

A.A. 2020/21

DOMANDE
GRAFICA AL CALCOLATORE
ANDREA GIACHETTI

FABS :)

NOTA

Questi appunti/sbobinatura/versione “discorsiva” delle slides sono per mia utilità personale, quindi pur avendole revisionate potrebbero essere ancora presenti typos, commenti/aggiunte personali (che anzi, lascio di proposito) e nel caso peggiore qualche inesattezza!

Comunque spero siano utili! 🌸 ✨

Questa sbobina fa parte della mia collezione di sbobinature, che è disponibile (e modificabile!) insieme ad altre in questa repo:

<https://github.com/fabfabretti/sbobinamento-seriale-uniVR>

Table of Contents

Domande da esame.....	3
» Lezione 1 – Introduzione storica	3
» Lezione 2 – Dispositivi	3
» Lezione 3 – Immagini raster e vettoriali	4
» Lezione 4 – Geometria	6
» Lezione 5 – Modelling.....	9
» Lezione 6 – Rendering	12
» Lezione 7 – Pipeline di rasterizzazione	14
» Lezione 8 – Texture mapping	16
» Lezione 9 – Ombre	18
» Lezione 10 – Animazione	19
» Lezione 11 – Visualizzazione scientifica	20

Domande da esame

Lezione 1 – Introduzione storica

SLIDES

» Che cos'è la computer graphic?

La computer graphics è la disciplina che studia le tecniche e gli algoritmi per la rappresentazione visuale di informazioni numeriche prodotte o elaborate dai computer.

» Qual è la relazione fra computer graphics e computer vision?

Possiamo definirle due facce opposte della stessa medaglia: la computer graphics si occupa di rappresentare e interpretare dei numeri, mentre la computer vision si occupa di trasformare in parametri delle immagini provenienti da un sistema di cattura e acquisizione.

» Quando sono apparse le prime schede grafiche con accelerazione 3D?

Le prime schede grafiche sono comparse intorno agli anni '80.

» Quando è nata l'animazione grafica 3D?

La prima animazione grafica 3D viene creata nel 1972, da Catmull: si tratta del modello della sua mano che si muove.

» Cos'è la visualizzazione scientifica?

La visualizzazione scientifica è una branca della computer graphics che si occupa di visualizzare i dati di tipo scientifico con l'obiettivo di renderli comprensibili all'occhio umano ed eventualmente permettere l'estrapolazione di nuove informazioni.

Lezione 2 – Dispositivi

SLIDES

» Cos'è un display raster?

Un display raster è uno schermo composto da una matrice di puntini luminosi che possono essere colorati con sintesi additiva sovrapponendo o mettendo molto vicini tre fasci di luce RGB.

» Quali sono le principali tipologie di display raster?

I principali display raster sono CRT, LCD/TFT, OLED e electronic ink.

- CRT: una pistola di elettroni colpisce uno schermo ricoperto di vari tipi di fosforo, i quali quando sollecitati si illuminano di uno dei tre colori primari con intensità proporzionale a quella del raggio. La pistola si inclina, dipingendo l'intero schermo un pixel per volta.
- LCD/TFT: una backlight illumina due filtri polarizzanti perpendicolari fra i quali è stato posto uno strato di cristalli liquidi. Applicando un potenziale a questi cristalli, essi ruotano e fanno ruotare i raggi di luce che passano dal primo filtro polarizzante, ruotandoli e permettendone il passaggio attraverso il secondo filtro. Davanti a questo sistema vengono posti dei filtri colorati, in modo da formare i subpixels.
- OLED: un particolare materiale organico è posto fra due strati dove è possibile far passare corrente elettrica. I materiali scelti hanno la particolare caratteristica di illuminarsi dei colori primari quando sollecitati elettricamente; quindi, uno dei due strati esterni viene reso trasparente (o entrambi in caso di schermi trasparenti) per lasciar passare la luce emessa. Non è possibile generare direttamente luce bianca, quindi anche qui i raggi di luce dei tre colori primari vengono avvicinati per simulare l'effetto di luce bianca.
- Electronic ink: lo schermo è composto da microcapsule dove sono presenti particelle bianche e nere cariche elettricamente. Queste capsule sono poste in degli elettrodi, i quali possono essere caricati e

portano le particelle a spostarsi agli antipodi delle microcapsule, generando in superficie un colore completamente bianco o nero.

» Cos è un display vettoriale?

Sono display che tracciano direttamente linee e punti come un plotter a penna; un tipo di display facilmente compatibile con questo modo operandi è il display CRT, che come già visto opera disegnando sullo schermo proprio come un pennello. In input, al contrario della solita matrice raster (=frame buffer), richiederanno delle primitive o istruzioni che descrivano come realizzare l'immagine desiderata.

» Come dev'essere codificata l'immagine da riprodurre per tali tipi di display?

Per essere riprodotta su questo genere di display, l'immagine non deve essere codificata come matrice di pixel ma secondo delle direttive che permettano di ridisegnare "parametricamente" il contenuto dell'immagine. Questo può avvenire, per esempio, fornendo delle indicazioni del tipo "crea un'ellisse di diametro 5 centrata in una certa posizione XY e con un riempimento di colore #FFFFFF", ma anche con linee più complesse utilizzando particolari stratagemmi matematici quali, per esempio, le spline.

» Quali sono le tecnologie di stampa e stampa 3D più comuni?

Le tipologie di stampa 3D più diffuse sono la FDM e la SLA. La FDM consiste nell'avere una testina di stampa che fonde un filamento plastico – solitamente partendo da delle bobine di materiale filiforme quale ABS, PLA o PET – in strati sottilissimi, sovrapposti a formare l'oggetto desiderato. La SLA (stereolitografia) invece utilizza come materiale di partenza delle resine liquide, che vengono fatte solidificare per mezzo di un laser fino a formare la figura desiderata. In generale, la FDM ha il pregio di essere molto accessibile ma meno precisa, e quindi spesso utilizzata in ambito di rapid prototyping, mentre la SLA ha costi molto più elevati ma permette di raggiungere facilmente e in maniera più affidabile risoluzioni di stampa maggiori, il che la rende molto adatta ad impieghi medici quali la realizzazione di modelli negli studi odontoiatrici.

Altri tipi di stampa meno diffusi sono la SLS (sintesi a partire da materiali in polvere, comune nell'impiego di metallo) e il polyjet (banali strati di carta stampata sovrapposti).

Lezione 3 – Immagini raster e vettoriali

» Che cos'è la grafica vettoriale?

La grafica vettoriale è un tipo di grafica che si propone di rappresentare i disegni attraverso primitive di disegno come linee, curve, circonferenze. In generale, un esempio di direttiva in grafica vettoriale potrebbe essere "traccia un'ellisse di larghezza L e altezza H centrata nella posizione XY del foglio, con una linea color #FFFFFF e riempimento #000000. Figure più complesse possono essere rappresentate da particolari stratagemmi quali le spline.

» Cos'è un'immagine raster?

Un'immagine raster è un'immagine codificata come matrice, dove ciascuna posizione equivale ad un pixel e contiene tutti i valori necessari a visualizzarlo – per esempio, quantità di rosso, giallo, blu o canale alfa. Può essere definita anche come il campionamento della funzione luminosità che compie i pixel.

» Che cosa si intende per range dinamico?

$$» R_d = \frac{I_{max} + I_{amb}}{I_{min} + I_{amb}}$$

Il range dinamico è il rapporto fra minima differenza misurabile o rappresentabile e range di variabilità del segnale. I dispositivi hanno un range dinamico molto variabile. E' rappresentata più o meno espressivamente in base al numero di bit.

Alt: Si intende il numero di "step" di colori che è possibile rappresentare in un'immagine. Chiaramente dipende dalla codifica e dal numero di bit dedicati alla codifica del colore; in generale, un range dinamico alto mi darà un'immagine fluida, mentre un numero troppo basso rischia di rendere visibile il passaggio da uno step all'altro.

» Cosa sono le immagini HDR?

Sono immagini in cui viene catturato un range dinamico (inteso come intervallo fra aree visibili più chiare e più scure) maggiore di quello usuale; questo risulta utile per compensare la perdita dei dettagli delle zone sottoesposte o sovraesposte di un'immagine catturata tradizionalmente. Da un punto di vista pratico, si procede facendo degli scatti a esposizioni multiple, che vengono poi rielaborati e uniti per generare un'immagine finale con una corretta esposizione sia delle aree più scure che delle aree più chiare.

» Perché i font vengono codificati in grafica vettoriale?

I font vengono codificati in grafica vettoriale in quanto, per loro stessa natura, possono essere utilizzati in contesti molto differenti – e in particolare in dimensioni molto variegata. Dato che è essenziale che una scritta sia leggibile, utilizzare immagini raster renderebbe pressoché impossibile evitare la perdita di qualità nel momento in cui si rendesse necessario ingrandire o rimpicciolire il testo; la grafica vettoriale al contrario permette di renderizzare “dinamicamente” il testo su qualunque risoluzione, display o grandezza, assicurandone sempre la nitidezza.

» Che cos'è una spline?

Tradizionalmente, lo spline era un'asticella flessibile e vincolata che permetteva di disegnare linee curve regolari. In termini matematici e più attuali, una spline è una particolare funzione matematica che permette di descrivere in ambito di grafica vettoriale linee dalla forma arbitraria, e quindi non immediatamente riconducibili a primitive. Tipicamente si utilizzano funzioni polinomiali facendole passare per punti, oppure funzioni approssimanti che minimizzano la distanza da punti fissati.

» Quali sono le caratteristiche di un'immagine raster?

Le caratteristiche sono:

- » *Risoluzione*: numero di pixel della griglia
- » *Range dinamico e profondità di colore*: rapporto fra minima differenza misurabile o rappresentabile e range di variabilità del segnale (=luminosità o colore). I dispositivi hanno un range dinamico molto variabile. E' rappresentata più o meno espressivamente in base al numero di bit.

» Perché si usa la gamma correction?

Perché permette di vedere una differenza costante fra livelli di luminosità; serve poiché l'occhio umano percepisce la luce in modo non-lineare (anzi, segue un esponenziale), con una sensibilità maggiore fra la differenza fra i toni più scuri.

In questo modo si può ottimizzare l'utilizzo dei bit nella codifica di un'immagine: se un'immagine non è gamma-encoded, vengono allocati troppi bits per valori che l'uomo non è in grado di differenziare, e troppi pochi bits per valori ai cui l'occhio umano è molto sensibile. Originariamente è stato sviluppato per compensare le caratteristiche di input-output dei display a tubo catodico: l'intensità della luce variava in maniera non lineare con il voltaggio dell'elettron gun; con la gamma encoding si tornava ad avere un rapporto lineare. [\[source\]](#)

» Che cos'è il colore?

A livello naturale, il colore non è altro che il risultato della riflessione delle onde della luce; all'interno dello spettro continuo della luce, alcune frequenze verranno “assorbite” dal materiale mentre altre rimbalzano e raggiungono i nostri occhi. Chiaramente, le frequenze che percepiamo sono quelle che determinano il colore.

A livello umano, l'occhio non è in grado di rilevare direttamente le frequenze come potrebbe fare un sensore digitale: il colore, dunque, risulta essere la sensazione che il nostro cervello produce quando riceve segnali dai recettori degli occhi – i coni e i bastoncelli. La parte significativa è che i nostri recettori sono, in realtà, in grado di rilevare solo alcuni colori – normalmente i classici RGB, ma in alcune persone meno (daltonismo) e in altre di più – che vengono sommati e tradotti in una sensazione.

A livello tecnologico, il colore prodotto dai display non è altro che la somma di tre luci – tradizionalmente RGB – che in ogni pixel vengono illuminate in base a quanto indicato nel frame buffer.

» Cosa si intende per spazi di colore?

Uno spazio colore non è altro che una mappatura dei colori che una periferica è in grado di riprodurre, ovvero una descrizione precisa di un colore e di come dovrebbe essere riprodotto. Questi spazi colore definiscono esattamente come ciascun colore deve essere rappresentato dai suoi colori componenti, come dovrebbe apparire la miscela dei colori primari e quale luminosità dovrebbe produrre ogni schermo per determinato colore.

Uno spazio colore si basa su un modello di colore (RGB, CMYK, etc...) ma è qualcosa di più. Il modello colore è una rappresentazione astratta del colore, invece uno spazio colore lo perfeziona con specifiche regole adatte all'utilizzo che se ne andrà a fare. Pantone, ad esempio, è in realtà meglio descritto come uno spazio colore in quanto descrive colori precisi. Ci sono spazi colore comuni per RGB (ad esempio Adobe RGB e sRGB) e CYMK, ma prima esamineremo Lab per imparare qualche concetto in più.

Spazi di colore noti includono sRGB, AdobeRGB e ProPhotoRGB. Con uno spazio di colore tricromatico come RGB i colori sul computer vengono rappresentati usando tre valori, i quali limitano alla codifica un triangolo di colori.

AUTOVALUTAZIONE

- » (1.2) Qual è la differenza tra grafica raster e grafica vettoriale? Esistono dei formati per codificare la grafica vettoriale 2D? Quali vantaggi hanno rispetto all'uso delle immagini raster?
- » (1.3) Quando è che due spettri elettromagnetici danno origine alla stessa sensazione di colore?
- » (1.4) Si discutano le problematiche relative alla percezione visiva del contrasto e come queste influenzano il modo in cui viene codificata la luminosità delle immagini
- » (1.5) So schematizzi una applicazione grafica generica e si discuta quali possano essere i suoi dispositivi di output, raster o vettoriali e le rappresentazioni interne della scena o degli oggetti del "mondo".
- » (1.7) Che cos'è il colore? Due segnali luminosi diversi corrispondono a colori diversi? Come si può rappresentare il colore in modo indipendente dal display usato per riprodurlo?

Lezione 4 – Geometria

SLIDES

» Che cosa sono le coordinate omogenee?

Le coordinate omogenee sono delle quaterne definite rispetto al sistema di riferimento (e_1, e_2, e_3, O) . Sono un tipo molto intuitivo di coordinate nello spazio, dove punti e vettori vengono espressi in forma canonica come $p=(x,y,z,1)$ e $v=(x,y,z,0)$.

In realtà, nel caso del punto, esso può essere espresso anche con quarta coordinata diversa da 1, a patto che anche tutti gli altri numeri siano stati moltiplicati per quel numero; ad esempio $p=(\lambda x, \lambda y, \lambda z, \lambda w)$. Le coordinate ordinarie del punto saranno $(x/w, y/w, z/w)$.

» Qual è la differenza tra punti e vettori?

I punti sono un elemento adimensionale nello spazio, mentre i vettori hanno una dimensione (la lunghezza) e potremmo vederli come "differenze" o "spostamenti" di un punto. Nelle coordinate omogenee, mi accorgo di quale sia la differenza in base alla quarta coordinata, che può essere 0 (vettore) o 1 (punto).

» Come si rappresentano orientazione e rotazione?

L'orientazione è la posizione di un oggetto nello spazio, mentre la rotazione è una variazione di orientazione. L'orientazione è solitamente espressa con gli angoli di Eulero, mentre per la rotazione si può ricorrere a diverse soluzioni – coordinate omogenee, rotazioni asse/punto o quaternioni- volte a ottimizzare aspetti diversi della rotazione.

» Qual è la differenza fra proiezione prospettica e trasformazione prospettica?

La differenza principale è che la proiezione prospettica ha, come output, un'immagine bidimensionale ed è rappresentata da una matrice 3x4

$$\mathbf{P}' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/d & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z/d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d P_x / P_z \\ d P_y / P_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Al contrario, la trasformazione prospettica mappa comunque nello spazio 3D, e di conseguenza è rappresentata da una matrice 4x4. Eventualmente, per passare alla rappresentazione 2D basta poi eliminare la z (che è sempre uguale a d).

uale a d)

$$\mathbf{P}' = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1/d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

» Quali sono le proprietà della rappresentazione delle entità dello spazio Euclideo e delle trasformazioni in coordinate omogenee? Per quale motivo si usano?

Posso applicare operazioni fra punti e vettori in maniera "pulita" (ovvero con lo stesso formalismo)

Tutte le trasformazioni affini sono espresse da trasformazioni lineari o matrici fra oggetti in coordinate omogenee.

Posso applicare traslazioni, rotazioni e scalature con lo stesso formalismo: traslazioni e rotazioni sono esprimibili come moltiplicazioni per matrici :)

» Dato il triangolo formato dai punti A(1,0,0) B(0,1,0) C(0,0,1) si calcoli esplicitamente il vettore unitario perpendicolare ad esso e si scriva una base ortonormale che abbia tale vettore come uno dei suoi elementi.

$$A(1,0,0) \quad B(0,1,0) \quad C(0,0,1)$$

■ VETTORE UNITARIO PERPENDICOLARE

- Trovo 2 vettori

$$\vec{v}_1 = B - A = (0-1, 1-0, 0-0) = (-1, 1, 0) \quad \vec{v}_2 = C - A = (0-1, 0-0, 1-0) = (-1, 0, 1)$$

- Prodotto vettoriale

$$\vec{n} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \hat{i} + 0 + 0 - (-\hat{k} - \hat{j} + 0) = \hat{i} - \hat{j} + \hat{k} = (1, -1, 1)$$

- Divido per il modulo

$$|\vec{n}| = \sqrt{1+1+1} = \sqrt{3} \quad \vec{n} = \frac{1}{|\vec{n}|} \cdot \vec{n} = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}, -\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$$

» Come si rappresentano orientazione e rotazione?

» Trovare quaternione inverso di (0,6,8,0). Trovare q che descrive rotazione di 60° intorno a $v=(3,4,0)$

Devo avere un quaternione unitario

$$\cos(60/2) = \cos(30) = 1/2$$

$$\sin(60/2) = \sin(30) = \sqrt{3}/2$$

$$v' = v/\|v\| = [3,4,0]/5 = [3/5, 4/5, 0]$$

$$q = [1/2, \sqrt{3}/2 * [3/5, 4/5, 0]] \\ = [1/2, 3\sqrt{3}/10, 4\sqrt{3}/10, 0]$$

$$\|q\| = 1/4 + 27/100 + 48/100 \\ = (25+27+48)/100 = 1$$

10/2020

Grafica 2020

» Che cos'è una rotazione nello spazio 3D? Come si può rappresentare e quali sono vantaggi e svantaggi dei diversi modi di rappresentarla?

Una rotazione nello spazio 3D è il passaggio da una orientazione all'altra; è l'analogo in rotazione di quello che è un vettore nello spostamento.

Si può rappresentare in diversi modi:

- Asse angolo
 - + Molto semplice da comprendere
 - Interpolazioni non regolari
 - Scomode da usare in animazione
- Angoli di eulero

Decomponere la rotazione nel prodotto di tre rotazioni rispetto a tre assi

 - + Molto intuitiva
 - + Comoda per mapping su controlli come quelli degli aerei
 - + Still very used nei programmi di modellazione
 - Rotazioni non univoche: più rotazioni possono mandarmi nella stessa rotazione
 - Gimbal lock: configurazioni problematiche dove perdo gradi di libertà
 - Interpolazioni molto complesse che mi danno risultati non aspettati
- Quaternoni unitari

Sono particolari numeri complessi, con 4 componenti anziché due (e due componenti complesse). Possono essere rappresentati su una sfera e possono essere espressi come coppia scalare-vettore.

 - + Operazioni più rapide (9 operazioni vs. 4 per le matrici) (composizione: 16 operazioni vs 72 per le matrici).
 - + Occupa meno spazio (4 numeri vs. 9 per le matrici)
 - + Notazione concisa
 - + Numeri stabili anche per rotazioni piccole
 - + Convertibile facilmente ad asse/angolo
 - + Interpolazione intuitiva ed adatta, ad esempio, all'animazione: Dando un parametro T che definisca la velocità angolare, posso usare la formula SLERP per rappresentare linearamente il passaggio fra orientazioni.
 - Notazione estremamente poco intuitiva
 - Matematica concettualmente complessa

- » **(1.9) Quali sono i parametri che definiscono il modello di proiezione prospettica? In quali condizioni è sostituibile con la proiezione parallela?**

La proiezione prospettica è definita dal parametro d , che indica la distanza focale ovvero la distanza del centro di proiezione dal piano prospettico. (i think). È sostituibile con la proiezione parallela nel caso in cui d sia estremamente grande, poiché è nella proiezione parallela la d vale $+\infty$. Alternativamente, posso sostituirla anche in situazioni dove non mi interessa rappresentare fedelmente la prospettiva reale e il senso di profondità, o se ho bisogno di semplificare i calcoli.

- » **Che cosa si intende per orientazione e rotazione? Come si possono parametrizzare le rotazioni? Cosa sono gli angoli di Eulero? Perché possono essere utilizzati nel controllo dell'animazione 3D e in quali casi creano problemi?**

Autovalutazione

- » **(1.8) Che cos'è una rotazione nello spazio 3D? Come si può rappresentare e quali sono vantaggi e svantaggi dei diversi modi di rappresentarla**

Già risposto

- » **(1.10) Cosa sono le coordinate baricentriche di un triangolo? Se un triangolo ha vertici $P=(1,1,0)$, $Q=(3,0,0)$, $R=(3,3,0)$, quali sono le coordinate baricentriche per tale triangolo del punto $(2,1,0)$? Come si interpolerebbe il valore di un attributo in tale punto in funzione del valore ai vertici?**

Cosa sono le coordinate baricentriche di un triangolo? Se un triangolo ha vertici $P=(1,1,0)$, $Q=(3,0,0)$, $R=(3,3,0)$, quali sono le coordinate baricentriche per tale triangolo del punto $(2,1,0)$? Come si interpolerebbe il valore di un attributo in tale punto in funzione del valore ai vertici?

Sono i coefficienti della combinazione lineare (affine) delle coordinate dei vertici, che esprimono la posizione di un punto nel triangolo. Vengono utilizzate per interpolare gli attributi.

$$p = \omega_0 v_0 + \omega_1 v_1 + \omega_2 v_2$$

$$\omega_0 + \omega_1 + \omega_2 = 1$$

Vediamo ora come risolvere l'esercizio:

$$\omega_0 (1, 1, 0) + \omega_1 (3, 0, 0) + \omega_2 (3, 3, 0) = (2, 1, 0)$$

$$\omega_0 + 3\omega_1 + 3\omega_2 = 2$$

$$\omega_0 + 3\omega_2 = 1$$

$$\omega_0 + \omega_1 + \omega_2 = 1$$

Se risolviamo il sistema di equazioni, otteniamo che:

- » **(1.11) Quali sono le proprietà della rappresentazione delle entità dello spazio Euclideo e delle trasformazioni in coordinate omogenee? Per quale motivo si usano?**

Lezione 5 – Modelling

SLIDES

- » **Cosa si intende per Constructive Solid Geometry?**

È un modello di rappresentazione di oggetti 3D, di tipo volume-based. In questo approccio le forme vengono costruite a partire da una famiglia di solidi geometrici elementari, che vengono chiamati primitive, come ad esempio il parallelepipedo, il cilindro, la sfera, il cono, il toro. Per poter costruire volumi complessi a partire da questi volumi elementari si fa uso di operazioni booleane, che derivano dalle operazioni sugli insiemi. Si usano le operazioni tipiche (unione, intersezione, differenza) e si costruisce un albero: ciascun nodo contiene una delle tre operazioni, e ciascuna foglia una primitiva. Nella radice troverò il risultato finale.

» **Cos'è una mesh di poligoni?**

Def profe: una mesh è un insieme di poligoni le cui intersezioni sono esclusivamente vertici e spigoli dei poligoni. I poligoni della maglia si dicono anche facce. Essa è caratterizzata da connettività, geometria, eventualmente un bordo e degli attributi.

DEF online: Una mesh poligonale, in computer grafica, è un reticolo che definisce un oggetto nello spazio, composto da vertici, spigoli e facce. Il termine mesh in inglese significa letteralmente "maglia", "rete".

» **Cosa si intende per mesh orientabile?**

Una maglia si dice orientabile se esiste una scelta dell'orientazione delle facce che rende compatibili tutte le coppie di facce adiacenti.

Due facce adiacenti hanno orientazione compatibile se i due vertici del loro spigolo in comune sono in ordine inverso, ovvero l'orientazione non cambia attraversando lo spigolo in comune.

» **Cosa si intende per varietà (2-manifold)?**

Una mesh si dice manifold se ogni punto della mia mesh è isomorfo a un disco, ovvero deve avere un intorno euclideo bidimensionale. Questo è vero se sono verificate le seguenti condizioni:

- Uno spigolo appartiene al massimo a due triangoli
- Se più triangoli incidono sullo stesso vertice, allora devono essere raggiungibili l'uno dall'altro con un percorso fra triangoli adiacenti – devono formare un ventaglio o un ombrello.

» **Come si può ridurre la complessità di una mesh?**

Posso ridurre la complessità di una mesh cambiandone la risoluzione, ovvero applicando degli algoritmi di semplificazione della mesh che ne riducono il numero di vertici. Alcuni esempi sono:

- Quadratic edge collapse: fonde due punti nel loro punto medio
- Vertex removal: rimuove un vertice e triangola la cavità creata
- Edge collapse: rimuove uno spigolo fondendo i due vertici
- Half edge collapse: collassa due vertici in uno dei due vertici.
- Contrazione iterativa degli spigoli: ad ogni iterazione viene eliminato per contrazione lo spigolo di costo minore. Il costo può essere definito a piacere; un esempio è la norma.

» **A cosa servono le superfici di suddivisione?**

Le superfici di suddivisione servono ad aumentare il numero di vertici della mesh, hopefully arrotondandola e aumentandone la precisione di approssimazione. Ne esistono diversi schemi; in generale, quello che si fa è generare nuovi vertici e spostarli in base a una qualche relazione con i vertici preesistenti della mesh. Schemi comuni sono catmull-clark per quad-mesh e loop/butterfly per mesh triangolari.

Catmull-clark: è uno schema $1 \rightarrow 4$ che prevede di:

- Creare un vertice per ciascuna faccia, media di tutti i vertici delle facce
- Creare un vertice nel punto medio di ciascuno spigolo
- Aggiorna le posizioni dei vertici in base alle vecchie coordinate, alla media dei vertici di faccia e alla media dei vertici di spigolo (insomma tutti quelli intorno).

AUTOVALUTAZIONE

» **(1.6) Si citino e descrivano sommariamente almeno due modi di rappresentare modelli di oggetti nello spazio 3D diversi dalle maglie poligonali**

- *Geometria solida costruttiva*: è un tipo di modellazione che realizza l'oggetto partendo da delle primitive geometriche e applicandovi delle operazioni booleane (unione, intersezione, differenza). Il risultato è un albero dove le foglie sono le primitive, la radice è il risultato e i nodi saranno le operazioni da eseguire. Risulta comoda in quanto è possibile realizzare e modificare dinamicamente i modelli, ma risulta del tutto inadatto alla modellazione artistica. È usato in programmi come CAD.

- *Partizionamento spaziale*: è l'equivalente delle immagini raster nello spazio; lo spazio è suddiviso in pixel tridimensionali o voxel, e ciascun pixel può essere pieno o vuoto. È una rappresentazione estremamente pesante, ma è comunque usata in ambienti particolari tipo le applicazioni mediche.
- *Campionamento di punti sulle superfici*: si tratta delle nuvole di punti, strutture tipicamente generate da operazioni quali la fotogrammetria o la scansione 3D, e che sono il campionamento della geometria 3D in una serie di punti discreti.
- *Funzioni parametriche*: sono superfici matematiche lisce in grado di descrivere qualunque forma; è l'equivalente della spline in 2D. Un esempio è la superficie di Bézier, dove approssimo con equazioni parametriche di grado sempre crescente delle curve. Si usano parecchio in design grafico per l'alta definizione (a fronte di pochi punti); in modellazione artistica solitamente viene usata come punto di partenza ma poi applicata a rappresentazione poligonale.

» **(1.12) Cosa vuol dire che una mesh poligonale è una varietà (o manifold)? Quali altre condizioni deve rispettare una mesh di triangoli per rappresentare approssimativamente la superficie di un oggetto tridimensionale? Cosa si intende per una mesh di triangoli chiusa? Cosa vuol dire che una mesh poligonale è orientabile?**

Una mesh poligonale si definisce 2-manifold quando ogni punto ha un intorno isomorfo a un disco, ovvero quando sono rispettate le due seguenti condizioni:

- Su ciascuno spigolo insistono al più due facce
- Tutte le facce che insistono su un vertice devono poter essere raggiunti l'uno dall'altro con un percorso per triangoli adiacenti; intuitivamente, devono formarsi ventagli e ombrelli.

Per rappresentare una superficie 3D, la mesh deve anche essere chiusa e orientabile.

Una mesh di triangoli si definisce chiusa quando non ha bordo.

Una mesh poligonale è orientabile se è possibile dare un'orientazione delle facce che rende compatibili tutte le coppie di facce adiacenti, ovvero se l'orientazione non cambia mai attraversando uno spigolo in comune fra due facce.

» **(1.13) Cosa si intende per geometria e topologia di una mesh di poligoni? La suddivisione delle facce di una mesh cubica in due triangoli ciascuna le cambia? E la suddivisione del cubo di Catmull-Clark? E lo spostamento di un vertice a destra?**

Per geometria di una mesh si intende la posizione dei suoi vertici nello spazio.

- Dividere una mesh cubica in due triangoli non cambia la geometria
- Dividere un cubo con Catmull Clark cambia la geometria, poiché la posizione dei vertici vecchi viene ricalcolata e sto aggiungendo nuovi vertici.
- Spostare un vertice a destra cambia la geometria.

» **(1.14) Quali tipi di rappresentazione in memoria delle mesh di triangoli si possono utilizzare in grafica? Per quali caratteristiche differiscono? Quale rappresentazione viene usata per il rendering OpenGL? Tali rappresentazioni garantiscono le proprietà tipicamente richieste alle mesh (manifoldness, no autointersezioni)? Quali elementi caratterizzano le mesh e quali attributi possono essere associati ad essi?**

#####

» **(1.15) Si citino alcuni esempi di algoritmi di "mesh" processing, indicandone l'utilità pratica.**

Perché può essere utile ridurre o aumentare il numero di poligoni che descrivono una superficie?

La subdivision surface – in qualunque sua versione, come ad esempio Catmull Clark – permette di aumentare il numero di vertici della mesh; questo è utile in quanto permette di arrotondare la mesh ed aumentarne l'accuratezza nel caso in cui si stia cercando di simulare una superficie curva.

Un altro esempio sono gli algoritmi di semplificazione della mesh, che hanno il pregio di ridurre la geometria della mesh. Questo può essere utile, ad esempio, per generare più LOD di una mesh: in un videogioco potrebbe essere utile avere LOD diverse in modo da non avere un livello di dettaglio troppo alto per oggetti visibili poco o a distanza, sprecando inutilmente le risorse limitate del pc.

Lezione 6 – Rendering

SLIDES

» Che cos'è la radianza?

La radianza $L(x,w)$ è una dimensione che misura nel punto x in direzione w la densità superficiale dell'intensità radiante in x lungo la direzione w , considerando l'area della superficie proiettata.

quantità di radiazione elettromagnetica riflessa (o trasmessa) da una superficie di area unitaria, e diretta verso un angolo solido unitario in una direzione indicata.

» Che cosa si intende per BRDF?

» Cosa si intende per soluzione globale/locale dell'equazione del rendering?

L'equazione del rendering è un'equazione ricorsiva, e dunque potenzialmente calcolabile all'infinito. Di conseguenza, ci sono due paradigmi possibili per la sua risoluzione:

- La soluzione locale decide di eliminare direttamente le componenti ricorsive dell'equazione, ignorando qualunque tipo di componente ambientale ed in particolare eventuali fenomeni di interriflessione all'interno della scena: considero solamente le direzioni corrispondenti ai raggi provenienti dalle mie sorgenti luminose.
- La soluzione globale si ripropone di calcolare anche i fenomeni di interriflessione; ovviamente questo appesantisce notevolmente il calcolo, ed è comunque necessario trascurare alcuni fenomeni in quanto, altrimenti, il problema non sarebbe trattabile. Posso raggiungere questo obiettivo in due modi:
 - o Radiosity: considera esclusivamente le componenti diffuse
 - o Ray casting e ray tracing: seguo i singoli raggi man mano che si riflettono sulle superfici. Computazionalmente da matti :)

» Come si comportano i materiali opachi e lucidi?

- Nei materiali opachi, la luce “penetra” all'interno e si ridiffonde in tutte le direzioni. Il risultato è un effetto matte, tipo terracotta.
- Nei materiali lucidi, la luce rimbalza come se fossero specchi. Il risultato è un effetto glossy con highlights, tipo la plastica lucida.

» Cosa si intende per “modello di illuminazione”?

Il modello di illuminazione è l'algoritmo che data la normale alla superficie, il materiale e la direzione di illuminazione, fornisce il colore.

» Quale termine del modello di Phong simula l'effetto di illuminazione globale dovuto alle interriflessioni?

Si tratta della componente ambientale; è una soluzione del tutto inaccurata rispetto alla fisica ambientale, ma che permette di avere una parvenza di illuminazione globale senza dover ricadere nella complessità di calcolo data dal ray tracing.

Quello che si fa è assegnare a ciascuna componente di luce riflessa una certa costante, da aggiungere proporzionalmente alla luce. Posso anche aggiungere un parametro che la calcola in base alla luce ambientale della scena (?). ###

$$I = I_a * k_a$$

» Cosa si intende per Physically Based Rendering?

Si intende un tipo di rendering che cerca di rimanere il più possibile fedele a come funziona davvero la luce da un punto di vista fisico. Questo obiettivo viene raggiunto per mezzo di una serie di modifiche ai paradigmi visti fino ad ora, tra cui:

- Microfaccette
- Raytracing, illuminazione globale
- Trasparenza..

» **Quali sono le tecniche che si usano per accelerare il calcolo delle intersezioni raggi/oggetti?**

- Strutture a indicizzazione spaziale, che consentono di limitare senza bisogno di far test il numero di primitive su cui fare il test stesso. Si tratta di tecniche di pruning o culling. → Si arriva al sublineare!
- Volumi di contenimento: si racchiudono gli oggetti in solidi (bounding volume) con i quali sia semplice testare l'intersezione. Se non c'è intersezione con il bounding volume, di certo non c'è intersezione con l'oggetto racchiuso. Volumi tipici sono sfere e box. → Non scende sotto il sublineare, ma semplifica notevolmente la complessità della ricerca.
 - o Partizionamento spaziale: suddivido lo spazio in celle cubiche (di solito grossolane). Visito le celle intersecate al raggio e solo le primitive contenute in tali celle sono intersecate con il raggio.
 - o Volumi di contenimento gerarchici: costruisco una gerarchia di volumi di contenimento dove al livello più alto si ha un volume che racchiude tutta la scena e al più basso volumi di contenimento per singoli oggetti o quasi.
 - o Octree: una cella viene suddivisa ricorsivamente fino ad ottenere un numero prefissato di celle; questo produce una divisione molto flessibile e adattabile dello spazio (a differenza del partizionamento spaziale). Quando devo intersecare il raggio con la root, trovo un punto p "all'interno" della root. Visito l'albero per scoprire a quale cella/foglia appartiene P. Interseco il raggio con le facce della cella per trovare la faccia di uscita, e la prossima cella è quella adiacente alla faccia di uscita. Come nella partizione uniforme, solo le primitive contenute nelle celle sono intersecate col raggio.
 - o KD-tree: La costruzione avviene in modo che ogni piano divida a metà il numero di oggetti rimanenti. L'attraversamento può avvenire in modo sequenziale (come quello visto per l'Octree) oppure in modo ricorsivo, sfruttando la struttura dell'albero. Vediamo quest'ultimo. Il raggio viene intersecato ricorsivamente con le regioni definite dall'albero. Visitando l'albero, il raggio viene intersecato con la regione corrente e ricorsivamente suddiviso in intervalli. Solo gli oggetti contenuti nelle foglie che alla fine intersecano un intervallo di raggio sono controllati.

AUTOVALUTAZIONE

» **(1.16) Descrivere il modello di illuminazione locale di Phong, indicandone tutte le componenti ed il loro significato.**

Il modello di illuminazione locale è un algoritmo che serve a calcolare lo shading, ovvero il colore da assegnare a ciascun pixel/faccia durante la fase di rendering. Per potersi meglio adattare alla simulazione dei diversi materiali, il modello di Phong utilizza due componenti parametrizzabili; i due potranno essere presenti o meno e mescolarsi insieme per ottenere un effetto il più possibile realistico.

- Componente diffusiva: è quella che realizza un comportamento simile a quello degli oggetti matte, ovvero che assorbono la luce e la diffondono uniformemente. È espressa dalla componente lambertiana.
- Componente riflessiva: è quella che realizza un comportamento simile a quello degli oggetti lucidi, ovvero che riflettono la luce direttamente – come gli specchi – generando highlights. È espressa dalla componente di Fresnel.

Inoltre, è possibile aggiungere una terza componente che è la componente ambientale. Essa risulta utile in quanto Phong è un modello locale che ignora completamente gli effetti di intrariflessione o emissione eventualmente presenti nella scena. Con questa componente – parametrizzabile – al risultato viene aggiunta una "luce di fondo" che simula una sorta di diffusione ambientale. Non è minimamente comparabile a un reale calcolo della luce globale, ma rende più plausibile il risultato.

» **(1.17) Cosa si intende per calcolo dell'illuminazione locale o globale? Si indichino almeno due evidenti problemi che rendono le immagini renderizzate con metodi puramente locali non realistiche. Quali trucchi possono essere usati per ridurre questi effetti nella pipeline di rendering (rasterization)**

Con calcolo dell'illuminazione locale o globale si intende la seguente distinzione:

- Illuminazione globale: quando si calcola lo shading di un pixel, oltre alla sorgente di luce che colpisce il punto dell'oggetto vengono considerate anche le interriflessioni presenti all'interno della scena. Per esempio, se ho una primitiva verde molto vicina a una primitiva rossa, nella realtà è comune che io trovi delle componenti rosse sopra a quella verde a causa dell'interriflessione.
- Illuminazione locale: ignoro le interriflessioni nella scena.

Alcuni problemi che rendono le immagini locali non realistiche sono, appunto, la mancanza di interriflessioni rispetto alla luce sorgente e il fatto che non vengono tenute in considerazione eventuali altre superficie con emissione presenti nella scena.

ma la trasparenza or lack of thereof vale qui? E il subsurface scattering? (no vero)

- » **(1.18) Che cos'è l'equazione del rendering (della radianza)? Che cosa calcola e da quali parametri dipende? Perché è la sua soluzione si dice essere ricorsiva e come la si può o semplificare per eliminare questa ricorsività**

L'equazione del rendering è l'equazione che permette di ricavare il valore

- » **(1.20) L'equazione del rendering calcola un'integrale ovvero una somma di termini infinitesimi. In particolare l'equazione si può rappresentare sotto forma di integrale/somma su elementi di angolo solido o di superficie. Cosa rappresentano questi elementi nei due casi? Quale termine nell'equazione modella le sorgenti luminose?**

- » **(1.23) Come funziona la procedura di ray casting? I raggi tracciati corrispondono ai raggi luminosi reali nella scena? Perché può essere complesso fare rendering di scene complesse con tale algoritmo? E in cosa si differenzia da esso la procedura di "rasterization" usata nella pipeline delle schede grafiche?**

Il paradigma del ray casting per il rendering prevede di tracciare dei raggi a partire dalla telecamera. Quando interseca un oggetto, si calcola l'angolo di riflessione e si ripete il processo fino ad arrivare alla sorgente di luce.

Fare rendering di scene complesse risulta computativamente molto complesso in quanto i raggi potrebbero, potenzialmente, riflettersi numerose volte all'interno della scena prima di arrivare a una sorgente di luce.

La procedura di rasterization, al contrario, permette

- » **(1.29) Che cos'è la BRDF? Da quali parametri dipende e cosa caratterizza?**
- » **(1.30) In quali casi ha una forma semplificata? È possibile ricavare la BRDF corrispondente al modello di illuminazione di Phong?**
- » **(1.31) Si discuta qualitativamente la differenza tra materiali opachi e lucidi. Quali caratteristiche si osservano nella riflessione della luce nei due casi? Quali differenze si osservano nel loro comportamento rispetto a quello approssimato con il modello di Phong? Esistono modelli maggiormente realistici?**

Lezione 7 – Pipeline di rasterizzazione

SLIDES

- » **Che cosa si intende per pipeline grafica?**

Con pipeline grafica si intende il paradigma di renderizzazione alternativo al ray tracing, ovvero che permette di convertire una scena 3D in un'immagine raster senza dover calcolare l'equazione della radianza.

» **Cos'è il volume di vista canonico?**

Il volume di vista canonico è un tronco di piramide (o un parallelepipedo nel caso della proiezione ortogonale) risultato di una trasformazione prospettica che trasporta e distorce tutti gli oggetti della scena in maniera simile alla proiezione prospettica, ma senza eliminare la terza coordinata. Esso è limitato dal front clipping plane e back clipping plane in un senso, e dai piani generati dalle semirette che uniscono la camera e il due piani nell'altro. Convenzionalmente, le coordinate in questo spazio sono espresse come valori compresi fra $[-1..1]$.

» **Cosa sono e a cosa servono le operazioni di clipping e backface culling?**

Le operazioni di clipping servono a individuare le facce che non ricadono nel frustum di vista – o vi ricadono parzialmente – e eliminarle, spezzandole se necessario.

Il backface culling elimina le facce che non sono rivolte verso la telecamera, poiché trattando modelli chiusi/manifold esse saranno certamente non visibili dalla telecamera.

» **Si descriva l'algoritmo z-buffer**

» **Si descrivano brevemente le operazioni di scan conversion. Qual è il vantaggio dell'algoritmo di Bresenham per rasterizzare i segmenti?**

» **Qual è la differenza tra flat e Gouraud shading?**

Il flat shading calcola il colore una sola volta per faccia, usando la normale della faccia stessa, e lo applica sull'intero triangolo. Questo rende molto evidenti le discontinuità di colore fra una faccia e l'altra a causa della grande sensibilità dell'occhio umano al contrasto. Posso migliorare il risultato aumentando il numero di facce, ma questo comporta un costo computazionale molto maggiore e comunque non risolve del tutto il problema.

Il gouraud shading prevede di calcolare il colore su ciascuno dei vertici della faccia, e interpolare i valori dei vertici all'interno del triangolo. Questo permette di avere un passaggio molto più graduale da una faccia all'altra, ma non riesce a realizzare la specular light in modo credibile – la faccia appare sempre "opaca", e talvolta appaiono strani artefatti (almeno dai suoi esempi lolz)

» **Cosa si intende per compositing?**

Si intende la possibilità di mescolare il risultato della passata di rendering con altri valori, oppure con altre passate di rendering. Questo consente di ottenere effetti come nebbia, oscurità, sfocatura o motion blur.

» **Cosa sono gli shader?**

Sono piccoli programmi in GLSL, un linguaggio simile a C, eseguiti in hardware grafico e che permettono di customizzare la pipeline. Si dividono in diversi tipi:

- Geometry shaders
- Vertex shaders
- Tessellation shaders
- Fragment shaders

AUTOVALUTAZIONE

- » **(1.19) Si descrivano schematicamente le componenti di un'applicazione grafica interattiva, discutendo quali parti sono in genere elaborate dalla CPU, quali dalla GPU, come vengono gestite scena e I/O.**
- » **(1.27) Quali operazioni avvengono nella seconda parte della pipeline di rasterizzazione ("raster subsystem"), ossia quali sono i vari algoritmi che intervengono nel passaggio dalla proiezione dei triangoli alla generazione dell'immagine sul frame buffer?**
- » **(1.28) Cosa si intende per clipping e backface culling? In che fase della pipeline di rasterizzazione avvengono queste operazioni? Si dia un'idea degli algoritmi che vengono utilizzati allo scopo.**

- » **(1.32) Come si può simulare nel rendering con pipeline di rasterizzazione l'effetto fotorealistico della riflessione della scena circostante da parte di un oggetto metallico? Si descriva la procedura in dettaglio.**
- » **(1.33) Come si effettua il rendering di superfici semitrasparenti nella pipeline di rasterizzazione? Come si fa il rendering di una scena che contiene superfici sia opache che trasparenti e come si usa il depth buffer in questo caso?**

Lezione 8 – Texture mapping

SLIDES

» A cosa serve il texture mapping?

Il texture mapping serve ad applicare un pattern (di solito di colore ma anche di altro) su un solido, come una decalcomania: il software dovrà fare lookup dei triangoli nelle loro coordinate all'interno della texture.

» Quali tipi di informazione possono contenere le texture?

Il tipo di informazione più comune è quella sul colore, ovvero la mappatura di un pattern di colore arbitrariamente complesso. Oltre a ciò, è possibile realizzare molti altri tipi di map:

- Bump map: contiene informazioni su come devono essere perturbate le normali. Permette di dare l'idea che la superficie non sia liscia senza però aver bisogno di modificare davvero la geometria
- Displacement map: contiene informazioni su come perturbare la geometria. È computazionalmente molto complesso.
- Normal map: contiene l'orientazione delle normali. Il risultato è lo stesso delle bump map, ma nella texture troviamo le normali già pronte (anziché doverle mediare con le normali della primitiva)
- Shadow map:
- Environment map:###
- Light map###

» In che modo la variazione di distanza degli oggetti può influire nell'effetto del texture mapping?

La variazione di distanza degli oggetti genera una variazione nella dimensione di frammenti generati. Questo, quando viene proiettato sulla texture, può dunque portare a fenomeni di minification o magnification:

- Magnification: il frammento è più piccolo del texel. Posso risolvere prendendo direttamente il colore in cui ricade il centro, oppure eventualmente posso fare la media in base ai texel più vicini. Il secondo metodo è più laborioso ma permette di avere meno scalettatura.
- Minification: il frammento è più grande del texel. Questo porta all'equivalente in 2D del subcampionamento, e rischio di avere effetti di aliasing nel risultato finale! Le tecniche viste sopra purtroppo non risolvono. La tecnica efficace è quella del MIP-mapping, ovvero del "multum in parvum": quello che si fa è diminuire la dimensione della texture finché la dimensione del texel è circa uguale alla dimensione del pixel.

Definiamo un fattore di scala $r = \text{texels/pixel}$ come valore massimo fra x e y , che può variare sullo stesso triangolo, può essere derivato dalle matrici di trasformazione ed è calcolato nei vertici, interpolato nei frammenti

Il livello di mipmap da utilizzare è: $\log_2 r$ dove il livello 0 indica la massima risoluzione

Il livello non è necessariamente un numero intero e può quindi essere arrotondato

» In quali modi si possono costruire le mappature delle immagini sui modelli?

In caso di oggetti molto semplici (cubi, sfere...) è sufficiente definire una funzione parametrica W che mappi le coordinate del solido nelle sue coordinate u, v sulla texture.

Tuttavia, questo diventa molto più complesso nel caso di oggetti più complessi. Quello che si fa normalmente è impostare W come la concatenazione di due mapping diversi:

- S- mapping: l'oggetto viene racchiuso in una primitiva che gli si avvicina, sulla quale viene fatto un mapping parametrico come quello già spiegato
- O-mapping: la primitiva posta all'esterno viene mappata sul solido effettivo. Questo si può fare in diversi modi:
 - o Normali della primitiva
 - o Normali del solido complesso
 - o "Radialmente" a partire dal centro del solido.

» Cosa è l'environment mapping?

Dato un oggetto compatto (e relativamente piccolo) con una superficie lucida riflettente (come la tiera metallica), lo si racchiude in un cubo ideale e si ottengono sei immagini corrispondenti a sei telecamere poste nel centro dell'oggetto e con piano immagine coincidente con le facce dei cubi. Le immagini così ottenute si compongono in una texture map che prende il nome di environment map

AUTOVALUTAZIONE

» (1.21) Cosa sono i fenomeni di minification e magnification nel texture mapping? E come si può ridurre il loro effetto?

[Già risposto]

» (1.22) Si descriva il funzionamento della procedura di texture mapping, descrivendo le parametrizzazioni e le funzioni di corrispondenza introdotte. Come combina nel rendering l'illuminazione calcolata con il texture mapping?

[prima parte già risposto]

Solitamente, nel rendering si combina l'illuminazione calcolata usandola come

- La "color mapping" che si ottiene nel modo descritto applicherebbe la texture come un adesivo (decalcomania)
- Si usa però tipicamente modulare il colore della texture moltiplicandolo per il valore risultante dallo shading.
 - In questo caso è tipico assegnare colore bianco (o grigio) alle componenti ambientale, diffusa e speculare modello di Phong
 - Si ottiene di modulare il colore della texture con l'intensità di illuminazione della superficie calcolata dal modello di Phong.
 - Problema: si perdono gli highlights, che assumono il colore della texture. Soluzione: modulare con la texture separatamente solo le componenti diffusa, ambientale ed emissiva e sommare separatamente alla fine la componente speculare.

1/11/2020

Grafica 3D/Visualizzazione 2010/20

1/0

» (1.34) Cosa si intende per impostori planari? In quali casi possono essere utilizzati con successo nel rendering e per quali applicazioni? In cosa consiste la tecnica del billboard?

Con impostori planari si intendono delle texture 2D posizionate strategicamente nello spazio 3D per simulare oggetti. Solitamente, esse sono utili per simulare oggetti visibili solo a distanza, e che dunque risultano credibili anche se sono semplici disegni piatti anziché modelli reali; un esempio potrebbero essere degli alberi all'orizzonte o una folla.

La tecnica del billboard consiste nel programmare gli impostori planari affinché seguano la telecamera, ruotandosi in modo da essere visualizzati sempre frontalmente. Questo è utile in quanto, se la telecamera dovesse muoversi in modo da essere ai lati di un impostore planare, esso scomparirebbe.

Lezione 9 – Ombre

SLIDES

» Quali sono le proprietà delle ombre proiettate?

Le proprietà delle ombre proiettate sono le seguenti:

- Le ombre proiettate sono solide se la luce è puntiforme, sfocate se è direzionale
- Se la sorgente luminosa coincide col punto di vista non vedo alcuna ombra
- Per le scene statiche, le ombre sono fisse: pur cambiando il punto di vista esse non variano
- L'ombra può essere calcolata proiettando un poligono sull'altro con centro di proiezione fissato al centro della sorgente

» Come si può implementare con la pipeline grafica la tecnica dello shadow volume?

La tecnica degli shadow volumes prevede di calcolare quali porzioni di spazio sono effettivamente in ombra, generando dei tronchi di piramide di ombra per ciascuna primitiva. A questo punto, risulta computativamente molto semplice calcolare se un punto qualsiasi dello spazio si trova all'interno o all'esterno dei tronchi d'ombra: immaginando di assegnare un +1 ogni volta che entro in un cono e un -1 ad ogni uscita, mi trovo in luce solo se il risultato è zero. Capire se sto entrando o uscendo è facile grazie alle normali.

» Quali sono i limiti delle varie tecniche di generazione delle ombre?

- Projected shadows:
 - o Se creo un'ombra con blending avrò sovrapposizione antiestetica fra ombre
 - o Z-fighting: se lo faccio direttamente, avrò z fighting fra l'ombra proiettata e il piano su cui sto proiettando. Posso risolvere dando un minuscolo offset al piano su cui giace l'ombra
 - o Texture: l'effetto delle ombre proiettate su una texture non è ottimale
 - o Altri oggetti potrebbero tagliare l'ombra in modo irrealistico, dato che viene calcolata solo sul piano.
- Shadow maps
 - o Devo utilizzare molti zbuffer, quindi ho un costo computazionale non indifferente
 - o La discretizzazione delle mappe rispetto alla scena può crearmi dei problemi di discretizzazione, ovvero l'ombra appare molto scalettata; questo può accadere a causa della prospettiva, poiché una zona piccola sulla shadow map potrebbe corrispondere a una zona grande nel risultato. Posso trasformare lo spazio della shadow map affinché risulti tutto proporzionato
- Shadow volumes
 - o Molto pesante computativamente poiché devo calcolare tutti i tronchi di piramide

Per quanto riguarda le ombre sfumate:

- Spostamento della sorgente di luce
 - o Devo calcolare più volte il rendering e fare il compositing
- Spostamento dell'oggetto
 - o Devo calcolare più volte il rendering
 - o Devo anche fare del post-processing per sfumare le scalettature fra le varie passate
- Ombre sfumate localmente
 - o Il risultato è buono ma è del tutto diverso dal reale funzionamento delle ombre

AUTOVALUTAZIONE

» (1.26) Descrivere sommariamente due tecniche per generare ombre proiettate nella pipeline grafica, indicandone pregi e limiti.

- Shadow maps: genero uno o sei z-buffer posizionandomi con la telecamera in corrispondenza della sorgente di luce. Quando devo renderizzare un punto, ne calcolo la distanza dalla sorgente; esso sarà in ombra se questo valore è maggiore di quello salvato nello z-buffer.
 - o Devo utilizzare molti zbuffer, quindi ho un costo computazionale non indifferente

- La discretizzazione delle mappe rispetto alla scena può crearmi dei problemi di discretizzazione, ovvero l'ombra appare molto scalettata; questo può accadere a causa della prospettiva, poiché una zona piccola sulla shadow map potrebbe corrispondere a una zona grande nel risultato. Posso trasformare lo spazio della shadow map affinché risulti tutto proporzionato
- Shadow volumes: per ciascuna primitiva genero dei tronchi di piramide d'ombra che rappresentano la porzione di spazio in ombra. Per farlo, genero degli shadow planes – poligoni invisibili che collegano la sorgente e gli spigoli del triangolo. Nel momento del rendering, oltre a fare le mie normali operazioni dovrò anche contare quante volte attraverso gli shadow planes in entrata e in uscita; questo passaggio è semplice in quanto è sufficiente verificare il segno delle normali dei piani. Inizializzo il contatore al numero di shadow volumes dentro i quali è racchiusa la telecamera; il mio pixel sarà in luce solo se la somma di questi passaggi (+1 in entrata, -1 in uscita) sarà zero.
 - Molto pesante computativamente poiché devo calcolare tutti i tronchi di piramide

» **(2.1) Si descriva la tecnica delle shadow maps e se ne evidenzino pregi e limiti**

- Shadow maps: genero uno o sei z-buffer posizionandomi con la telecamera in corrispondenza della sorgente di luce. Quando devo renderizzare un punto, ne calcolo la distanza dalla sorgente; esso sarà in ombra se questo valore è maggiore di quello salvato nello z-buffer.
 - Devo utilizzare molti zbuffer, quindi ho un costo computazionale non indifferente
 - La discretizzazione delle mappe rispetto alla scena può crearmi dei problemi di discretizzazione, ovvero l'ombra appare molto scalettata; questo può accadere a causa della prospettiva, poiché una zona piccola sulla shadow map potrebbe corrispondere a una zona grande nel risultato. Posso trasformare lo spazio della shadow map affinché risulti tutto proporzionato

» **(2.2) Si descriva la tecnica degli shadow volumes e se ne evidenzino pregi e limiti**

La tecnica degli shadow volumes prevede di calcolare quali porzioni di spazio sono effettivamente in ombra, generando dei tronchi di piramide di ombra per ciascuna primitiva. A questo punto, risulta computativamente molto semplice calcolare se un punto qualsiasi dello spazio si trova all'interno o all'esterno dei tronchi d'ombra: immaginando di assegnare un +1 ogni volta che entro in un cono e un -1 ad ogni uscita, mi trovo in luce solo se il risultato è zero. Capire se sto entrando o uscendo è facile grazie alle normali.

I lati negativi sono:

- Molto pesante computativamente poiché devo calcolare tutti i tronchi di piramide
- Se il punto di vista è esso stesso in un cono d'ombra devo modificare l'algoritmo (=la differenza fra entrate e uscite non sarà zero)

I lati positivi sono:

- Concettualmente abbastanza semplice
- Le normali permettono di fare facilmente il calcolo di in/out

» **(2.3) Che cos'è l'ambient occlusion?**

L'ambient occlusion è una tecnica di imulazione di luce/ombre ambientale che prevede di variare la luminosità di zone di una scena in base a quanto essa sia effettivamente "aperta"; in pratica, viene calcolato quanto sia l'angolo solido visibile da ciascun punto. Più l'angolo solido è ampio, più quell'area risulterà illuminata.

Lezione 10 – Animazione

SLIDES

» **Quali sono i limiti della keyframe animation?**

Il limite principale della keyframe animation è che, funzionando per interpolazione, possono generarsi comportamenti imprevedibili: per esempio, se le rotazioni sono rappresentate via angoli di eulero, che portano a instabilità (per esempio) se l'angolo va a zero. Posso risolvere facilmente con i quaternioni.

» **Quali tecniche si usano per animare corpi umani e facce?**

- Linear blend skinning
- Blend shape animation

» **Cosa si intende per skinning e rigging?**

Per skinning e rigging si intende il processo di #####differenza??? Nel cui si assegna a una mesh uno scheletro, e si linkano i due in modo che a ciascun movimento dello scheletro corrisponda un movimento di alcuni (o tutti) vertici. Questo assegnamento avviene, solitamente, per pesi: il movimento di ciascun vertice sarà la somma pesata di tutti i movimenti che “incidono” su quel vertice.

Rigging is where you put joints in the character and make controls that the animator uses to animate the character. Skinning is where geometry is bound to joints so that the geometry of the character moves when you move the joints. Skinning involves things like making skin look like it's sliding over a bone, muscles, etc.

» **Qual è la differenza tra cinematica diretta ed inversa?**

La cinematica diretta dispone le ossa secondo un ordinamento gerarchico. Modificando la posizione o l'orientazione di un bone superiore, tutti i suoi bones figli verranno mossi con esso. Questo rende molto intuitivo settare una certa posizione e dà controllo completo su di esso, ma può essere problematico in quanto non è sempre immediato riuscire a rispettare certi vincoli – per esempio, mantenere il piede appoggiato a terra.

La cinematica inversa fa il lavoro opposto: si decide la posizione del bone figlio, e il programma calcola autonomamente la posizione che devono assumere i bones padri per far sì che il figlio capiti in quella posizione. È molto semplice da usare, ma spesso la risoluzione automatizzata non è quella desiderata e si rivela necessario ritoccare il risultato o settare particolari vincoli.

AUTOVALUTAZIONE

» **(2.4) Che cosa si intende per keyframe animation? Come si interpola l'orientazione nelle diverse rappresentazioni parametriche viste e quale risulta migliore?**

Per keyframe animation si intende un genere di animazione che fissa alcune configurazioni e lascia che sia il calcolatore a interpolare il passaggio dall'una all'altra.

L'interpolazione avviene per via lineare nel caso delle traslazioni. Le rotazioni invece sono spesso problematiche:

- > Interpolare gli elementi di matrici non dà le rotazioni che mi aspetterei,
- > con gli angoli di eulero ho problemi (gimbal lock, traiettorie strane).
- > Con asse-angolo non ottengo sempre quella orretta: l'angolo è corretto ma se gli assi non sono uguali ho un pasticcio

L'interpolazione giusta è quella sulla sfera unitaria, ovvero quella per quaternioni

» **(2.5) Si discutano le modalità tipicamente usate per animare facce e corpi umani nelle applicazioni di grafica.**

- Blend shape animation
- Linear bend skinning
- Cinematica diretta
- Cinematica inversa

» **(2.6) Qual è la differenza tra cinematica diretta ed inversa per controllare l'animazione di uno scheletro.**

La cinematica diretta dispone le ossa secondo un ordinamento gerarchico. Modificando la posizione o l'orientazione di un bone superiore, tutti i suoi bones figli verranno mossi con esso. Questo rende molto intuitivo settare una certa posizione e dà controllo completo su di esso, ma può essere problematico in quanto non è sempre immediato riuscire a rispettare certi vincoli – per esempio, mantenere il piede appoggiato a terra.

La cinematica inversa fa il lavoro opposto: si decide la posizione del bone figlio, e il programma calcola autonomamente la posizione che devono assumere i bones padri per far sì che il figlio capiti in quella posizione. È molto semplice da usare, ma spesso la risoluzione automatizzata non è quella desiderata e si rivela necessario ritoccare il risultato o settare particolari vincoli.

Lezione 11a – Visualizzazione

SLIDES

» Di cosa si occupano visualizzazione scientifica e visualizzazione dell'informazione?

» Cos'è il colore?

A livello percettivo, il colore non è altro che la sensazione prodotta dal nostro cervello in risposta alla stimolazione dei sensori dell'occhio (coni e bastoncelli) da parte dello spettro della luce riflessi sugli oggetti.

Dal punto di vista reale, esso è un fascio di luce prodotto da una somma di frequenze.

Dal punto di vista dello schermo esso è una terna RGB.

» Cosa significa stimolo preattentivo?

Uno stimolo preattentivo è un tipo di informazione percepita istintivamente e molto più velocemente (meno di 1 sec) dal nostro cervello; alcuni esempi sono il raggruppamento o il colore. Non esistono regole "matematiche" per spiegarli, ma si possono evincere da esperimenti.

» Quali sono i passi di un'applicazione di visualizzazione scientifica interattiva

- Filtraggio dei dati
- Visualizzazione
- #####

» Quali tipi di strutture dati si utilizzano nella visualizzazione scientifica?

#####

Lezione 11b – Visualizzazione scientifica

SLIDES

» Come si estraggono le isosuperfici dai volumi?

L'algoritmo che estrae superfici dai volumi è marching cubes,

» Quali problemi ha l'algoritmo che si usa a tale scopo?

Superfici ambigue

» Cos'è il rendering volumetrico diretto?

Raycasting ma mantengo tutti i valori incrociati e li mappo usando una funzione di raggio e una funzione di trasferimento

» Cosa si intende per funzione di trasferimento?

È la funzione che converte uno scalare ottenuto dalla funzione di raggio in un colore, ovvero in una terna RGB.

» Cosa si usa al posto della normale alla superficie nello shading volumetrico per creare gli effetti di illuminazione?

Il gradiente della funzione di trasferimento

» Cosa sono i glifi?

In generale, i glifi sono dei segmenti orientati posizionati su punti sottocampionati del dominio, che mostrano l'orientazione (ed eventualmente l'intensità) di una misurazione in quel punto.

- » **Perché è critico il campionamento della posizione delle frecce per la visualizzazione dei campi vettoriali?**

È critico per problemi di visibilità e interpretazione del grafo:

- Avere un campionamento troppo denso può far sì che tutti i glifi si sovrappongano, rendendo impossibile o quasi interpretare il grafo; se sono troppo poco densi posso non riuscire ad estrapolare l'informazione completa
- Un campionamento troppo regolare potrebbe generare dei pattern ambigui, che non rendano chiaro l'effettivo andamento del flusso, o addirittura potrebbero risultare misleading.

- » **Cosa sono le streamlines? Quando corrispondono alla traiettoria delle particelle nel campo?**

Le streamlines sono delle linee che

AUTOVALUTAZIONE

- » **(2.7) Si propongano delle colormap opportune per visualizzare: a) l'altitudine del suolo (anche negativa in mare) in una cartina geografica. b) la temperatura della superficie terrestre. c) la mappa politica delle nazioni (colore assegnato all'id dello stato)**

- » **(2.8) Si descriva il workflow di un'applicazione di visualizzazione scientifica, indicando come si passa dal dato alle immagini visualizzate e come si può valutare la bontà di una soluzione di visualizzazione dati**

- » **(2.9) Si discuta la differenza tra visualizzazione dell'informazione e visualizzazione scientifica**

- » **(2.10) Si descriva l'algoritmo marching cubes per ricavare isosuperfici**

- » **(2.11) Si discutano le potenziali soluzioni per la visualizzazione di campi vettoriali in 3D**

Visualizzare campi vettoriali in 3D è molto complesso, in quanto quasi certamente avremo problemi di occlusione. Alcune soluzioni sono:

- Superfici (displacement plot): inserisco delle superfici nel mio campo vettoriale, e deformato la superficie seguendo il senso e l'intensità dei vettori che la intersecano. Dà una buona idea del verso e dell'intensità, ma rappresenta solo una piccola parte del mio campo intero, e soprattutto può dare problemi di occlusione e autointersezione.

-

- » **(2.12) Si supponga di avere un dataset medico (scan CT) in cui si vogliano rendere visibili la pelle, un organo interno e le ossa che hanno densità differenti. Si discuta come potrebbe essere definita una funzione di trasferimento adeguata e quali opzioni ulteriori potrebbero essere adottate per migliorare la visualizzazione.**

- » **(2.13) Cosa si intende per windowing nella visualizzazione di un'immagine medica? La scelta del range da mappare per rendere visibile una struttura dipende dal tipo di monitor/display utilizzato? Perché?**

Con windowing si intende l'operazione di mappare linearmente un sottoinsieme dei valori (solitamente la luminosità) presenti in un'immagine in una colormap; il risultato è che avrò un contrasto maggiore fra i valori rappresentati, ma alcuni valori saranno scartati completamente. Ha senso farlo poiché in base all'applicazione usata potrei avere finalità diverse, e in particolare vorrei evidenziare il contrasto in talune zone.

Il range da mappare dipende certamente anche dal monitor/display poiché ciascun monitor potrebbe avere un punto di bianco diverso; è vero che esistono delle funzioni di correzioni e mapping che cercano di mantenere lineare il contrasto, ma per esempio avendo uno schermo con bassa luminosità sarà opportuno mappare il mio range in una colormap più chiara.

