

# Számítógépes Grafika

Hajder Levente

hajder@inf.elte.hu

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Informatikai Kar

2017/2018. I. félév

# Tartalom

- 1 A fény és anyagok
  - Anyagok
  - Fényforrás modellek
  - Fény-felület kölcsönhatás
  - Fényvisszaverési modellek
  - Buckatérkép
  - Színmodellek

# A fény és anyagok

- A fény elektromágneses hullám
- Az anyagokat olyan színűnek látjuk, amilyen színű fényt visszavernek
  - A visszaverés egyaránt függ az anyag és a megvilágítás "színétől"
- Különböző anyagok különböző módon viselkednek a fénnel szemben

# Tartalom

## 1 A fény és anyagok

- Anyagok
- Fényforrás modellek
- Fény-felület kölcsönhatás
- Fényvisszaverési modellek
- Buckatérkép
- Színmodellek

# Felületek osztályozása

- Emittáló felületek
  - Fénykibocsátó felületek emittáló anyagnak hívjuk
  - Ezeket hívjuk fényforrásoknak, ilyen a Nap, a lámpa stb.
- Diffúz felületek
  - A diffúz vagy matt felületeket minden irányból nézve ugyanolyan színűnek látjuk
  - Ilyen például a frissen meszelt fal vagy a homok stb.
  - A diffúz felület a beérkező fénysugár energiáját minden irányban azonos intenzitással veri vissza

# Felületek osztályozása

- Spekuláris felületek
  - Tükröző felületek, az ideális fénytörés irányába verik vissza nagyrészt a beérkező fényt
- Átlátszó felületek
  - Ezeken a felületeken áthalad a fény, a beérkező fénysugár energiájának java részét áttereszti

# Felületek osztályozása

- Áttetsző felületek
  - Ezek a beérkező fény nagy részét magukba engedik, de csak kis része lép ki az anyagból
  - Pl. tej, bőr
- Anizotróp felületek
  - A felületet a tengelye körül forgatva, a beeső és visszaverődő szögeket tartva is változik a színe
  - Mint például a CD

# Tartalom

- 1 A fény és anyagok
  - Anyagok
  - Fényforrás modellek
  - Any-felület kölcsönhatás
  - Fényvisszaverési modellek
  - Buckatérkép
  - Színmodellek



# Fényforrás modellek

## Fény

### A fény elektromágneses hullám

#### Absztrakt fényforrások

- Ambiens fény
- Irány fényforrás
- Pont fényforrás
- Reflektorfény (spotlight)

# Fényforrás modellek

## Fény

A fény elektromágneses hullám

## Absztrakt fényforrások

- Ambiens fény
- Irány fényforrás
- Pont fényforrás
- Reflektorfény (spotlight)

# Fényforrás modellek

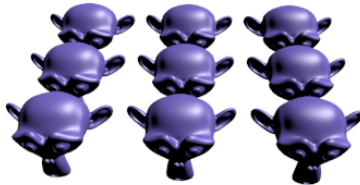
## Ambiens fény

- Fénysugarak minden irányba egyenlő mértékben világítanak
- Távolság az intenzitást nem befolyásolja

# Fényforrás modellek

## Írány fényforrás

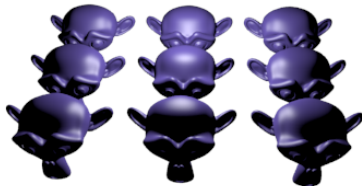
- Fénysugarak párhuzamosak
- Távolsággal a fény intenzitása nem csökken



# Fényforrás modellek

## Pont fényforrás

- Egy adott pontból indulnak ki a fénysugarak
- Fizika: a távolság négyzetével fordítottan arányos a fény intenzitás
- Szimulációkban a fakulást (falloff) meg lehet adni skaláris, lineáris, kvadratik tagokkal



# Fényforrás modellek

## Reflektorfény (spotlight)

- Egy adott pontból indulnak ki a fénysugarak
- A fénnyalábot egy kör alapú végtelen gúla határozza meg
- A távolság négyzetével fordítottan arányos a fény intenzitás (valóságban)



# Tartalom

- 1 A fény és anyagok
  - Anyagok
  - Fényforrás modellek
  - Fény-felület kölcsönhatás**
  - Fényvisszaverési modellek
  - Buckatérkép
  - Színmodellek

# BRDF

- Legyen  $L^{in}$  egy adott irányból a felület egy pontjára beérkező,  $L$  pedig az onnan visszavert fény intenzitása
- Jelölje  $\mathbf{l}$  a fényforrás felé mutató egységvektort,  $\mathbf{v}$  a nézőpont felé mutató egységvektort,  $\mathbf{n}$  pedig a felületi normálist az adott pontban. A  $\theta$  legyen az  $\mathbf{n}$  és  $\mathbf{l}$  által bezárt szög
- Ekkor a *kétirányú visszaverődéses eloszlási függvény*, BRDF (bi-directional reflection distribution function) a következő:

$$f_r(\mathbf{l}, \mathbf{v}) = \frac{L}{L^{in} \cos \theta}$$



# Jelölések

- $\mathbf{v} := \omega$  a nézeti irány, azaz a szem/kamera fele mutató vektor
- $\mathbf{l} := -\omega'$  a megvilágító, a fényt "adó" pont fele mutató vektor, ekkor a beesési irány  $-\mathbf{l}$  ( $= \omega'$ )
- $\mathbf{n}$  a felületi normális
- $\mathbf{v}, \mathbf{l}, \mathbf{n}$  egységvektorok
- $\theta$  a  $\mathbf{l}$  és a  $\mathbf{n}$  által bezárt szög

# Helmholtz-törvény

- Helmholtz-féle szimmetria: a fénysugár megfordítható
- Azaz:  $f_r(\omega', \omega) = f_r(\omega, \omega')$
- Ez két dologért is jó:
  - Garantálja, hogy végsősoron a radiancia csökken.
  - Nézzhetjük "visszafelé" a sugarakat.

# Ideális visszaverődés

## Visszaverődési törvény

A beesési irány ( $-\mathbf{l}$ ), a felületi normális ( $\mathbf{n}$ ), és a kilépési irány ( $\mathbf{r}$ ) egy síkban van, valamint a beesési szög ( $\theta$ ) megegyezik a visszaverődési szöggel ( $\theta'$ ).

# Ideális visszaverődés

- Az ideális tükör csak az  $\mathbf{r}$  tükörirányba ver vissza.

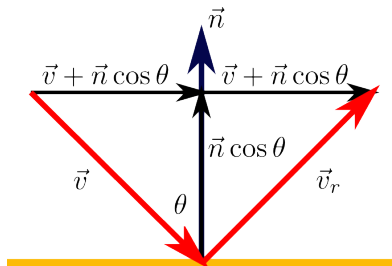


$$f_r(\mathbf{x}, \mathbf{v}, \mathbf{l}) = k_r \frac{\delta(\mathbf{r} - \mathbf{v})}{\cos \theta}$$

- $\delta$  a *Dirac-delta* függvény, ami egy általánosított függvény, amely minden nemnulla paraméterre nullát ad, de a valós számok felett vett integrálja 1.
- A  $k_r$  visszaverődési együttható a *Fresnel-együttható*. Ez függ az anyag törésmutatójából, és az elektromos vezetési képességéből származik.
- A *Fresnel-együttható* a visszavert és beeső energia hányadát fejezi ki.

## Visszaverődési irány

- Általános esetben, egy  $\mathbf{v}$  beeső vektorból a visszaverődési- vagy tükörirány:
- $\mathbf{v}_r = \mathbf{v} - 2\mathbf{n}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{v})$
- Mivel  $\cos \theta = -\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}$
- Mindez csak akkor igaz, ha  $\mathbf{n}$  és  $\mathbf{v}$  vektorok egységnyi hosszúak!
- Általános esetben:  
 $\mathbf{v}_r = \mathbf{v} + 2\mathbf{n} \cos \theta$



# Ideális törés

## Snellius-Descartes törvény

A beesési irány ( $-\mathbf{l}$ ), a felületi normális ( $\mathbf{n}$ ), és a törési irány ( $\mathbf{t}$ ) egy síkban van, valamint  $\eta = \frac{\sin \theta}{\sin \theta'}$ , ahol  $\eta$  az anyagok relatív törésmutatója.

## Néhány törésmutató

- Vákuum 1.0
- Levegő 1.0003
- Víz 1.3333
- Üveg 1.5
- Gyémánt 2.417

# Ideális törés

## Snellius-Descartes törvény

A beesési irány ( $-\mathbf{l}$ ), a felületi normális ( $\mathbf{n}$ ), és a törési irány ( $\mathbf{t}$ ) egy síkban van, valamint  $\eta = \frac{\sin \theta}{\sin \theta'}$ , ahol  $\eta$  az anyagok relatív törésmutatója.

## Néhány törésmutató

- Vákuum 1.0
- Levegő 1.0003
- Víz 1.3333
- Üveg 1.5
- Gyémánt 2.417

# Ideális törés

- Jelölje  $\mathbf{t}$  az ideális törési irányt.
- Az ideális tükrökhöz hasonlóan kapjuk:

$$f_r(\mathbf{x}, \mathbf{v}, \mathbf{l}) = k_t \frac{\delta(\mathbf{t} - \mathbf{v})}{\cos \theta}$$



# Ideális törés

- Jelölje  $\mathbf{t}$  az ideális törési irányt.
- Az ideális tükörhöz hasonlóan kapjuk:

$$f_r(\mathbf{x}, \mathbf{v}, \mathbf{l}) = k_t \frac{\delta(\mathbf{t} - \mathbf{v})}{\cos \theta}$$

# Törési irány

- Snellius-Descartes

törvény:  $\eta = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$

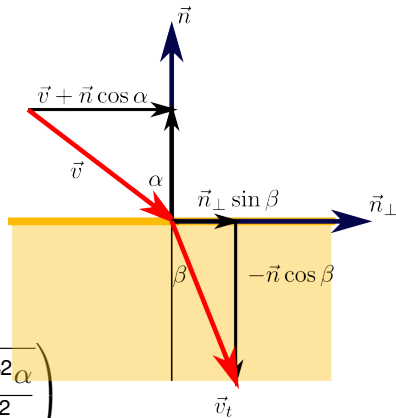
- $\mathbf{v}_t = \mathbf{n}_\perp \sin \beta - \mathbf{n} \cos \beta$

- $\mathbf{n}_\perp = \frac{\mathbf{v} + \mathbf{n} \cos \alpha}{\sin \alpha}$

- $\mathbf{v}_t = \frac{\mathbf{v}}{\eta} + \mathbf{n} \left( \frac{\cos \alpha}{\eta} - \cos \beta \right)$

- $\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\eta^2}}$

$$\mathbf{v}_t = \frac{\mathbf{v}}{\eta} + \mathbf{n} \left( \frac{\cos \alpha}{\eta} - \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\eta^2}} \right)$$



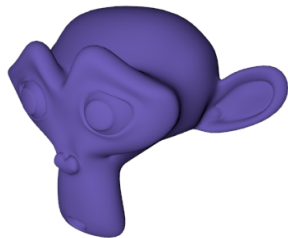
# Tartalom

- 1 **A fény és anyagok**
  - Anyagok
  - Fényforrás modellek
  - Fény-felület kölcsönhatás
  - **Fényvisszaverési modellek**
  - Buckatérkép
  - Színmodellek

# Lambert-törvény

- Optikailag durva, *diffúz* felületek leírására jó.
- Feltételezés: a visszavert fénymennyiség nem függ a nézeti iránytól.
- Helmholtz-törvényt miatt akkor a bejövő iránytól sem függhet, azaz konstans:

$$f_r(\mathbf{x}, \mathbf{v}, \mathbf{l}) = k_d$$



## Spekuláris visszaverődés - Phong modell

- A tükörirányban intenzíven visszaverő, de attól távolodva gyorsan elhaló "csillanás" adható meg vele.
- Legyen  $\phi$  az  $\mathbf{r}$  tükörirány és a  $\mathbf{v}$  nézeti irány által bezárt szög.
- Ekkor  $\cos \phi = \mathbf{r} \cdot \mathbf{v}$
- Olyan függvényt keresünk, ami  $\phi = 0$ -ra nagy, de gyorsan elhal.
- 

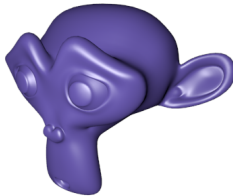
$$f_r(\mathbf{x}, \mathbf{v}, \mathbf{l}) = k_s \frac{\cos^n \phi}{\cos \theta}$$

Nem szimmetrikus!

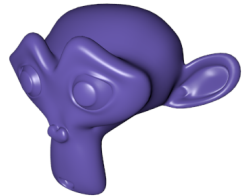
# Spekuláris visszaverődés - Phong modell



$n = 5$



$n = 25$



$n = 50$

## Spekuláris visszaverődés - Phong-Blinn modell

- Legyen  $\mathbf{h}$  a nézeti irány és a megvilágító pont fele mutató vektorok felezővektora.



$$\mathbf{h} = \frac{\mathbf{v} + \mathbf{l}}{\|\mathbf{v} + \mathbf{l}\|}$$

- Legyen  $\delta$  a  $\mathbf{h}$  és az  $\mathbf{n}$  normálvektor által bezárt szög.
- Ekkor  $\cos \delta = \mathbf{h} \cdot \mathbf{n}$



$$f_r(\mathbf{x}, \mathbf{v}, \mathbf{l}) = k_s \frac{\cos^n \delta}{\cos \theta}$$

- Nagyon hasonló az egyszerű Phong modellhez, kicsit gyorsabban számítható.

# Spektrális képszintézis

- Különböző hullámhosszú fény máshogy viselkedik a felületeken.
- Színérzet a látható tartományban levő elektromágneses hullámok integrálja a három érzékelőnek megfelelően.
- Fényjelenségeket minden hullámhosszon külön kellene nézni.
  - Rendkívül számításigényes.
  - R,G,B komponensekkel jól közelíthetjük.

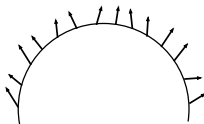


# Tartalom

- 1 A fény és anyagok
  - Anyagok
  - Fényforrás modellek
  - Fény-felület kölcsönhatás
  - Fényvisszaverési modellek
  - Buckatérkép**
  - Színmodellek

# Érdes felületek képzése

- Érdes felületek rengeteg poligonnal (háromszöghálóval) képezhetők.
  - Modell bonyolult, nehéz módosítani.
  - Renderelést lassítja.
- Trükk: egyszerű modellhez finom sűrű normálvektormezőt adunk meg

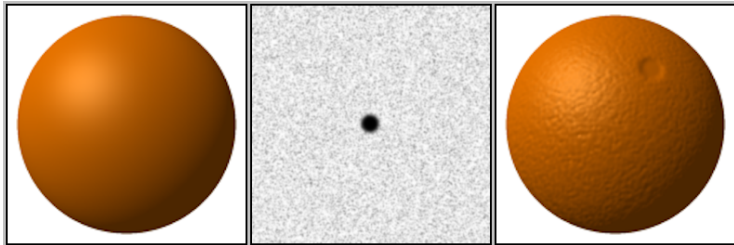


# Érdes felületek képzése

- Durva pozíció + finom normálvektorok jó közelítés, ha
  - a felület nagyjából folytonos
  - mélységingadozás kicsi a felületen
- Mélység megadás képként: buckatérkép (bump map)
  - Textúraleképzéshez hasonlóan, képként szokás megadni
  - Buckatérkép leírhatja a mélységváltozást vagy a normálvektorokat (3D: 3 színtkomponens).

## Esettanulmány: narancs

- Példa (eredeti modell, buckatérkép, új modell):



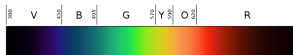
# Tartalom

## 1 A fény és anyagok

- Anyagok
- Fényforrás modellek
- Fény-felület kölcsönhatás
- Fényvisszaverési modellek
- Buckatérkép
- Színmodellek

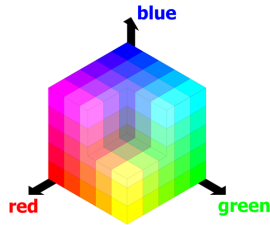
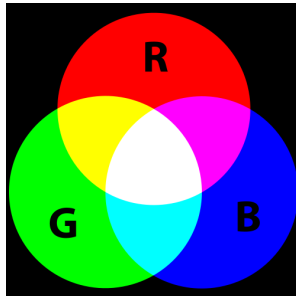
# Színmodellek

- Fény: elektromágneses hullám
- Emberi szem által látható fény: alapszínek keveréséből
- Alapszínek: szivárvány színei



# Színmodellek

- Monitor színmodellje: RGB
- Majdnem az összes látható szín kikeverhető



# Színmodellek

- "Emberibb" színmodell: HSL (HSB,HSV)
- Három komponens: hue (színárnyalat), saturation (telítettség), lightness (fényesség)

