



Bildsyntes, vt2009

Lars Kjelldahl
En del bilder lånad av Gustav Taxén

D. P. Greenberg, A framework for realistic image synthesis,
Communications of the ACM, 42(8), 1999, 44-53.

Bildsyntesens mål

- **Skapa bilder som inte går att särskilja från fotografier (fotorealism)**
- Den vanliga metoden är att simulera de steg som ingår i processen:
 - Energi från ljuskällor sänds ut och påverkas av dimmor etc
 - Ljuset reflekteras av ytor.
 - Den reflekterade energin når en sensor (t.ex. simulerad kamerafilm).
 - Sensorns respons visualiseras (t.ex. på en datorskärm).

Realism

- Inom film, konst, design och andra "skapande" domäner är realism bara en faktor av många.
- Att skapa en realistisk bild är i sig sällan slutmålet, man pratar ibland om en känsla, "lumumma" och "takete"
- I princip inget av det vi ser eller hör i en Hollywoodfilm, t.ex., är verkligt: ljussättning, dubbning, kameravinklar, effekter - allt är tillrättat i förväg!
- Det handlar snarare om **kommunikation** - hur förmedlar jag tydligast det jag vill förmedla?

Realism och hypermediering

- **Immediacy** = style of visual representation whose goal is to make the viewer forget the presence of the medium.
- **Hypermediacy** = style of visual representation whose goal is to remind the viewer of the medium.



Realism och specialeffekter

- Specialeffekter inom film har funnits sedan mediet uppfanns.
- "Publikresponsen" på en effekt är alltid relativ - en effekt som var cool för tio år sedan är "gammal" idag.
- Publiken måste "tro" på det den ser.
- Skickliga regissörer använder olika knep (kameraflyttningar, klipp, ljud, etc.) för att öka trovärdigheten.

Realism och specialeffekter

- Samtidigt är filmeffektens syfte också att visa det som är omöjligt att se i verkligheten.
- Den tekniska virtuositeten hos effektmakarna skapar intresse och beundran, effekterna drar uppmärksamheten till sig och blir ibland nästan hypermedierad.

Olika sorters realism

- Form
- Rörelse
- Ljussättning
- Ytor / reflektion
- Textur / detaljer
- Atmosfär
- ...

Realism och "artefakter"

- Inte sällan används särskilda effekter för att få resultatet att se "mindre perfekt" ut!
- Suddighet, grynighet, oskärpa, darr på kameran, "slarviga" kompositioner, "handkamera", ...
- Konventioner och utseende från filmmediet.



Jurassic Park, Steven Spielberg, Universal Pictures, 1993.



King Kong 1933

King Kong 2006

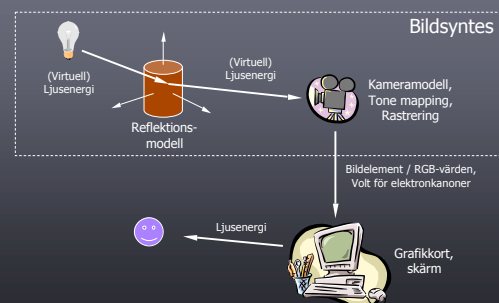
Ingen av dem är realistisk!



Är King Kong en **bättre film** än Wallace & Gromit bara för att King Kong är mer realistiskt representerad?

Det kanske handlar om hur effektivt representationen **kommunicerar** de värden som är viktiga?

Översikt



Ljusmodeller

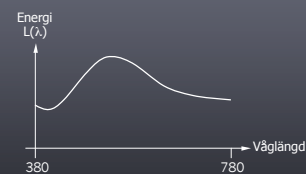
Synligt ljus är elektromagnetisk strålning inom våglängderna 380-780 nanometer.

Man kan beskriva ljus på kvantnivå eller som vågor (Maxwells ekvationer) eller som geometrisk optik (ljus färdas längs med rätta linjer i genomskinliga material).

Man brukar använda geometrisk optik i bildsyntes. Ofta förutsätter man också att det är vakuum mellan modellerna i scenen.

Ljusspektra

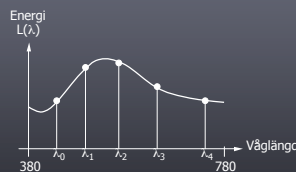
Diagram som visar energiflöde genom en viss sensor som funktion av våglängd.



Våra ögon tar emot ljusspektra och skapar synintryck.

Simulerat ljusspektra till datorskärm?

Ett riktigt ljusspektra innehåller oändligt med våglängder. Hur representerar vi det i en dator?



Ett sätt är att **sampla** spekrat. Det finns en tumregel som säger att 25-40 samplings räcker.

Simulerat ljusspektra till datorskärm?

Man kan också använda ett antal **basfunktioner**:

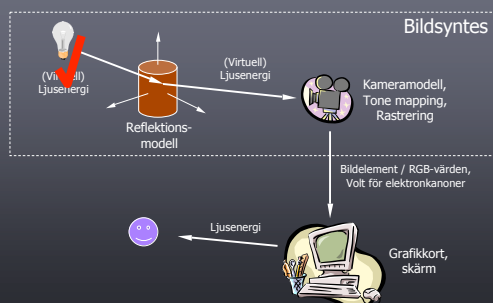
$$L(\lambda) \approx c_0\varphi_0(\lambda) + c_1\varphi_1(\lambda) + \dots + c_n\varphi_n(\lambda)$$

Här är φ -funktionerna valda på förhand och konstanterna $c_0, \dots, c_n$ är de man arbetar med.

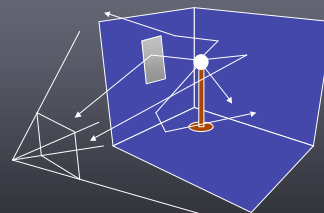
Man kan visa att c:a 5 termer ger bra resultat, om man har valt bra basfunktioner.

Linear Color Representations for Full Spectral Rendering
M. S. Peercy, SIGGRAPH 1993.

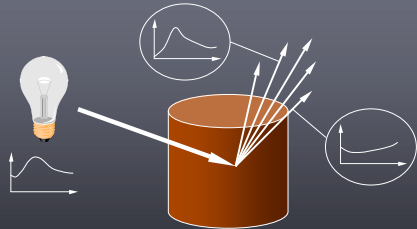
Översikt



Ljusets interaktion med material



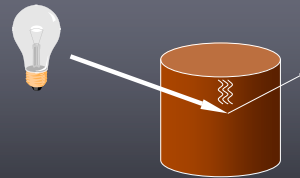
Ljusets interaktion med material



Absorption, reflektion, transmission, spridning.

Reflekerat ljus $\leq$ Anlödande ljus

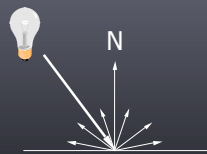
Absorption



En del av det ljus som anlöder till ytan övergår i värme.
(Ex: svart eller vit T-shirt i sommarsolen...)

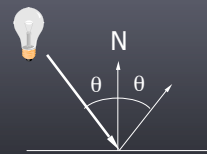
Perfekt reflektion: Matt reflektion

Samma mängd ljus reflekteras i alla riktningar:

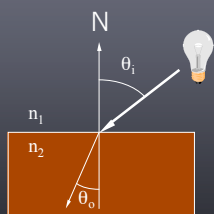


Perfekt reflektion: Spegelreflektion

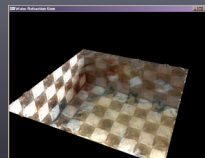
Allt ljus reflekteras i speglingsriktningen:



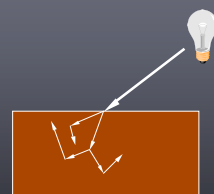
Perfekt transmission: Descartes/Snells lag



$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_o$$

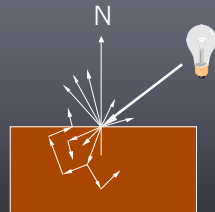


Spridning (scattering)

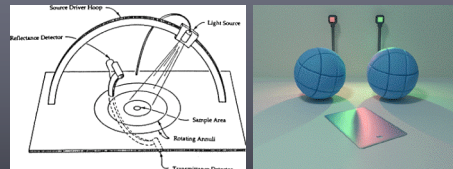


Ljus sprids och studsar på små partiklar inne i materialet.

Riktiga material



Reflektionsmodeller



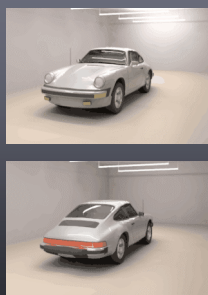
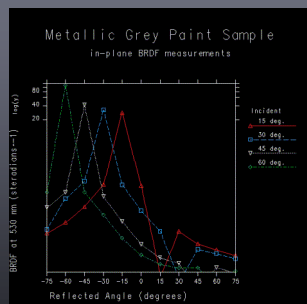
Mätning

Matematisk modell

<http://www.cs.princeton.edu/~smr/cs348c-97/surveypaper.html>

Ashikhmin & Shirley, An Anisotropic Phong BRDF Model,
<http://citeseer.ifi.unizh.ch/ashikhmin00anisotropic.html>

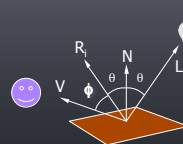
Mätning



<http://math.nist.gov/~FHunt/brdf/>

Phongreflektion (Phong illumination model)

$$\text{Reflektat i rikt. } V = \text{Allmän-} + \sum_i \text{Färg hos} \cdot (k_d \cdot (N \cdot L_i) + k_s \cdot (V \cdot R_i)^\alpha)$$



Diffus reflektion

$$I_d = k_d \cdot (N \cdot L_i) = k_d \cdot L_i \cdot \cos \theta$$

Spegelreflektion

$$I_s = k_s \cdot (V \cdot R_i)^\alpha = k_s \cdot L_i \cdot (\cos \phi)^\alpha$$

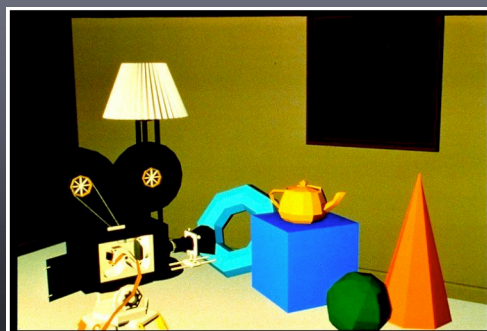
Ibland har man också en avståndsfaktor: $1/(a+b \cdot d+c \cdot d^2)$

Phong belysningsmodell och Phong shading är olika saker

Polygon shading:
buktiga objekt beskrivna av
små polygoner

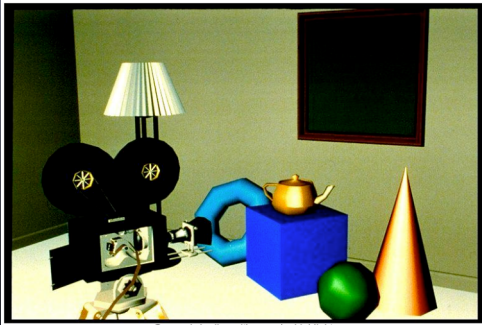
- Flat shading
- Gouraud shading
- Phong shading

Flat shading



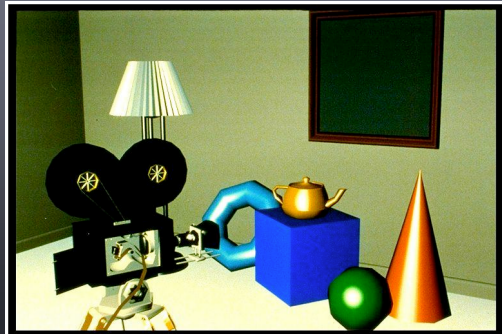
Faceted shading

Gouraud shading

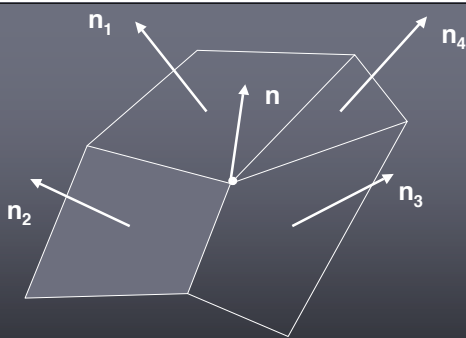


Gouraud shading with specular highlights

Phong shading

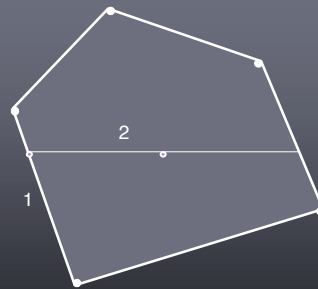


Phong shading



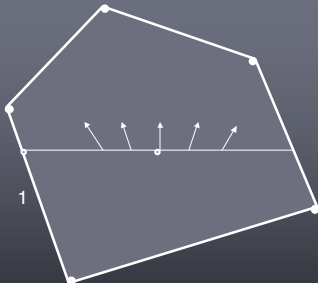
$n = \sum n_k / M$ (M=4 i detta exempel)
Räkna ut intensiteten i hörnpunkten
med Phongs belysningsmodell

Gouraud shading



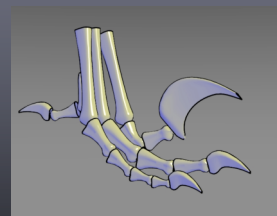
1. Interpolera intensiteter längs sidorna
2. Interpolera längs sveplinjerna

Phong shading



1. Interpolera normaler längs sidorna
2. Interpolera normaler längs sveplinjerna
3. Beräkna intensiteten i varje pixel med interpolerad normal

Nonphotorealistic rendering



A Non-Photorealistic Lighting Model for Automatic Technical Illustration
Gooch, Gooch, Shirley & Cohen, SIGGRAPH 2000

Nonphotorealistic rendering



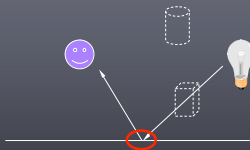
Real-Time Hatching
Praun, Hoppe, Webb, Finkelstein, SIGGRAPH 2001

Nonphotorealistic rendering

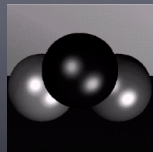


<http://www.atl.com/>

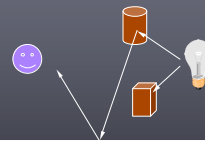
Lokala belysningsmodeller



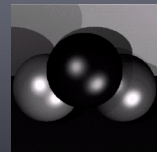
Tag endast hänsyn till
1. egenskaper hos ytan
2. egenskaper hos ljuskällan
3. position för betraktaren/kameran



Globala belysningsmodeller

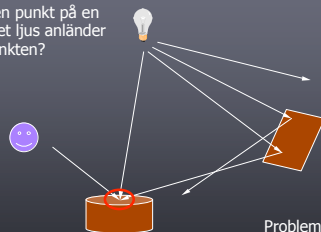


Tag också hänsyn till ljusets
interaktion med övriga
objekt i scenen:
skuggor och (eventuellt) indirekt ljus



Globala belysningsmodeller

Vi betraktar en punkt på en yta. Hur mycket ljus anländer till punkten?



Problem:
Oändligt många strålar att följa!
Många strålar når aldrig kameran!

Reciprocitet



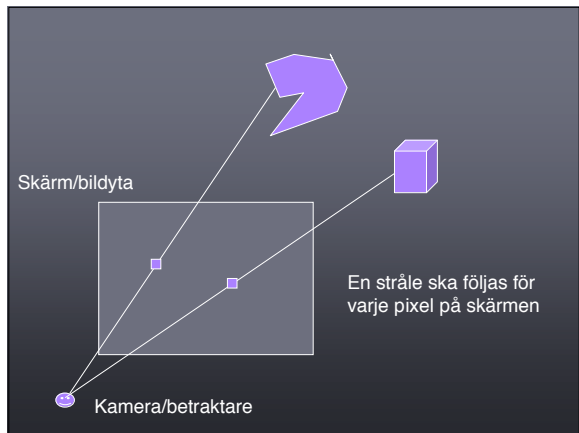
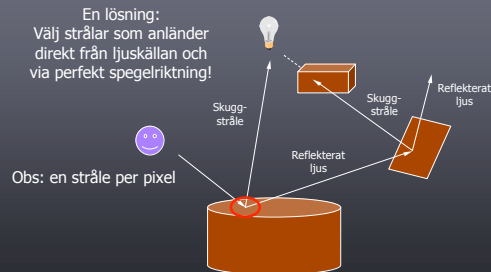
Man kan visa att ljusreflektion uppfyller **reciprocitet**:

$$R(\theta_{in} \rightarrow \theta_{out}) = R(\theta_{out} \rightarrow \theta_{in})$$

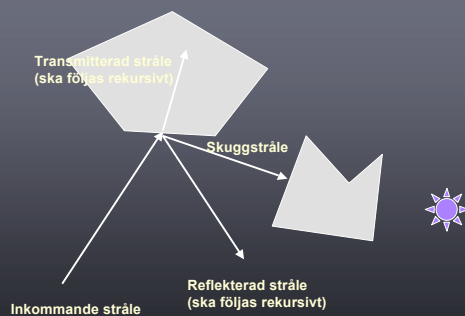
D.v.s. när vi simulerar kan vi följa ljusstrålarna
"bakåt" och "hämta" ljuset!

Exempel: Klassisk ray tracing (strålföljning)

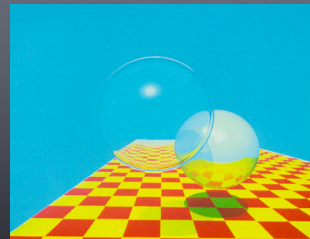
En lösning:
Välj strålar som anländer
direkt från ljuskällan och
via perfekt spegelriktning!



För varje stråle



Klassisk ray tracing



An Improved Illumination Model for Shaded Display
Turner Whitted, Communications of the ACM, Juni 1980.

```

Algorithm: classical recursive ray tracing
For each pixel in image
{
    Create ray from eyepoint passing through this pixel
    Initialize NearestT to INFINITY and NearestObject to NULL

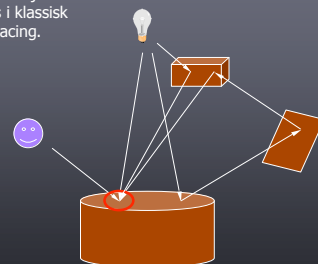
    For every object in scene
    {
        If ray intersects this object
        {
            If t of intersection is less than NearestT
            {
                Set NearestT to t of the intersection
                Set NearestObject to this object
            }
        }
    }

    If NearestObject is NULL
    {
        Fill this pixel with background color
    }
    Else
    {
        Shoot a ray to each light source to check if in shadow
        If surface is reflective, generate reflection ray: recurse
        If surface is transparent, generate refraction ray: recurse
        Use NearestObject and NearestT to compute shading function
        Fill this pixel with color result of shading function
    }
}
    
```

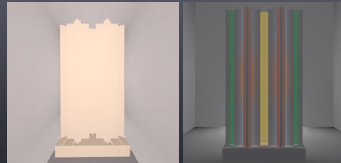
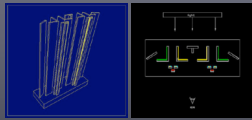
Källa: Wikipedia

Indirekt ljus

Många relevanta ljusstrålar
ignoreras i klassisk
ray tracing.



Klassisk ray tracing vs. radiosity (indirekt ljus)



<http://www.graphics.cornell.edu/online/tutorial/radiosity/>

Radiosity-metoden

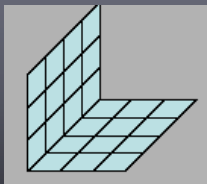
I radiosity antar vi att alla ytor strålar ut ljus, som vi summerar för att få totala intensiteten.

Radiosity gör det möjligt att få med saker som saknas i strålföljning såsom diffusa ytor.

Radiosity hanterar i sin grundform enbart diffus reflektion. Spegelreflektion får läggas till separat.

Belysning enligt radiosity beräknas oberoende av betraktelsepunkt. Det betyder att betraktaren kan gå runt i scenen utan att belysningsberäkningarna behöver göras om. Enbart borttagning av skymda ytor måste göras om.

Diskretisera scenen



Alla små ytor får stråla på varandra

Matrislösning

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_j B_j F_{j-i} (A_i/A_j)$$

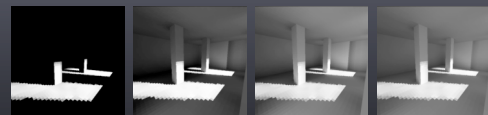
Total energi = emitterad energi + reflekterad energi

Ekvationen ovan ger ett diagonaltungt linjärt ekvationssystem, som kan lösas med iterativa metoder.



Cornell, 1988

Radiosity-metoden



<http://freespace.virgin.net/hugo.elias/radiosity/radiosity.htm>

Radiosity-metoden



<http://www.autodesk.com/>

Radiosity + ray tracing



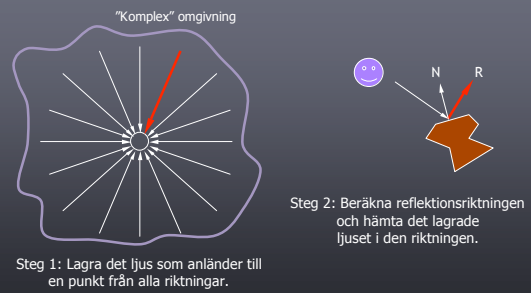
<http://www.autodesk.com/>

Environment mapping

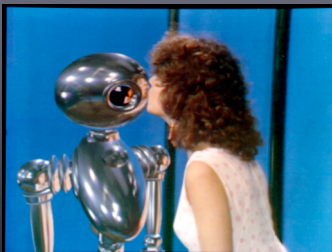


<http://www.sulaco.co.za/opengl5.htm>

Environment mapping

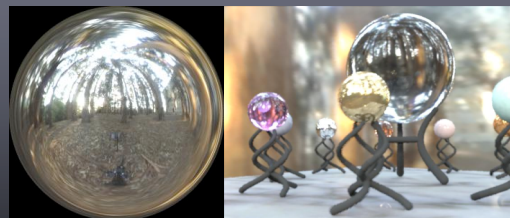


Environment mapping



Interface
Lance Williams m.fl., 1985.

Environment mapping



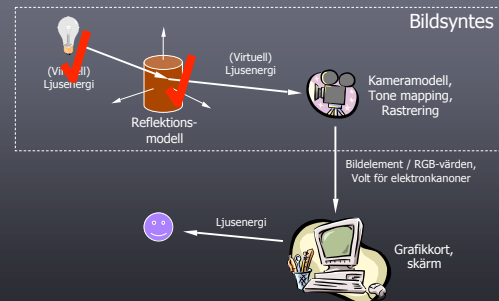
Rendering with Natural Light
Paul Debevec m.fl., 1998.

Environment mapping



Fiat Lux
Paul Debevec m.fl., 1999.

Översikt



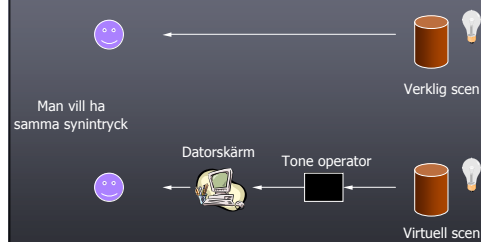
Tone Mapping

Våra ögon kan enkelt hantera miljöer där de mest ljusa partierna är 10000 gånger starkare än de svagaste partierna (och i vardagen utsätts de för variationer av ljusstyrkan på $10^{10}:1$)

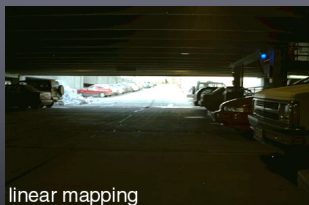
Men förhållandet mellan det svagaste och det starkaste ljus en datorskärm kan skicka ut är bara 100:1.

Hur kan vi "komprimera" ett 10000:1-intervall till ett 100:1-intervall?

Tone Mapping Operators



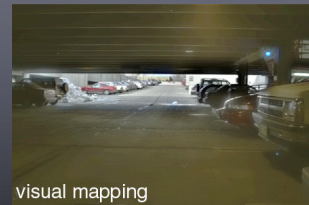
Linjär operator



linear mapping

Välj ett maxvärde m . Dividera alla ljusvärden med m .
Om resultatet är >1 , sätt till 1.

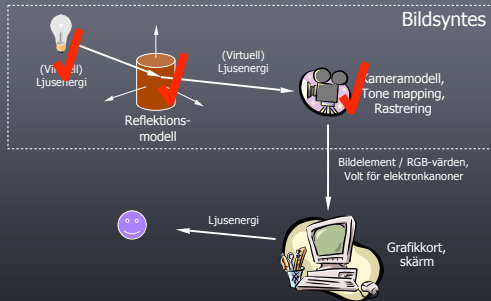
Visuella operatorer



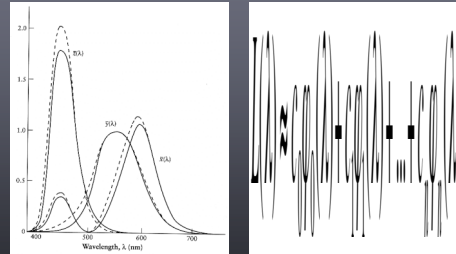
visual mapping

Icke-linjära operatorer baserade på perceptionspsykologi.

Översikt



Från spektra till RGB



Från spektra till RGB

Vet vi monitorfosforenas X-, Y-, och Z-värden kan vi lösa ett enkelt linjärt ekvationssystem för att få motsvarande R-, G- och B-värden. Notera att färgrymden för RGB-värdena inte säkert räcker för att avbilda XYZ-värdena (jfr CIE-diagrammet).

Om man inte vet värdena för sin monitor kan man använda "standardvärden" (men oftast finns de i monitorns manual).

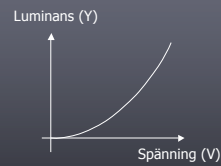
Standardkonvertering för HDTV:

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.240479 & -0.537150 & -0.498535 \\ -0.969256 & 1.875992 & 0.041556 \\ 0.055648 & -0.204043 & 1.057311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

Respons hos monitorfosforer

För vanliga datormonitorer gäller

$$Y \approx V^\gamma$$



Istället för att skicka V skickar vi $V^{(1/\gamma)}$. Detta kallas för **gammakorrektion**. Typiska värden på γ är 2.8 ± 0.3 . Om man är noggrann ska man kompensera för ljuset i den miljö i vilken monitorn finns.