
Fondamenti di Grafica Tridimensionale

Paolo Cignoni
p.cignoni@isti.cnr.it
<http://vcg.isti.cnr.it/~cignoni>

1

Corsi collegati

- ❖ Costruzione di interfacce
 - ❖ Fortemente (molto fortemente) consigliato che lo abbiate già fatto prima di seguire. Durante il corso assumo che sappiate bene:
 - ❖ C++ Basi di grafica 3d
 - ❖ Sappiate costruire un app. interattiva con una gui non banale.
- ❖ Laboratorio di computer games (LCG)
 - ❖ E' sensato aver fatto prima CI e FGT prima di LCG
- ❖ Matematica computazionale: Geometria computazionale (MCG)
 - ❖ Per approfondire gli aspetti piu' teorici

3

Obiettivi

- ❖ Conoscere gli aspetti fondamentali riguardo alle nozioni teoriche e algoritmiche per la modellazione geometrica e il rendering di scene tridimensionali
 - ❖ Modelli avanzati di illuminazione
 - ❖ Algoritmi per il rendering
 - ❖ Modellazione
 - ❖ Architetture per la grafica interattiva
 - ❖ Strutture e algoritmi per la rappresentazione di geometrie
- ❖ Requisiti
 - ❖ Conoscenza delle basi della grafica 3D
 - ❖ Conoscenza del C++

2

Strumenti

- ❖ Un po' di analisi e un po' di geometria computazionale
- ❖ Linguaggio C++
- ❖ Libs, Toolkits, ecc
 - ❖ Tutto quel che ci serve in modo utilitaristico
 - ❖ Qt per le interfacce
 - ❖ SDL per i primi esperimenti in opengl
 - ❖ STL per non riscrivere I soliti contenitori

4

Esame

- ❖ Basato su progetto
 - ❖ Più algoritmico di quello di CI
 - ❖ dettagli in seguito
- ❖ Compitino/orale
 - ❖ più influenti sul voto rispetto a CI

5

Rendering Globale un approccio più formale

$$I(x, x') = g(x, x') \left[\varepsilon(x, x') + \int_s \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right]$$

6

Rendering Locale

- ❖ Il modello di rendering che abbiamo usato in OpenGL è detto locale
- ❖ Ogni primitiva è trattata in maniera indipendente da tutte le altre
- ❖ Il concetto di scena, la presenza di altri oggetti etc, interessano solo l'utente/programmatore e non il renderer
- ❖ Il modo in cui è disegnato un triangolo dipende solo da:
 - ❖ Caratteristiche del triangolo stesso,
 - ❖ Lo stato dello zbuffer
 - ❖ Le luci.

7

Rendering locale

- ❖ Questo tipo di modello ha numerosi vantaggi:
 - ❖ Semplicità
 - ❖ Parallelismo a livello di primitiva
 - ❖ Costo costante per primitiva

8

Global Illumination

- ❖ Ovvero simulare tutto quello che non è un comportamento locale:
 - ❖ Ombre,
 - ❖ interriflessioni,
 - ❖ trasparenze,
 - ❖ caustiche
 - ❖ ecc.



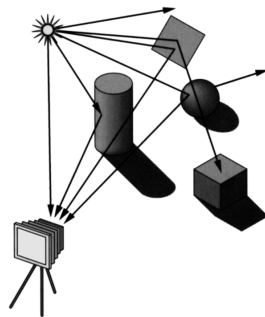
Global Illumination



10

Ray Tracing

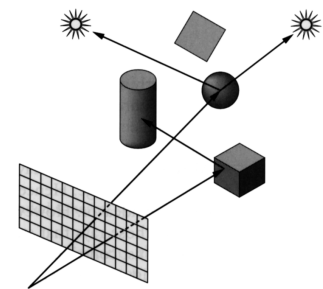
- ❖ Il metodo **ray tracing** è basato sull'osservazione che, di tutti i raggi luminosi che lasciano una sorgente, i soli che contribuiscono all'immagine sono quelli che raggiungono l'osservatore



11

Ray Tracing

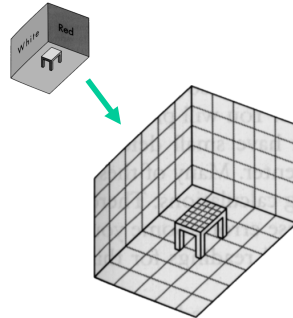
- ❖ Possiamo determinare il comportamento dei raggi che contribuiscono all'immagine se invertiamo la traiettoria dei raggi, e consideriamo solo quelli che partono dalla posizione dell'osservatore



12

Radiosity

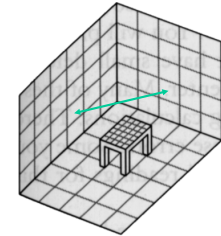
- ❖ Nel metodo radiosity la scena viene suddivisa in *pezze* (*patches*), ovvero in molti poligoni piatti e di dimensioni limitate, ciascuno dei quali è considerato perfettamente diffusivo



13

Radiosity

- ❖ Il metodo prevede due passi per determinare le gradazioni di colore da assegnare alle varie pezze
- ❖ Il primo passo consiste nel determinare, per ogni coppia di pezze, i **fattori di forma (form factor)**, che descrivono come la luce che lascia una pezza influenza l'altra



14

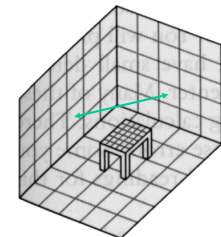
Form Factor

- ❖ In pratica I form factor definiscono quanta parte dell'energia che esce da una patch arriva su un'altra patch, tenendo in considerazione di occlusioni, orientamento delle patch, distanza ecc.
- ❖ Il calcolo dei form factor delle patch di una scena sarebbe inerentemente quadratico, ma la maggior parte dei ff sono praticamente nulli.
 - ❖ Patch lontane non si influenzano.

15

Radiosity

- ❖ Una volta determinati i fattori di forma, sapendo quali patch emettono luce, capire come si distribuisce la luce all'interno di una scena corrisponde ad un sistema di equazioni lineari:
- ❖ La somma delle quantità di luce (radianza) che arrivano su una patch deve essere uguale alla radianza che esce più la luce assorbita dalla patch stessa



16

Global Illumination

- ❖ Esistono anche altri approcci per calcolare effetti globali
- ❖ Un buon modo di caratterizzare tutti questi algoritmi è di considerare il problema che risolvono in maniera più generale

17

The Rendering Equation

To provide an unified context for viewing rendering algorithms as more or less accurate approximations to the solution for a single equation [Kajiya 1986]

$$I(x, x') = g(x, x') \left[\epsilon(x, x') + \int_s \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right]$$

18

The Rendering Equation

$$I(x, x') = g(x, x') \left[\epsilon(x, x') + \int_s \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right]$$

Il termine principale è

$$I(x, x')$$

l'intensity transport cioè la quantità di luce che passa da x' a x

19

The Rendering Equation

$$I(x, x') = g(x, x') \left[\epsilon(x, x') + \int_s \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right]$$
$$g(x, x')$$

È la funzione di visibilità tra x e x' ; se x e x' non si vedono g vale zero. Normalmente se sono inter-visibili g varia con l'inverso del quadrato della distanza.

20

The Rendering Equation

$$I(x, x') = g(x, x') \left[\varepsilon(x, x') + \int_s \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right]$$

$\varepsilon(x, x')$

È la funzione di emittanza tra x e x'.
denota la quantità di luce
creata/emessa dal x' verso x

21

The Rendering Equation

$$I(x, x') = g(x, x') \left[\varepsilon(x, x') + \int_s \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right]$$

$\rho(x, x', x'')$

È il termine di scattering nel punto
x'rispetto alle direzioni verso x e x''.
Rappresenta la quantità di energia
(luce) che rimbalza su x' verso x
proveniendo da x''.

22

The Rendering Equation

$$I(x, x') = g(x, x') \left[\varepsilon(x, x') + \int_s \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right]$$

$\rho(x, x', x'')$

In pratica e' il termine che modella le
caratteristiche locali di un punto della
superficie: ad es in una superficie
perfettamente diffusiva, dipende solo da
x'' (cioè da come la luce colpisce la
superficie)

23

The Rendering Equation

$$I(x, x') = g(x, x') \left[\varepsilon(x, x') + \int_s \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right]$$

L'integrale è svolto su tutti i punti della
superficie s della nostra scena

L'intensità di trasporto da x' a x è
uguale alla luce emessa da x' verso x più
la luce riflessa da x' verso x e
proveniente da tutto il resto della scena,
il tutto modulato da quanto x e x' si
vedono.

24

The Rendering Equation

$$I(x, x') = g(x, x') \left[\varepsilon(x, x') + \int_s \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'' \right]$$

Tutto ciò implica che noi abbiamo

- ❖ un modello della luce emessa da una superficie
- ❖ una rappresentazione di come una superficie riflette la luce (Lambertian, Phong, Oren-Nayar)
- ❖ un metodo per valutare la funzione visibilità tra due punti della scena.

25

R.E. Osservazioni 2

- ❖ Formula il problema in una maniera del tutto view independent
 - ❖ Se trovo una soluzione generale all'eq. (e quindi conosco il valore di $I(x, x')$ in tutti i punti della superficie) posso generare qualunque vista desidero.
 - ❖ La posizione del viewer può essere considerata come un metodo per semplificare il processo di valutazione.

27

R.E. Osservazioni 1

- ❖ La complessità dei termini dell'integrale implica che non può essere valutato analiticamente
- ❖ Tutte le approssimazioni che si fanno in pratica sono, in un certo senso, varianti dei metodi Monte Carlo (approssimano campionando la funzione)

26

R.E. Osservazioni 3

- ❖ È un'equazione ricorsiva
 - ❖ Per trovare il valore di $I(x, x')$ devo valutare $I(x', x'')$ che usa la stessa eq.
 - ❖ Questo fatto ha generato una classe di algoritmi pratici che risolvono il problema seguendo il percorso della luce all'indietro dall'osservatore alle sorgenti luminose...

28

R.E. Osservazioni 4

- ❖ È una definizione 'spettrale'
 - ❖ Il risultato vale solo per una particolare lunghezza d'onda. Il che significa devo farne almeno tre (RGB), o anche di più se voglio simulare accuratamente alcuni effetti

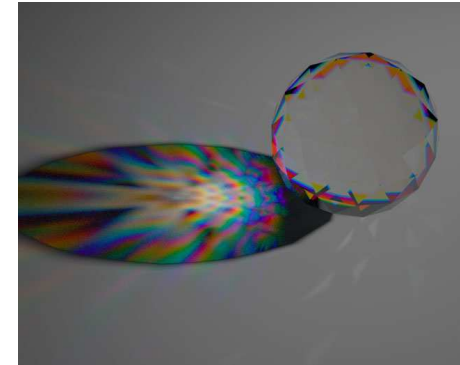
29

R.E. e Radianza

- ❖ La Radianza L e' una delle 8 unità fisiche radiometriche del SI.
- ❖ Misura l'intensità di un raggio luminoso definita come la potenza per angolo solido unitario per area proiettata.
- ❖
- ❖ Si misura in $Watt/(sr \cdot m^2)$
 - ❖ Sr sono steradiani

31

R.E. Osservazioni 4



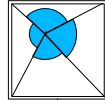
Steradiante

- ❖ Equivalente 3D dei radianti
- ❖ Def:
 - è l'angolo solido che sottende, su una sfera centrata nel suo vertice, una calotta sferica di area uguale al quadrato del raggio
- ❖ Since the surface area of this sphere is $4 \pi r^2$, then the definition implies that a sphere measures 4π steradians. A steradian can also be called a squared radian.

32

Radianza e Irradianza

- ❖ Consideriamo funzione di distribuzione della radianza per un punto
- ❖ Generalmente molto discontinua



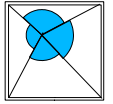
- ❖ Irradianza e' l'integrale della radianza su tutte le direzioni (pesato con il cos della direzione)

$$E = \int_{\Omega} L(\omega) \cos \theta d\omega$$

33

Radianza e Irradianza

- ❖ Irradianza e' l'integrale della radianza su tutte le direzioni (pesato con il cos della direzione)



$$E = \int_{\Omega} L_{in}(\omega) \cos \theta d\omega$$

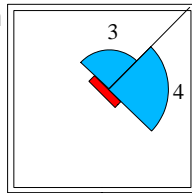
θ è l'angolo tra la normale alla sup e ω .

$L_{in}(\omega)$ è la radianza in ingresso da ω

34

Irradianza Esempio 2D

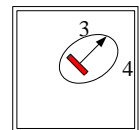
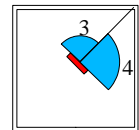
- ❖ Consideriamo una porz di superficie in una stanza. Assumiamo per semplicità che ogni parete esibisca una radianza costante
- ❖ L'Irradianza nel punto considerato, e per quell'orientamento della superficie, è 3.5π



35

Distribuzione Irradianza

- ❖ L'irradianza dipende dall'orientamento della superficie
- ❖ Funzione di distribuzione dell'irradianza
 - ❖ In base all'orientamento della superficie restituisce l'irradianza



36

Radianza e Irradianza

- ❖ L'irradianza è di solito continua
 - ❖ Eccetto che ai bordi netti delle ombre portate o di caustiche
- ❖ Termini che si usano di solito in GI
- ❖ *Shooting e Gathering*
 - ❖ **Shooting** distribuire radianza a partire da una superficie
 - ❖ **Gathering** significa calcolare per integrazione l'irradianza su un punto della superficie accumulando il flusso luminoso che vi arriva

37

In pratica



38

In pratica



39

In pratica



40

❖ <http://vcg.sf.net>