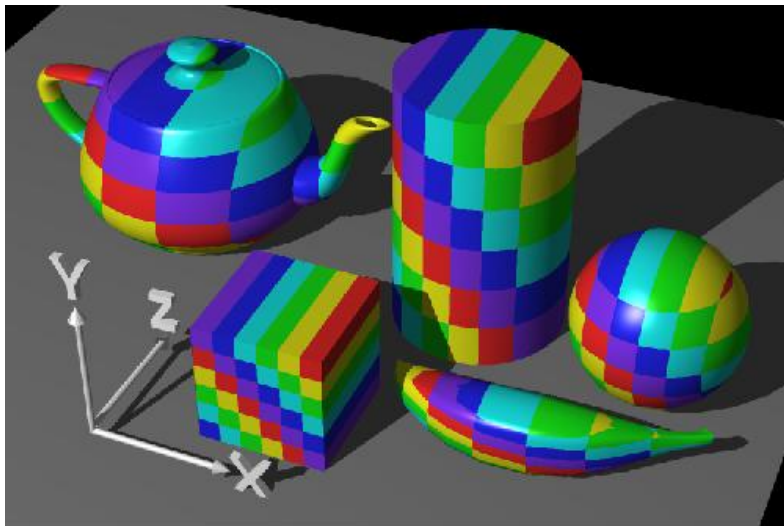
Problémy texturovacích souřadnic

- Pro topologicky členité a složité objekty je problém generovat texturovací souřadnice (automaticky/ručně)
- Je problém generovat texturovací souřadnice tak, aby byla textura na povrchu vždy spojitá
- Řešením může být promítnutí textury nebo texturovacích souřadnic z povrchu topologicky podobného, ale jednoduššího (analytického) obalového tělesa

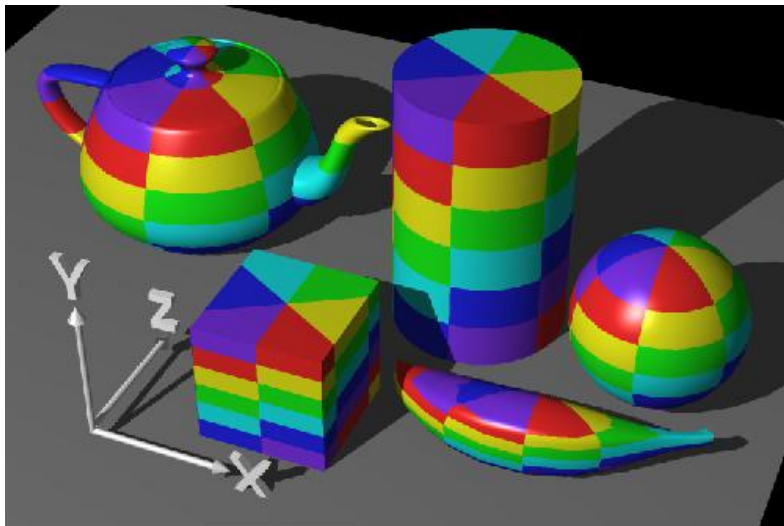
Způsoby promítání textur



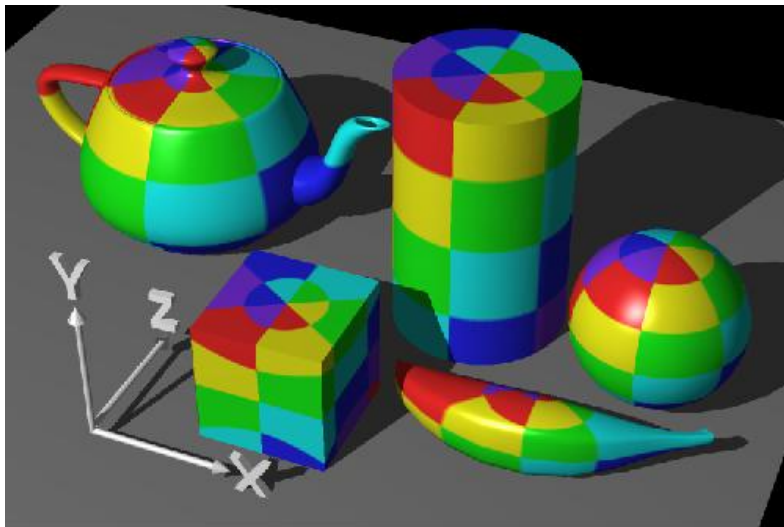
Promítání textury z roviny



Promítání textury z válce



Promítání textury z koule



UV mapování textur

Realistické texturování

- Mapování realistických textur:
 - Přesné mapování
 - Složité vzory
 - Důležité detaily
- Topologicky složitá tělesa:
 - Nekonvexní tělesa
 - Nefunguje promítání textur z obálky
 - Použití texturovacích souřadnic je náročné
- S tvorbou textur a jejich nanášením pomůže právě *UV mapování*



UV mapování textur - inverzní funkce

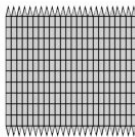
Rozvineme povrch $p = P(x, y, z)$ objektu do roviny $r = R(u, v)$ textury pomocí inverzní funkce, jestliže existuje

3-D Model



$$p = (x, y, z)$$

UV Map



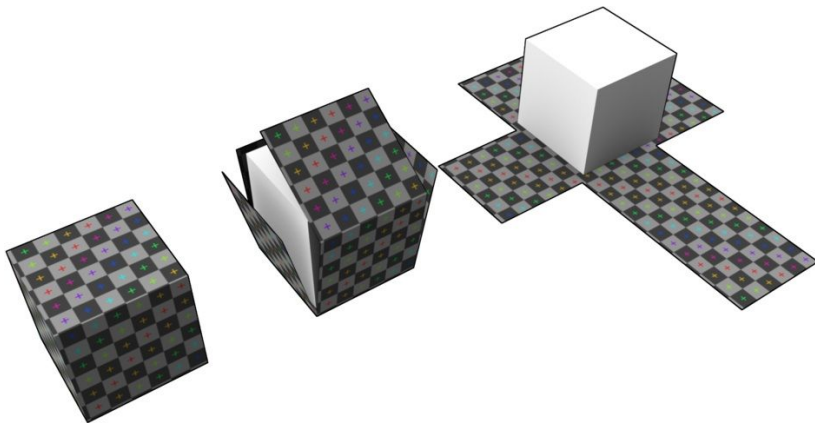
$$p = (u, v)$$

Texture



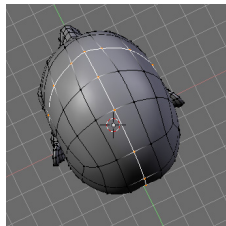
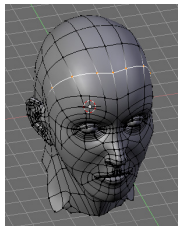
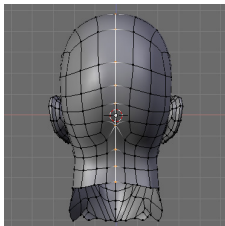
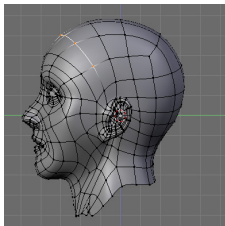
UV mapování textur - rozvinutí

Neexistuje-li příslušná inverzní funkce, musíme povrch objektu rozdělit na rozvinutelné části do roviny $r = R(u, v)$ textury



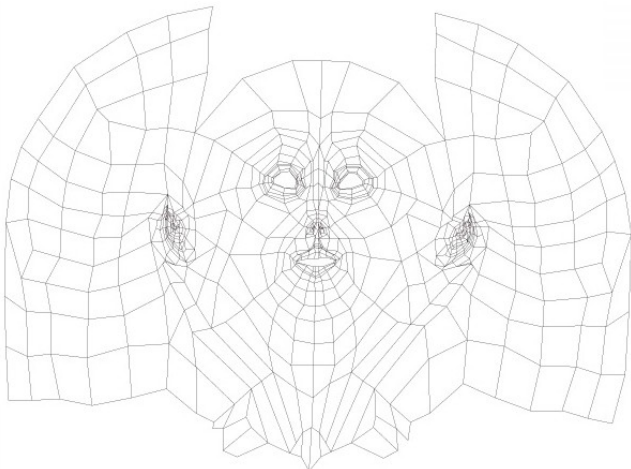
UV mapování textur - rozvinutí

Není-li možné přímo rozdělit povrch objektu na snadno rozvinutelné části, vhodně povrch "nastříhneme"



UV mapování textur - rozvinutí

"Nastřížený" povrch poté rozvineme do roviny $R(u, v)$ textury
Tím se samozřejmě nevyhneme deformacím proporcí povrchu.



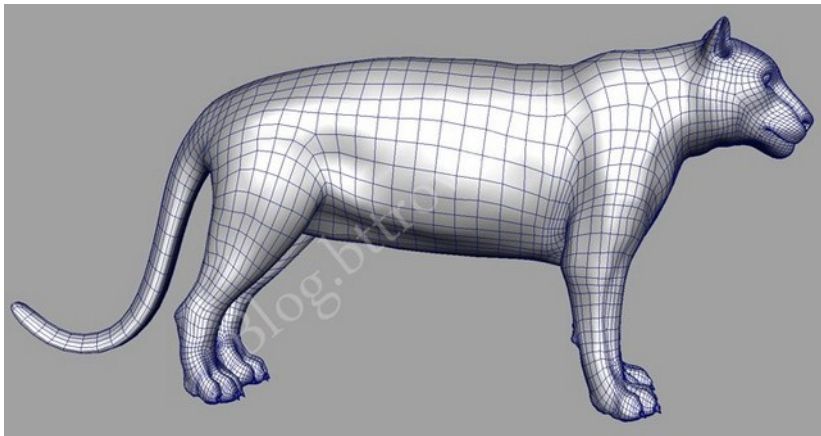
UV mapování textur - rozvinutí

Do roviny $R(u, v)$ textury pak nanese / promítneme / vytvoříme / namalujeme... vlastní podobu (vzor) textury



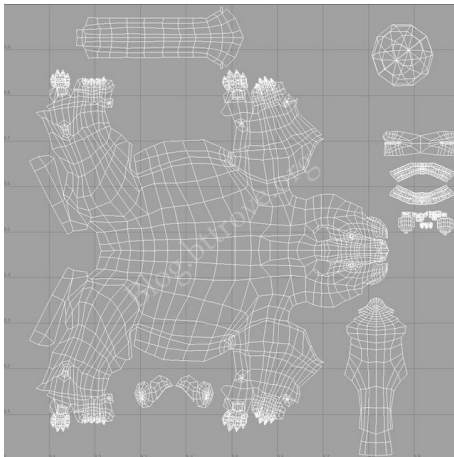
UV mapování textur - příklad s tygrem

Příklad tvorby a texturování realistického modelu tygra... :-)



UV mapování textur - příklad s tygrem

Hrozí, že náš tygr při texturování pokouše, proto ho opatrně svlékneme z kůže, kterou rozložíme do roviny...



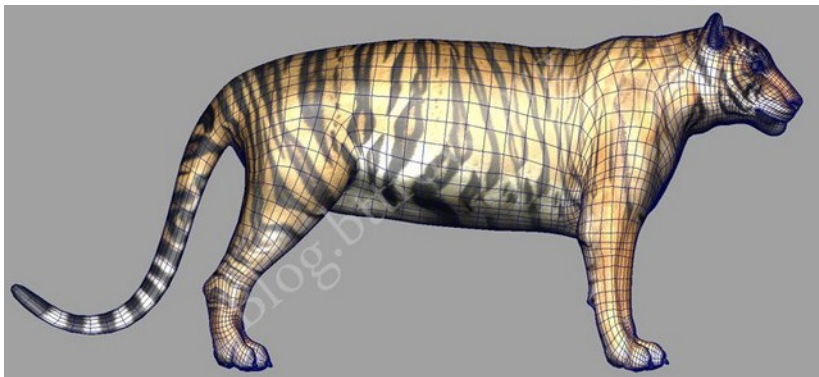
UV mapování textur - příklad s tygrem

Na rozvinutou kůži teď můžeme "namalovat" jednotlivé textury...



UV mapování textur - příklad s tygrem

Když teď oblékneme tygra zpátky do kůže dostaneme ...



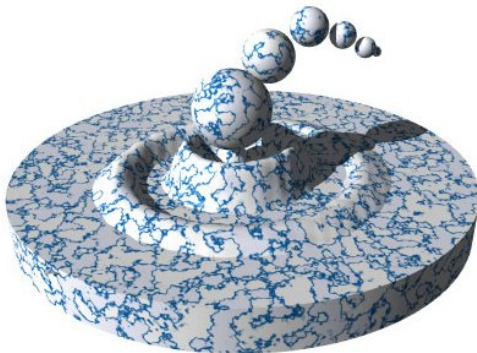
UV mapování textur - příklad s tygrem

Po doladění modelu a textur můžeme získat...

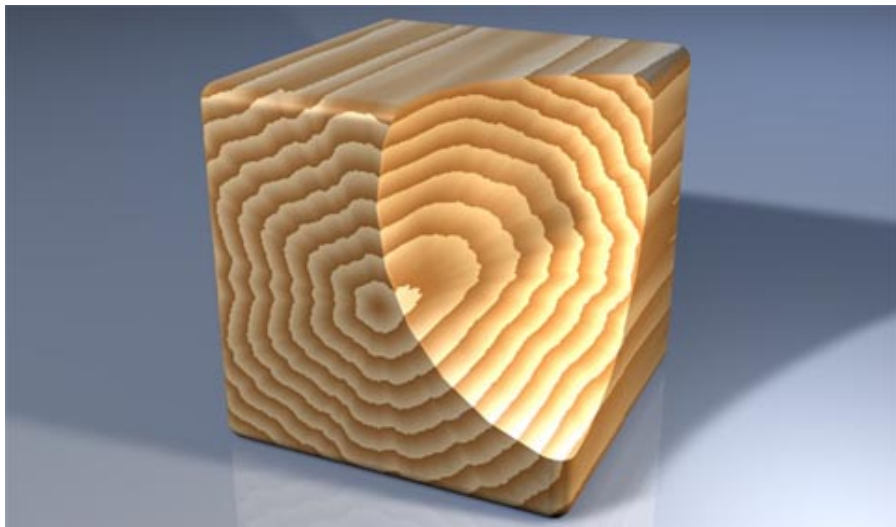


Mapování 3D textur

- Prosté mapování 3D prostoru textury na 3D prostor tělesa pomocí transformací(posun, rotace, měřítko)
- Není problém s navazováním textur, prostorové struktury
- Větší datová náročnost 3D textur nebo procedurální popis



Navazování 3D textur



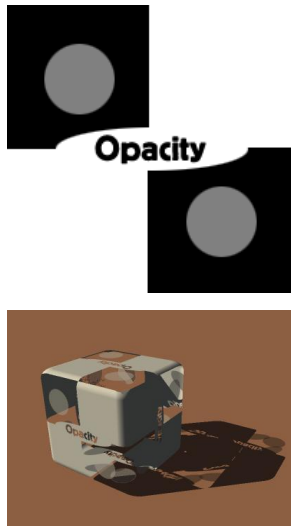
Navazování 3D textur



Texturou nanášené informace

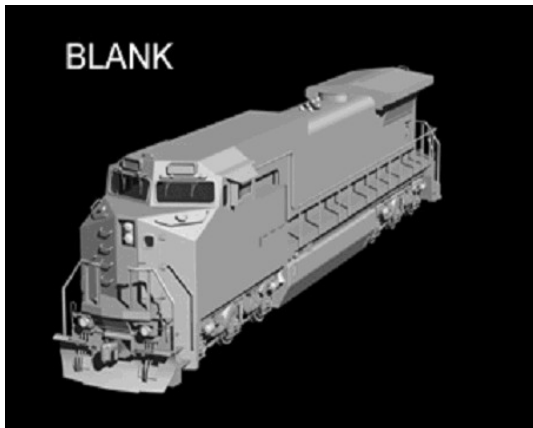
Nanášené informace

- Barva povrchu
- Průhlednost
- Optické vlastnosti povrchu (difuze, odrazivost)
- Modifikace normály
- Modifikace geometrie
- Zrcadlení okolí
- Osvětlení
- atd.



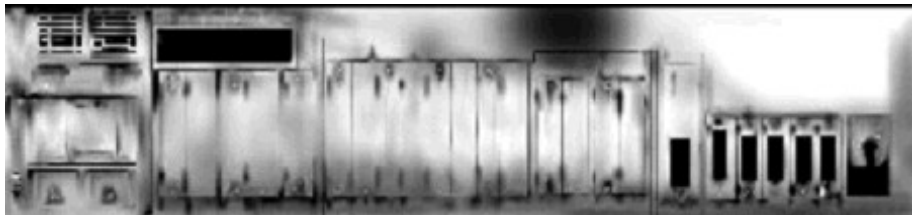
Optické vlastnosti povrchu

- Texturou lokálně měníme optické vlastnosti povrchu
- Měníme koeficienty difuze, odrazivosti, ostrosti odrazu atd.



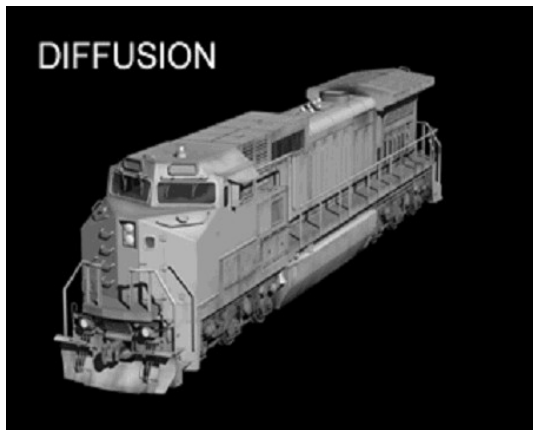
Optické vlastnosti povrchu

- Ušpiněný povrch je matný povrch ...
- Matný povrch je difuzní povrch ...
- Lokální změnou koeficientu difuze vytvoříme efekt ušpinění



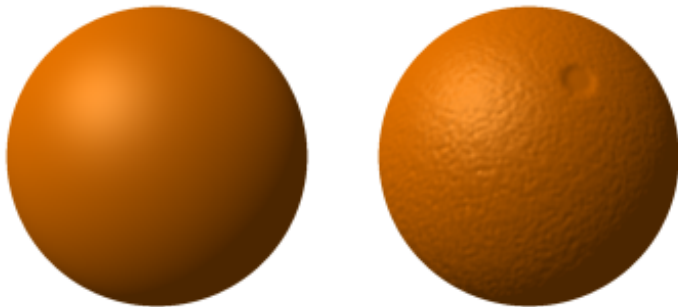
Optické vlastnosti povrchu

Umaž si svou lokomotivu ... :-)



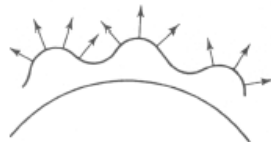
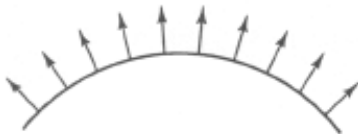
Bump mapping

- Efekt plastického, hrbolatého povrchu
- Nemění se skutečně geometrie objektu
- Vhodné pro simulaci relativně drobných nerovností povrchu



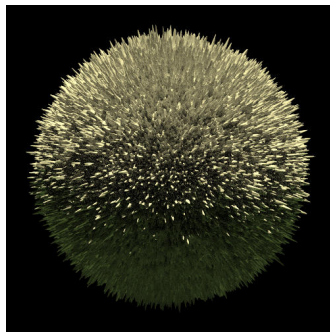
Bump mapping

- Podle gradientu v textuře se modifikují pouze normály povrchu při výpočtu osvětlovacího modelu
- Obrysy objektu jsou proto stále hladké



Displacement mapping

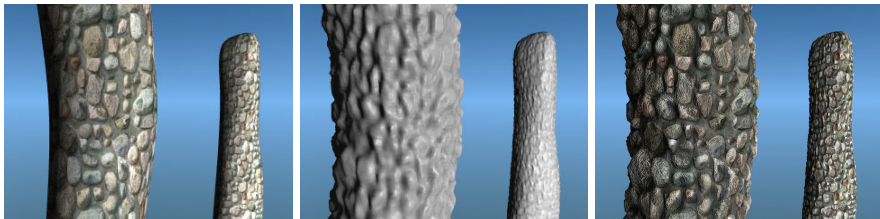
- Efekt plastického, hrbolatého povrchu
- Skutečně se mění geometrie objektu, posouvají se vrcholy
- Vhodné pro simulaci relativně větších nerovností povrchu
- Podle gradientu v textuře se posouvají pozice bodů povrchu, ve směru normály
- Obrysy objektů jsou změněny



Bump X Displacement mapping



Komplexní aplikace Displacement mappingu



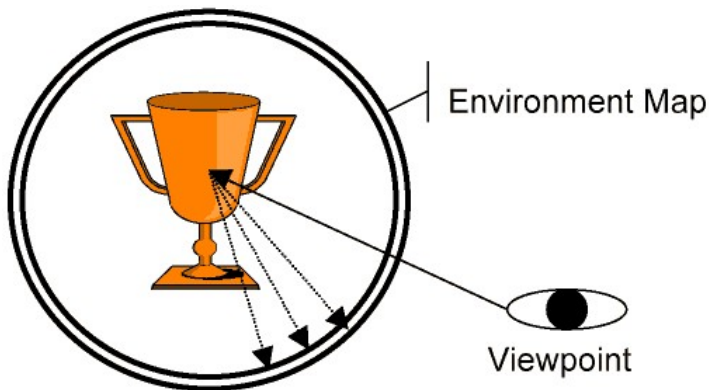
Environmental mapping

Efekt zrcadlového odrazu okolí na hladkém povrchu objektu, pokud to nepodporuje zobrazovací metoda.



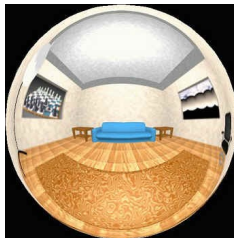
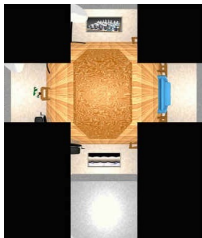
Environmental mapping

Aplikace promítání textury z vhodného obalového tělesa.



Environmental mapping

Speciálně připravená (deformovaná) textura okolí pro realistický efekt.

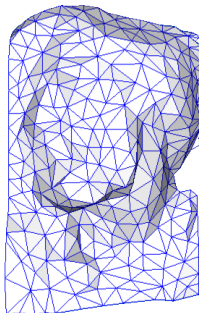


Normal mapping

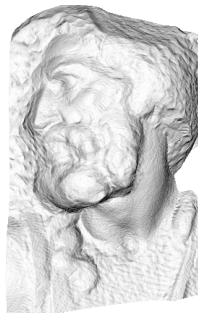
- Pro 3D zobrazení jsou nezbytné normály povrchu
- Zjednodušením povrchu ztrácíme také normály, přechody se lineárně interpolují
- Chybějící normály však můžeme doplnit normálovou texturou



original mesh
4M triangles

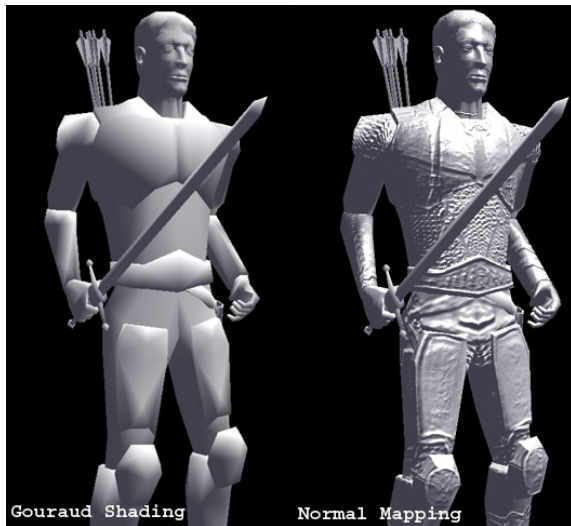


simplified mesh
500 triangles

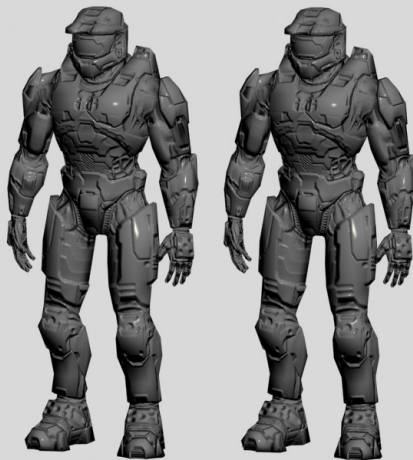


simplified mesh
and normal mapping
500 triangles

Normal mapping



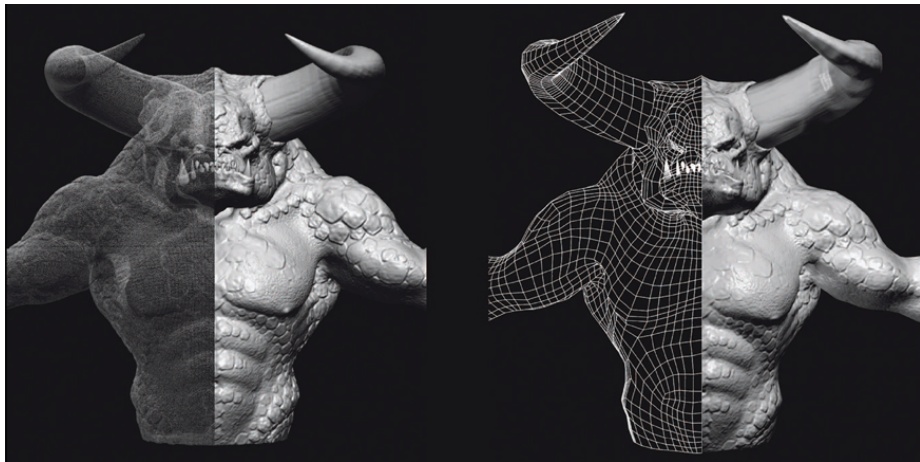
Normal mapping



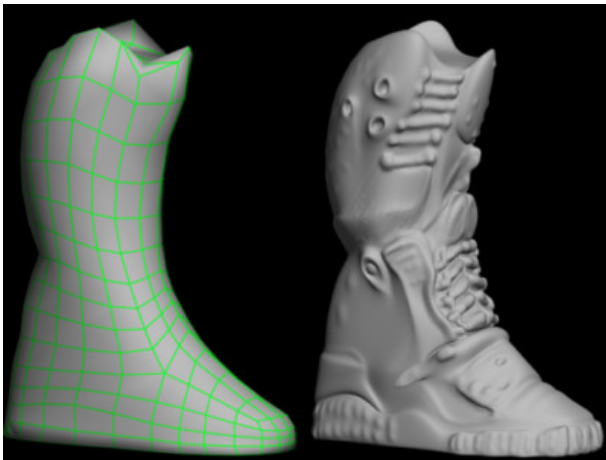
Converted Normal

Original Normal

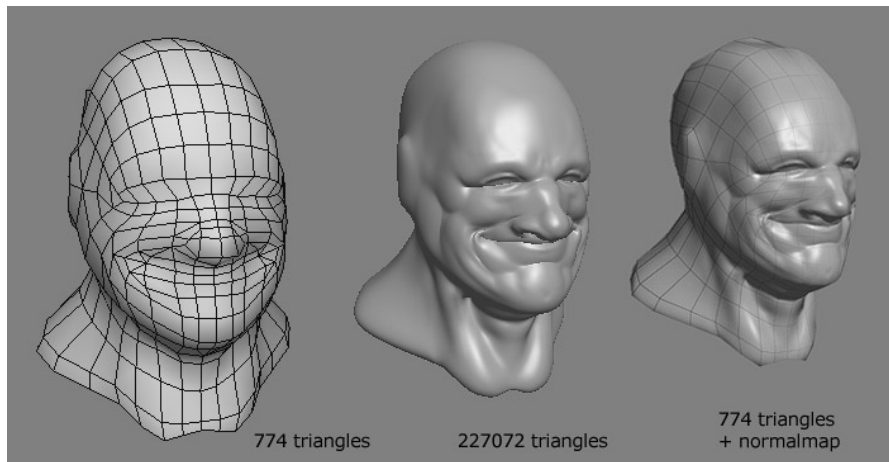
Normal mapping



Normal mapping



Normal mapping



Light mapping

- Komplexní řešení osvětlení scény je náročné a pomalé
- Pro realistické realtime zobrazení statické scény si však můžeme osvětlení předpočítat
- Osvětlení scény je pak doplněno do scény světelnou texturou



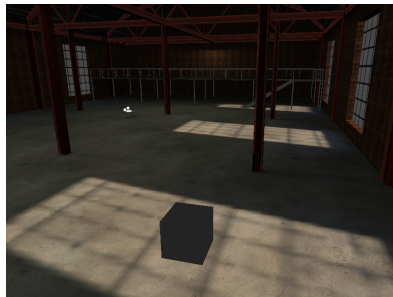
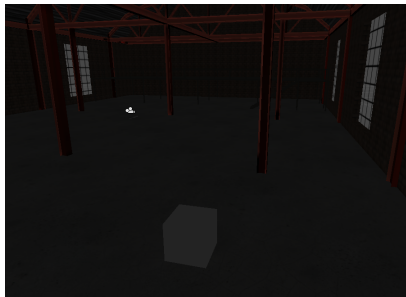
Light mapping



Light mapping

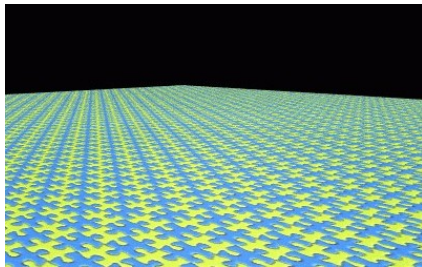
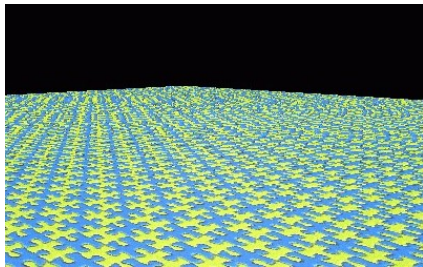


Light mapping



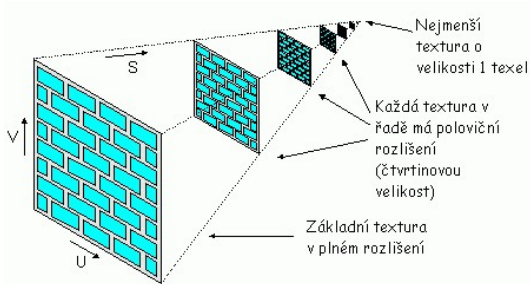
MIP mapping

- Vznik artefaktů (aliasů) při zobrazování texturovaných objektů
- Dochází k interferencím rozlišení textury a jejího vzorkování při zobrazení texturovaného objektu
- Artefakty se projeví při perspektivním zobrazení při změně rozměrů objektu, podle vzdálenosti od kamery



MIP mapping

- Jedním z řešení aliasu textur je použití jedné textury různých rozlišení podle vzdálenosti od kamery
- Nedochozí tak k interferencím rozlišení textury a zobrazení
- Problém se vyřeší vhodnou filtrací při zmenšování textury
- Zároveň dochází ke zrychlení zobrazení použitím menších textur



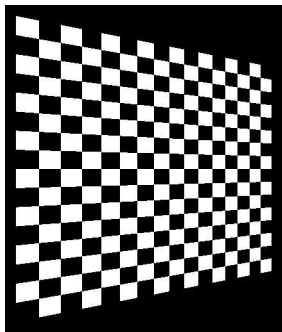
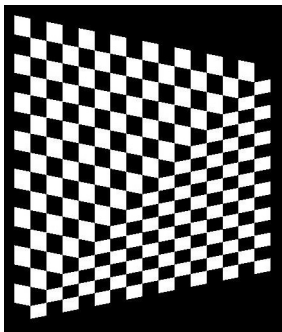
MIP mapping

- Kompletní hierarchie textur je uložena po RGB kanálech do jedné matice dvojnásobného rozlišení
- MIP (Multum in Parvo) – mnoha v malém



Perspektivní korekce textur

- Při zobrazení velkých texturovaných polygonů v perspektivě dochází ke zkreslení textur, prohnutí textury
- Problém vzniká lineární interpolací texturovacích souřadnic a nelineárním zkreslením vzdáleností v perspektivě



Perspektivní korekce textur

- Jedním řešením je rozdělení polygonů na menší části, kdy se již chyba tolik neprojeví
- Druhým řešením je hyperbolická perspektivní korekce texturovacích souřadnic vrcholů polygonu

