

Seminario su 3D Object Recognition

Daniele Di Donato

Fondamenti di Computer Graphics M a.a.
2010/2011

Outline

- Introduzione
- Acquisizione di modelli 3D tramite scanner, stereo vision, laser scanner
- Registrazione
- Pipeline di riconoscimento
- Categorie Di Descrittori
 - Feature Descriptors
 - Graph Descriptors
 - Other Descriptors
- Esempi di Feature Descriptor
 - CSHOT
 - Content Based Retrieval
 - Mappe di Curvatura
 - Correlogrammi di Curvatura
- Progetto DemoOR

Introduzione

- Con l'aumentare delle capacità di calcolo e di memorizzazione l'utilizzo di modelli 3D in svariati contesti sta avendo notevole interesse.
 - Augmented Reality
 - Applicazioni medicali
 - Sistemi di visione
 - Ricerche in database di modelli.

In questo seminario concentreremo l'attenzione sulla ricerca di modelli all'interno di database tramite una ricerca che tenga conto della forma dei modelli e di caratteristiche peculiari (Content-Based Retrieval) piuttosto che ricerche testuali.

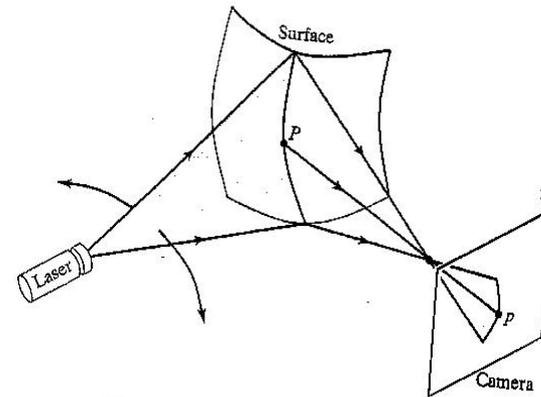
Acquisizione 3D dei modelli

- **Acquisizione tramite scanner 3D**

Il modello viene acquisito attraverso uno scanner laser che misura la profondità mediante tecniche di time-of-flight o pattern-recognition.

-pro: permette di avere un modello 3D completo

-contro: costo della strumentazione e tempo di acquisizione

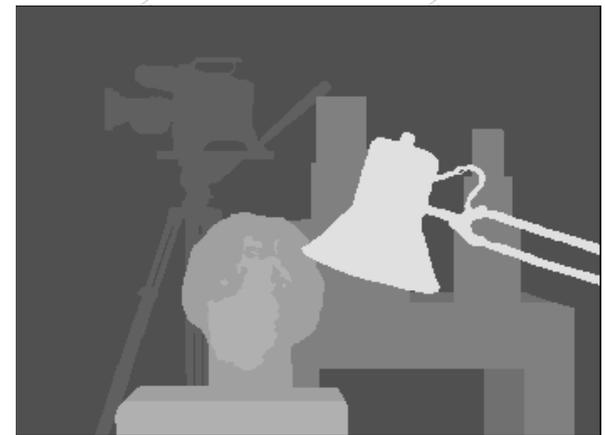


- **Stereo visione**

vengono utilizzate più camere tra loro sincronizzate e viene eseguita una triangolazione mediante la conoscenza di alcuni parametri.

-pro: costo bassissimo delle camere utilizzate, maggiore velocità

-contro: per avere un modello completo necessita della registrazione di più immagini.

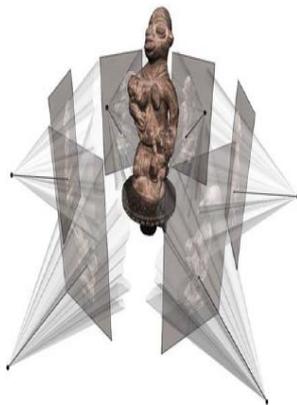


Registrazione

- **Definizione: allineamento/normalizzazione di caratteristiche comuni di entità omogenee osservate in condizioni differenti.**
- **Registrazione di un insieme di immagini**
 - Caratteristiche: **soggetto inquadrato**
 - Condizioni: **inquadratura, esposizione, istante degli scatti, ...**
 - Rilevamento del moto, riconoscimento di oggetti, ricostruzione 3D**

Dati due vettori f_s , f_d di lunghezza N di coordinate corrispondenti, determinare la

trasformazione spaziale f che mette in relazione tali coordinate (e con esse le due immagini).



Terminologia

- Matching: dati dei modelli 3D A e B determinare la loro similarità
 - dissimilarity measures*
- Ritrovamento: dato un oggetto da ricercare e un database di modelli trovare il modello più simile.
 - indicizzazione, costruire strutture dati per una ricerca rapida.*

Metriche

- Parte fondamentale insieme alla struttura dati utilizzata per memorizzare i descrittori è la metrica usata per definire la distanza tra 2 descrittori.
- Spesso la metrica è usata come misura della similarità tra due modelli in modo da poter considerare correttamente anche versioni deformate del modello presente nel database

$$d : X \times X \longrightarrow \mathbb{R}$$

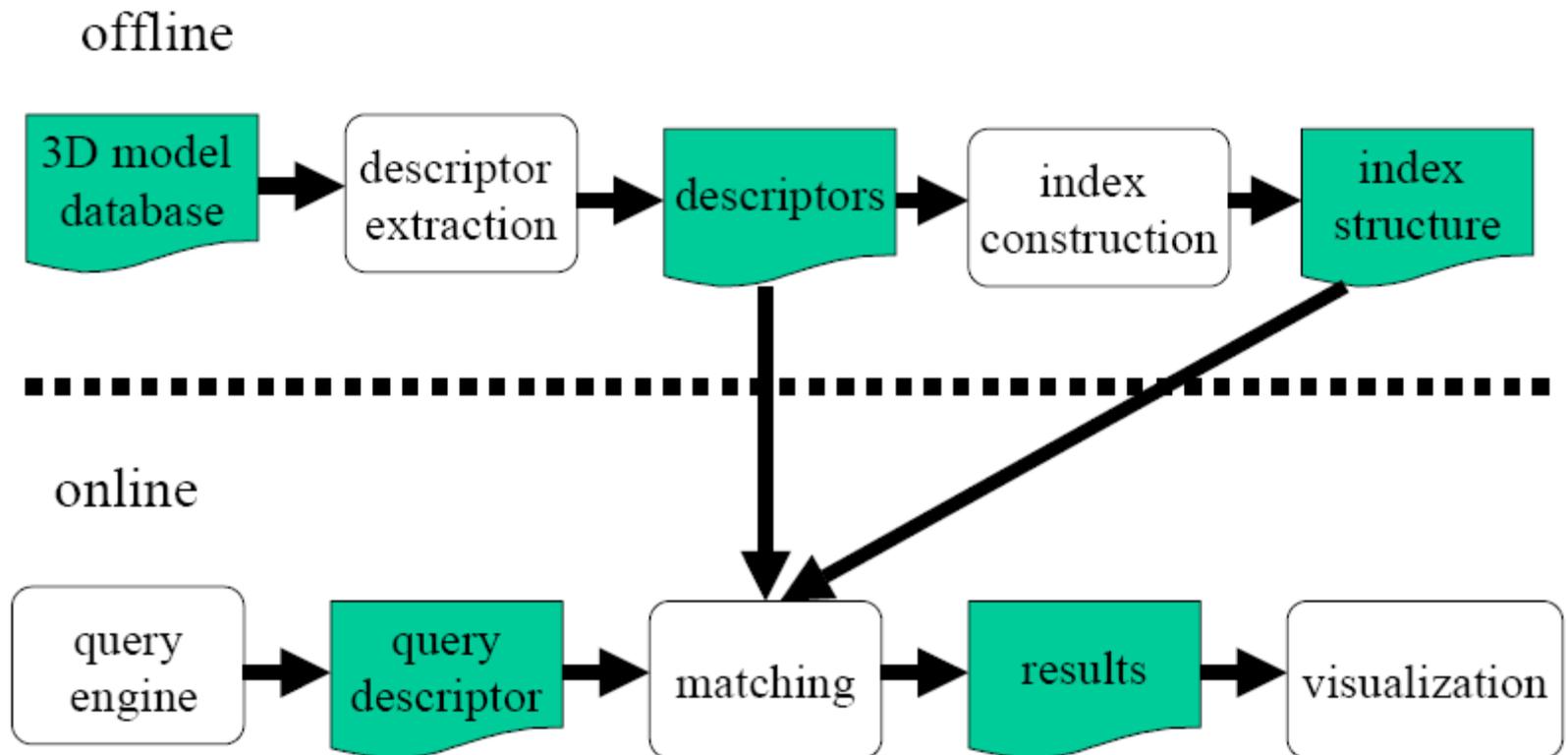
$$d(x, y) \geq 0$$

$$d(x, y) = 0 \iff x = y$$

$$d(x, y) = d(y, x)$$

$$d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$$

Pipeline di Riconoscimento



Pipeline di Riconoscimento

- Fase Offline
 - In questa vengono prelevati i modelli dal database e vengono calcolati per ciascuno di essi i descrittori (descriptors Extraction) . Questi descrittori sono poi utilizzati per definire una struttura dati che permetta la rapida ricerca dei match (index construction)
- Fase Online
 - Dato il modello da ricercare vengono da esso estratti i descrittori. Questi descrittori vengono poi ricercati all'interno della struttura dati preposta nella fase offline.

Normalizzazione

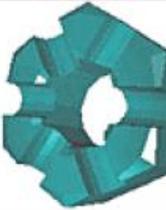
- Per eseguire delle misure di similarità si ha la necessità di avere un sistema di riferimento unico coincidente tra il modello del database e il modello da ricercare (Query Model)
 - Normalizzare le dimensioni tramite scaling
 - O utilizzare descrittori scale-Invariant
 - Normalizzare le traslazioni tramite lo spostamento del centro di massa del modello nell'origine del sistema di riferimento
 - O utilizzare descrittori Translation-Invariant
 - Normalizzare le Rotazioni facendo coincidere gli assi principali del modello con gli assi del sistema di riferimento
 - O utilizzare descrittori Rotation-Invariant

Categorie dei Descrittori

Methods based on	Global features	Global feature
Methods based on feature descriptors	Global features	Global feature distribution
	Spatial map	
	Local features	
Methods based on other descriptors	Reeb graph	
	View based	
	Volumetric error	
	Weighted point set	
	Deformation	

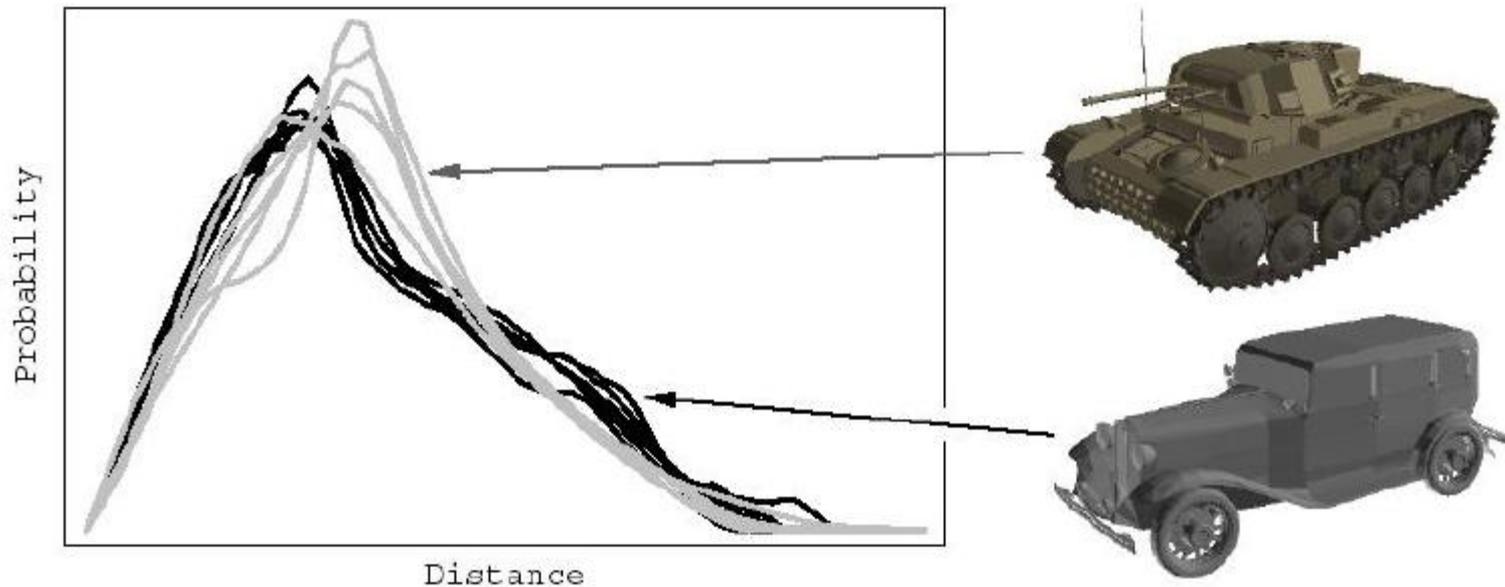
Global Features

- Global Feature. Il riconoscimento si basa sull'estrazione di descrittori globali per tutto il modello.
 - Volume, Area, Coefficienti di Fourier
 - Hull-Based
 - Simmetria Riflessiva

	Model 1	Model 1's Convex Hull	Model 2	Model 2's Convex Hull
Bounding-box aspect ratio				
Hull crumpliness	1.8840		2.3096	
Hull packing	0.8754		0.8803	
Hull compactness	0.2531		0.3297	
	194.6		205.59	

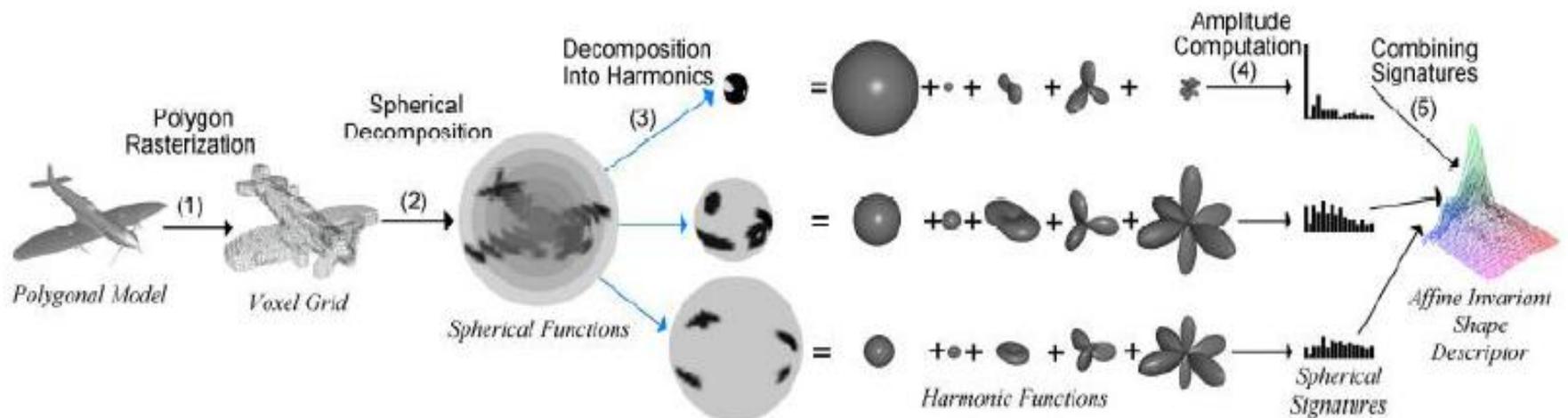
Global Feature Distributions

- Global Feature Distribution. Si basa sull'estrazione di distribuzioni (istogrammi) di feature globali



Spatial Map

- Es: Armoniche Sferiche

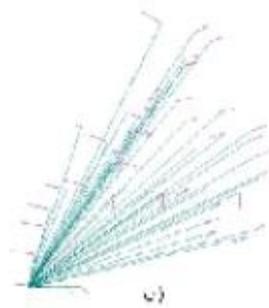


Local Features

- Il riconoscimento utilizza dei descrittori estratti su alcuni punti del modello. Per limitare il numero di punti da descrivere tipicamente questa fase di descrizione viene preceduta da una fase di detection dei punti “principali” (es. spigoli, angoli, ecc...).
- I punti estratti verranno poi descritti secondo varie tecniche.
- Questo metodo anche se è computazionalmente più dispendioso, rispetto all'estrazione di Feature globali, permette di eseguire il riconoscimento di oggetti visibili solo in parte.

Local Features

- Shape Context
- Surface Curvature
- Point signature



Graph Descriptors

Methods based on graph descriptors	Model graph
	Skeleton
	Reeb graph

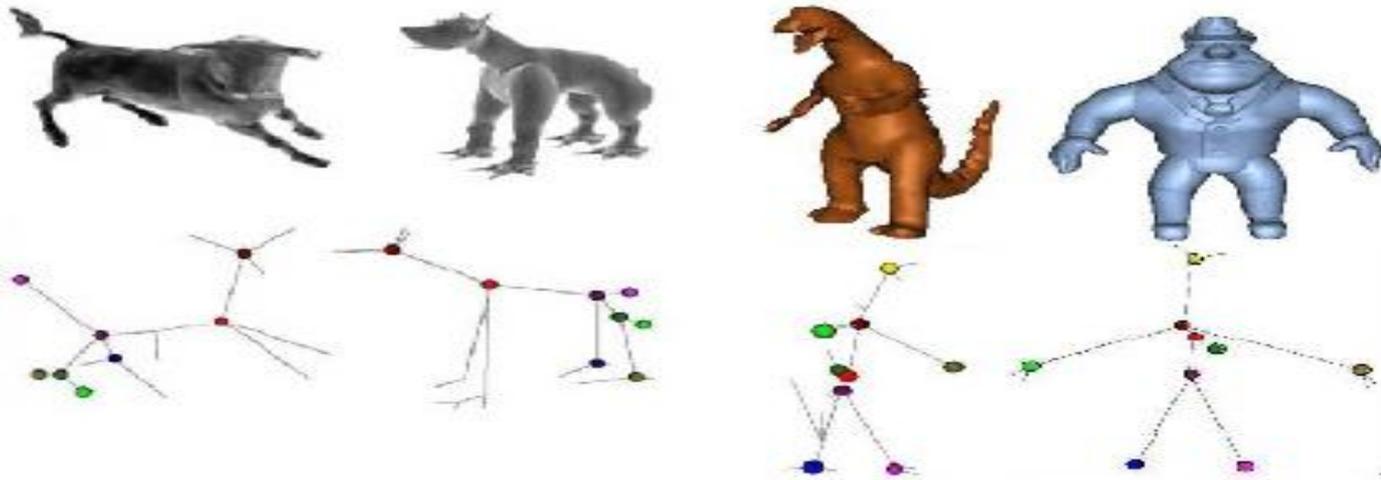
- I descrittori vengono estratti non da caratteristiche (Feature) dell'oggetto (texture, area, curvatura, distribuzioni ecc) ma dal grafo che rappresenta la struttura del modello.

Skeleton

- Il matching tra grafi avviene trovando degli isomorfismi tra parti (sottografi) del grafo.

Douglas Hofstadter:

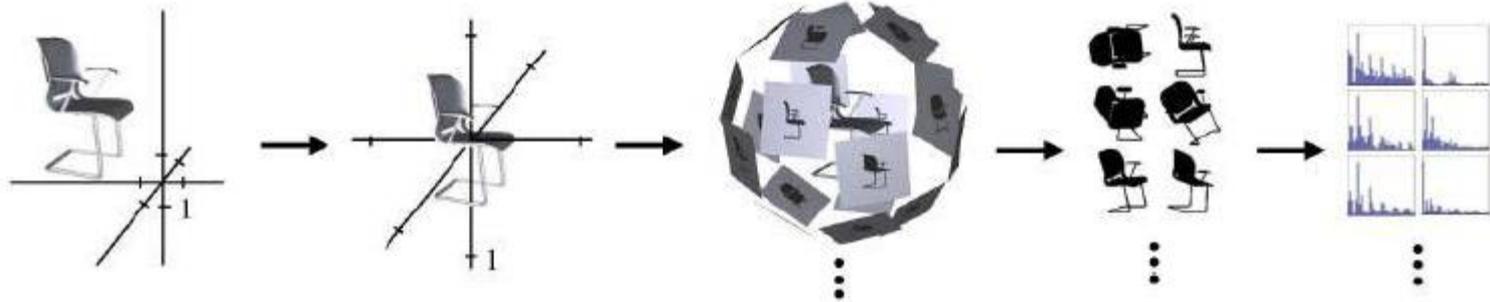
« La parola *isomorfismo* si usa quando due strutture complesse possono essere mappate una nell'altra, in modo che per ogni parte di una struttura c'è una parte corrispondente nell'altra struttura, dove *corrispondente* significa che le due parti giocano ruoli simili nelle loro rispettive strutture. »



Altri metodi di descrizione

Methods based on other descriptors	View based
	Volumetric error
	Weighted point set
	Deformation

View Based



- Questa tecnica utilizza viste di un medesimo modello prese da posizioni differenti. Per ciascuna vista vengono poi definiti dei descrittori singolarmente o utilizzati per definire un descrittore globale al modello

Calcolo Della curvatura

- Una curvatura per ogni direzione tangente
- Curvature principali k_1 e k_2 (massima e minima)

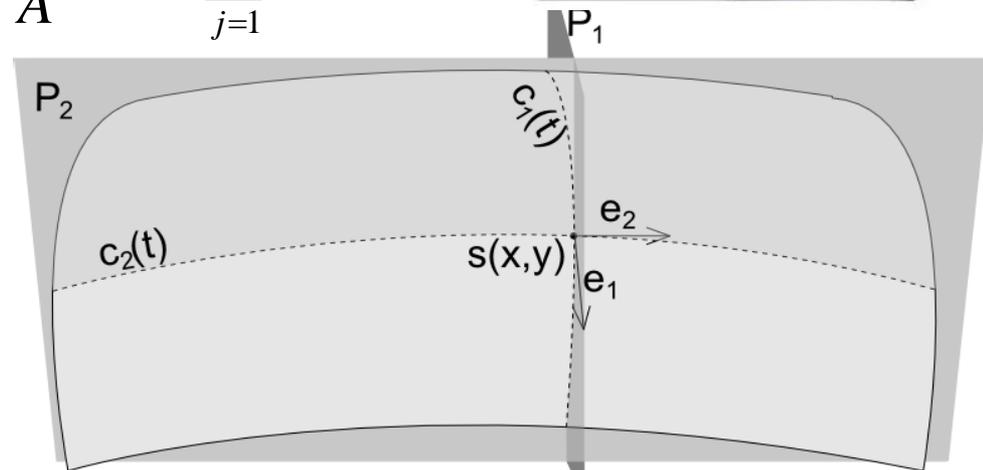
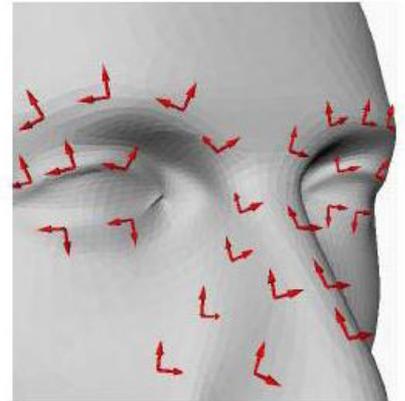
Curvatura gaussiana: $k_G(x_i) = k_1 k_2$

Curvatura gaussiana Discreta: $k_G(P) = \frac{1}{A} (2\pi - \sum_{j=1}^{\#f} \theta_j)$

Curvatura media: $k_H(x_i) = \frac{k_1 + k_2}{2}$

Curvatura media Discreta in P:

$$k_H(P) = \frac{1}{4A} \sum_{j \in N_1(P)} (\cot \alpha_j + \cot \beta_j) \|P - Q_j\|$$



Gabriel Taubin: estimate the tensor of curvature of a surface from a polyhedral approximation

Content Based Retrieval

- I due esempi che seguiranno descrivono l'utilizzo della curvatura di una superficie per la descrizione di modelli 3D e per loro successivo ritrovamento in database
- Gli approcci utilizzati si basano su
 - Mappa della curvatura
 - Correlogrammi di Curvatura

Riconoscimento tramite Mappe di Curvatura

J.Assfalg – A. Del Bimbo – P. Pala

Le mappe di curvatura sono utilizzate in una tecnica di riconoscimento descritta approfonditamente in [1] e descritta successivamente.

Questa tecnica permette la memorizzazione di informazioni sulla curvatura di un modello tramite semplici immagini di più facile memorizzazione e si compone di 4 passi:

- 1)Preprocessing
- 2)Valutazione della curvatura
- 3)Deformazione
- 4)Mapping della curvatura

Preprocessing

1) Pre-processing: in questa fase viene eseguita un'operazione di smoothing sul modello per eliminare il rumore dovuto alla discretizzazione ed al dispositivo di scansione.

Poiché il filtraggio tramite valor medio o filtro Laplaciano porterebbe ad una eccessiva deformazione, viene utilizzato un filtro proposto da Taubin che esegue in modo intervallato un filtro laplaciano con peso $\lambda > 0$ ed un altro filtro di smoothing pesato con μ ($\mu < -\lambda < 0$). In questo modo viene preservata la forma originale del modello.

Successivamente viene eseguita un'operazione di semplificazione del numero di poligoni eliminando in modo iterativo gli edge più corti all'interno di un intorno.

Valutazione della Curvatura

2) Valutazione della curvatura: la curvatura in un vertice v della mesh viene calcolata considerando le variazioni della normale dei triangoli che fanno parte di un suo intorno.

La curvatura in corrispondenza del i -esimo vertice v_i della mesh è stimato calcolando la normale al vertice nel punto v_i e successivamente considerando i vertici vicini viene definita una platelet (piastrina) V_{v_i} . Sia v_j appartenente a V_{v_i} è v_j^\perp la normale a M nel punto v_j . La curvatura nel vertice v_i è stimata come:

$$\gamma_{v_i} = \frac{1}{2} \frac{\sum_{v_j \in V_{v_i}} |v_i^\perp - v_j^\perp|}{|V_{v_i}|}$$

Deformazione

3) Deformazione: questo passo consiste nella trasformazione della mesh originale in una sfera o più precisamente nella nuova mesh che può essere descritta come una funzione della sfera.

Questa operazione è eseguita tramite applicazione iterativa di un operatore di smoothing che segue la formula:

$$M(v_i) \otimes w = \frac{\mu}{\sum_{v_j \in V_{v_i}} w_j} \sum_{v_j \in V_{v_i}} w_j * v_j - v_i$$

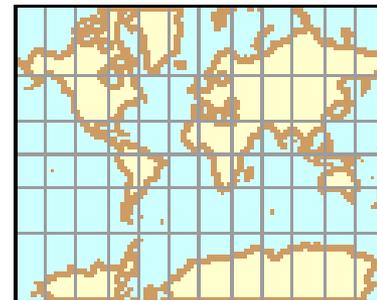
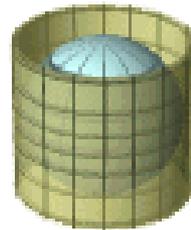
con w vettore dei pesi dipendente dall'operatore utilizzato.

Mapping

4) Mapping: in questa fase si esegue un mapping della superficie della sfera su un piano.

Possibili mapping:

- Gnomonic Projection
- Mercator Projection
- Archimede Projection



Descrizione e Riconoscimento

Dopo aver mappato un oggetto 3D in un immagine 2D contenente le sue informazioni sulla curvatura bisogna definire dei descrittori che saranno utilizzati nella successiva fase di ritrovamento. Nella tecnica descritta vengono utilizzate 2 tecniche di descrizione basata su Istogrammi calcolati su riquadri regolari dell'immagine o tramite descrizione di regioni con curvatura costante.

Nella fase di riconoscimento i descrittori del modello da ricercare vengono confrontati con quelli memorizzati precedentemente.

Riconoscimento tramite Correlogrammi di curvatura

G.Antini – S.Berretti – A. Del Bimbo – P.Pala

- Differentemente dai descrittori basati sul calcolo di istogrammi i quali codificano esclusivamente informazioni riguardo una caratteristica locale, i correlogrammi permettono anche una descrizione della localizzazione relative tra le feature locali.

Correlogramma

- Un correlogramma è un grafico che rappresenta il variare della funzione di autocorrelazione calcolata per differenti ritardi
- La funzione di autocorrelazione per un determinato valore di ritardo equivale a calcolare la funzione di correlazione dello stesso segnale:

$$R_{xy}[n] = (x \otimes y)[n] \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{m=-\infty}^{\infty} x^*[m] y[n + m]$$

Calcolo dei Correlogrammi di Curvatura

- Dopo aver filtrato mediante un filtro di Taubin (come descritto nel metodo precedente) viene eseguito il calcolo dei correlogrammi.
- Per fare ciò i valori della curvatura sono quantizzati in $2N+1$ classi di valori discreti ed ogni vertice è associato ad una classe mediante il valore della propria curvatura.
- Dalla definizione di istogramma abbiamo che l'istogramma della curvatura è data da :

$$h_{c_i}(M) = N_v \cdot \Pr_{v_i \in M}[v_i \in M_i]$$

con \Pr probabilità che il vertice v_i abbia curvatura appartenente a c_i

- Il correlogramma della curvatura è quindi definito come:

$$\gamma_{c_i, c_j}^{(\delta)}(M) = \Pr_{v_1, v_2 \in M} [(v_1 \in M_{c_i}, v_2 \in M_{c_j}) \mid \|v_1 - v_2\| = \delta]$$

- La distanza geodesica tra i due punti può essere sostituita dalla distanza in ring del vertice, la quale rappresenta una metrica.

Matching dei Correlogrammi

- Il matching tra i correlogrammi viene eseguito utilizzando una funzione distanza come:

- Minkowsky-form Distance:

$$d_{L_p} = \left[\sum_{i,j=-N}^N \left| \gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_1) - \gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_2) \right|^p \right]^{1/p}$$

- Histogram Intersection:

$$d_{HI} = 1 - \frac{\sum_{i,j=-N}^N \min(\gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_1), \gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_2))}{\sum_{i,j=-N}^N \gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_2)}$$

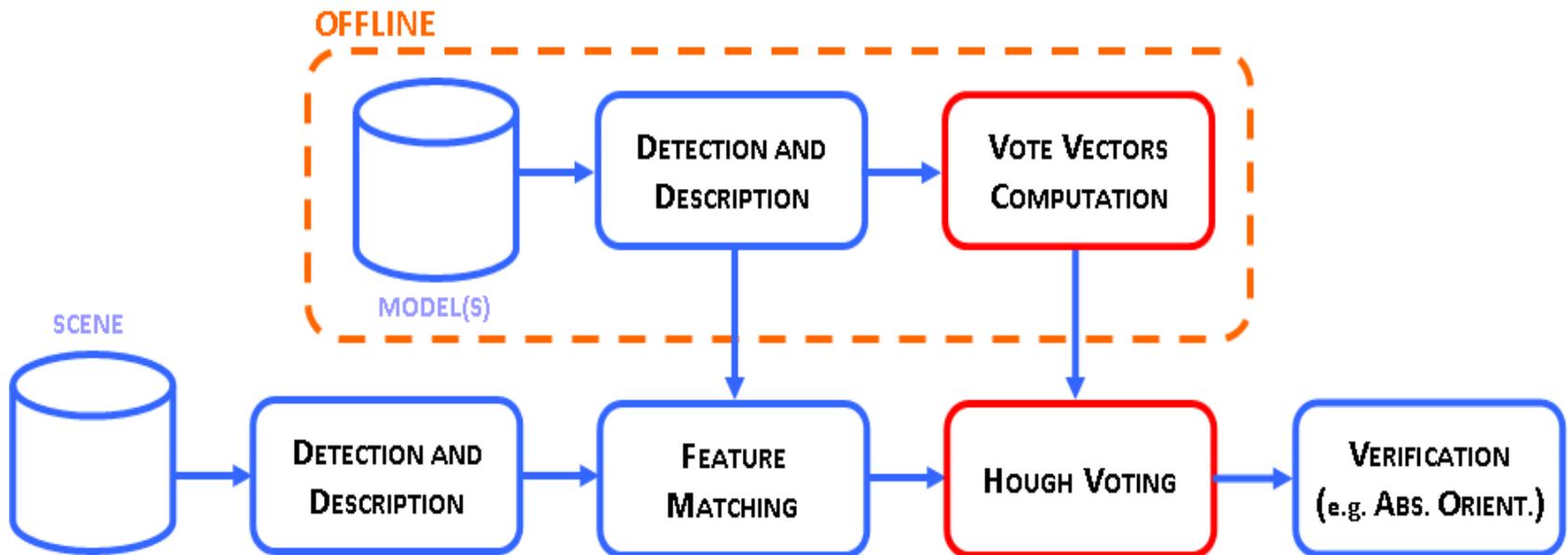
- χ^2 -statistics:

$$d_{\chi^2} = \sum_{i,j=-N}^N \frac{(\gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_1) - \gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_2))^2}{2(\gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_1) + \gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_2))}$$

- Kullback-Leibler divergence:

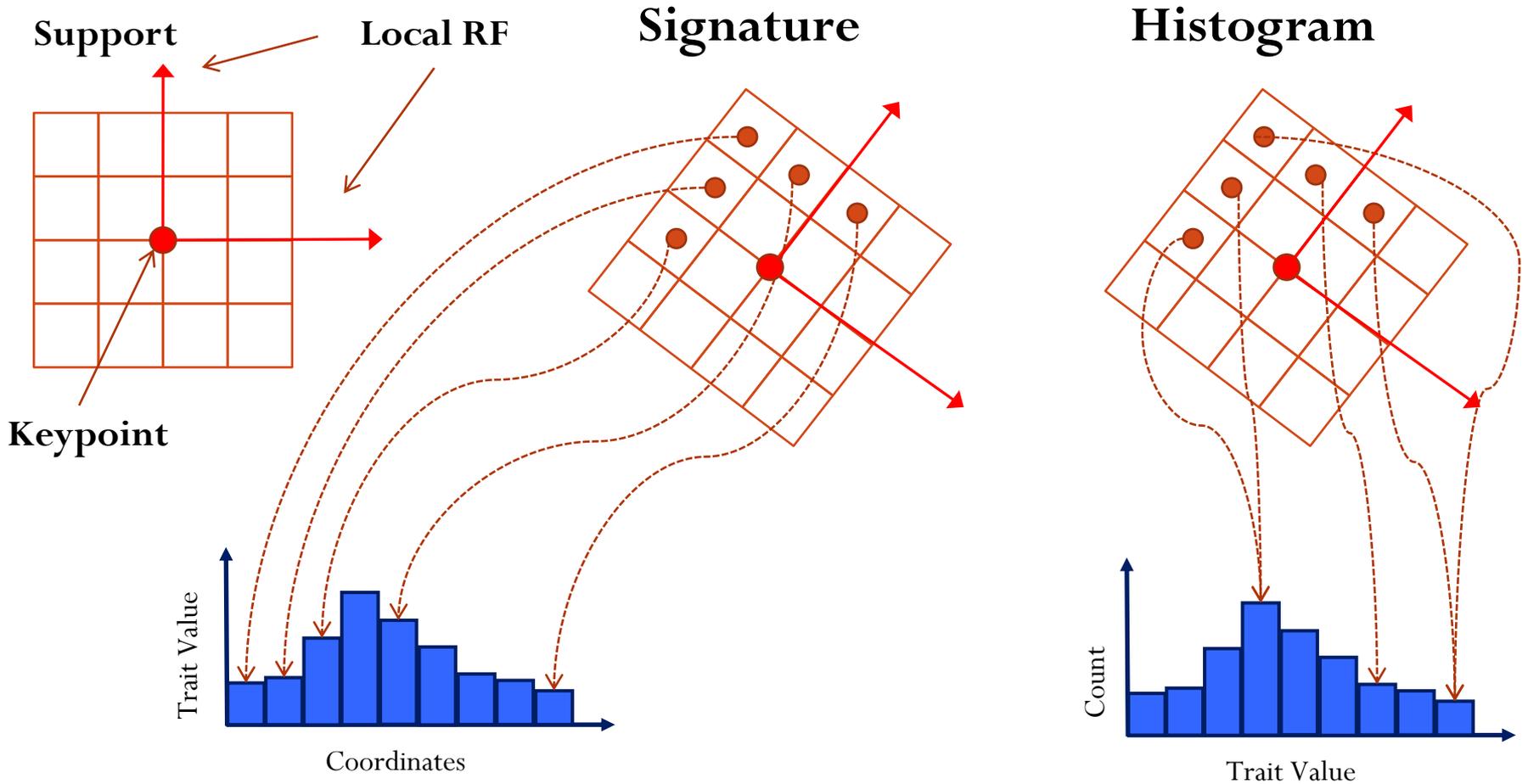
$$d_{KL} = \sum_{i,j=-N}^N \gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_1) \log \frac{\gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_1)}{\gamma_{c_i,c_j}^{(k)}(M_2)}$$

Progetto Demo0R



SHOT – Signature Vs Histogram

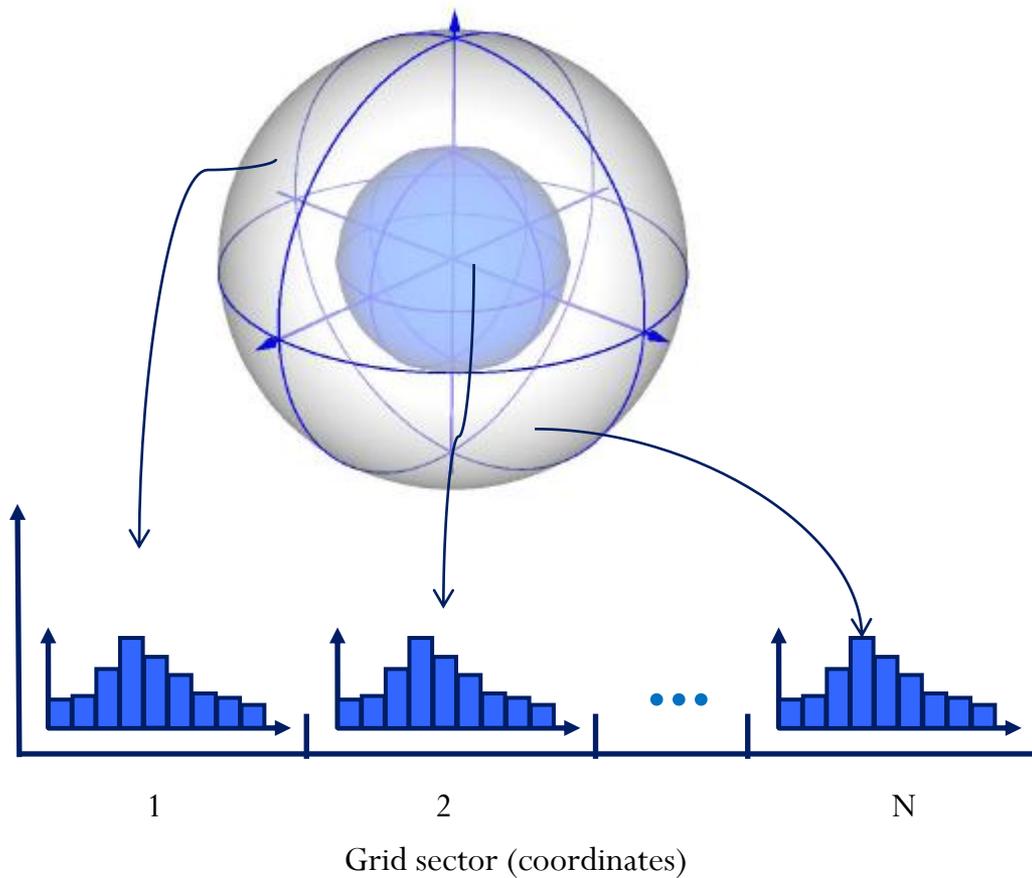
F. Tombari – S. Salti – L. Di Stefano



SHOT

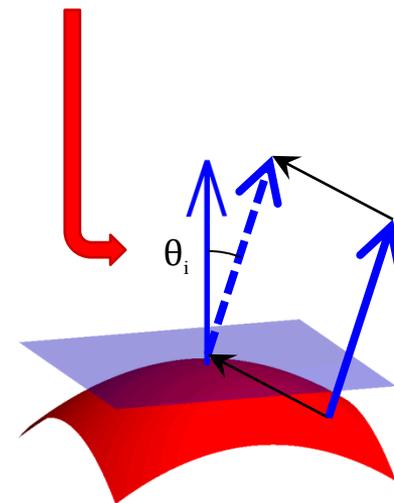
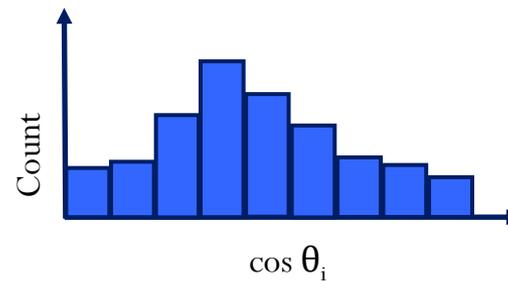
Signature

Robust local RF



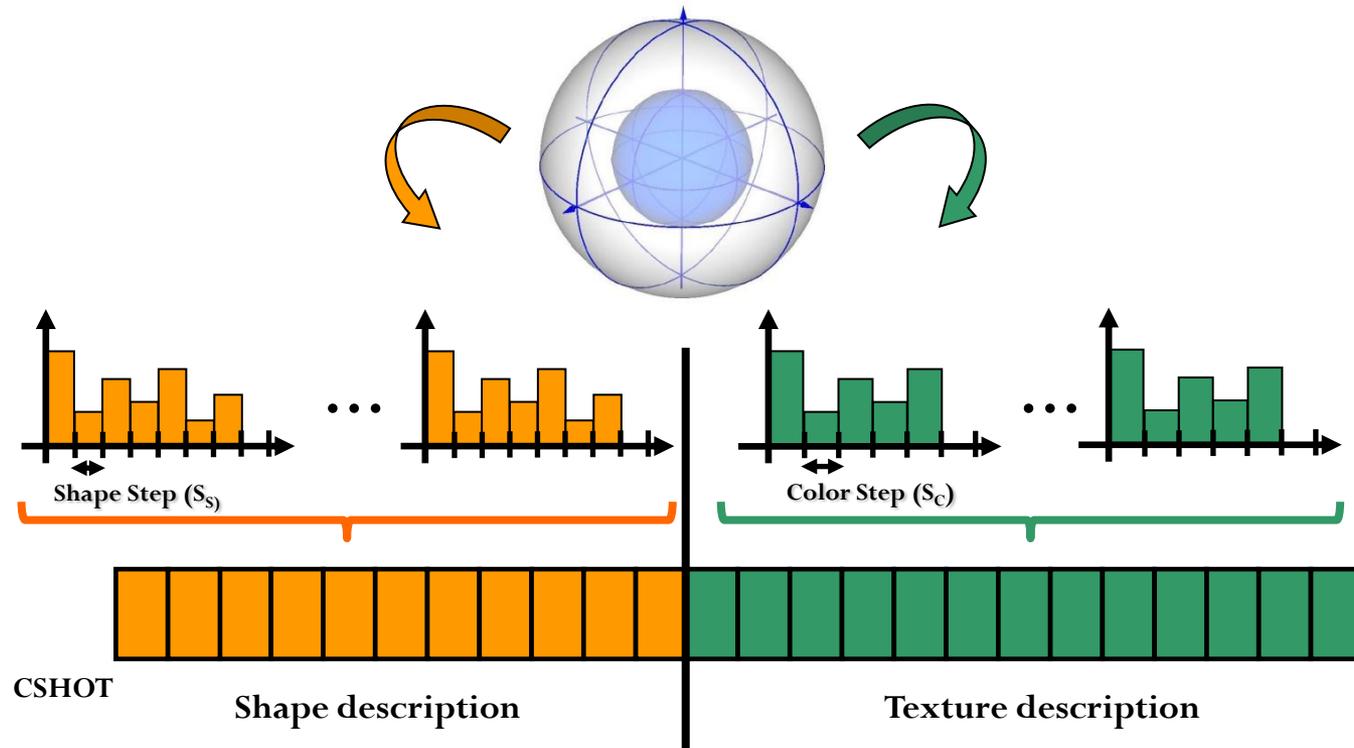
of

Histograms



CSHOT

- Extension to multiple cues of the SHOT descriptor
- C-SHOT in particular deploys
 - Shape, as the SHOT descriptor
 - Texture, as histograms in the *Lab* colour-space



CSHOT-Local Reference Frame

- **Disambiguated Eigenvalue Decomposition** of the (distance-weighted) scatter matrix \mathbf{M} of the support S of the keypoint \mathbf{p}

$$\mathbf{M} = \frac{1}{\sum_{\mathbf{p}_i: d_i \leq R} (R - d_i)} \sum_{\mathbf{p}_i: d_i \leq R} (R - d_i) (\mathbf{p}_i - \mathbf{p})(\mathbf{p}_i - \mathbf{p})^T$$

- Eigenvectors signs are not repeatable, disambiguation

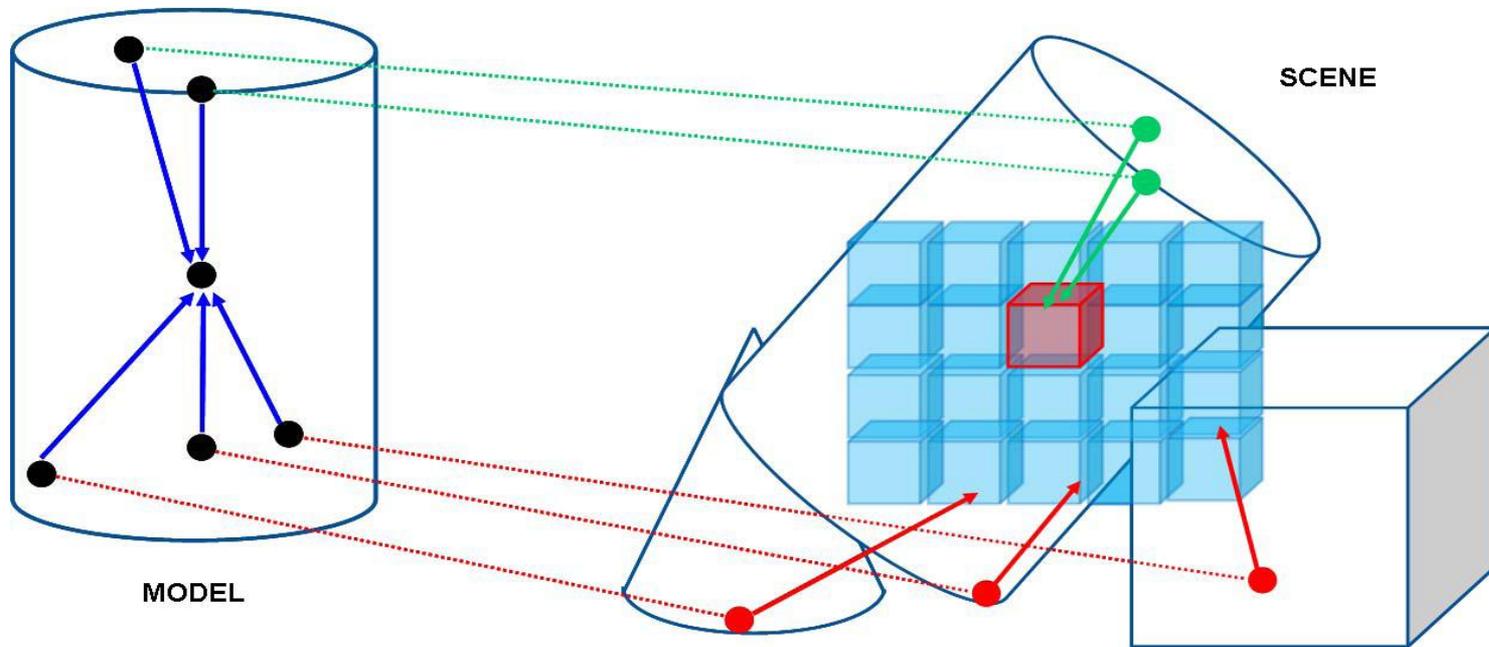
$$x = \begin{cases} x^+ & \text{if } |S_x^+| \geq |S_x^-| \\ x^- & \text{otherwise} \end{cases} \quad \begin{aligned} S_x^+ &= \{i : d_i \leq R \wedge (p_i - p) \cdot x^+ \geq 0\} \\ S_x^- &= \{i : d_i \leq R \wedge (p_i - p) \cdot x^- \geq 0\} \end{aligned}$$

CSHOT-Workflow

- Compute **normals** for all vertexes
- For each keypoint \mathbf{p}
 - For each point \mathbf{q} in the support of \mathbf{p}
 - Compute distance from \mathbf{p}
 - Accumulate distance weighted entry in \mathbf{M}
 - Compute disambiguated EVD of \mathbf{M}
 - For each point \mathbf{q} in the support of \mathbf{p}
 - Compute angle between \mathbf{q} and \mathbf{p} normals
 - Compute ΔE_{00} distance between \mathbf{q} and \mathbf{p} colors
 - Compute grid sector and histogram bin of \mathbf{q}
 - Add weights to the histograms (quadrilinear interpolation)
- Normalize whole descriptor

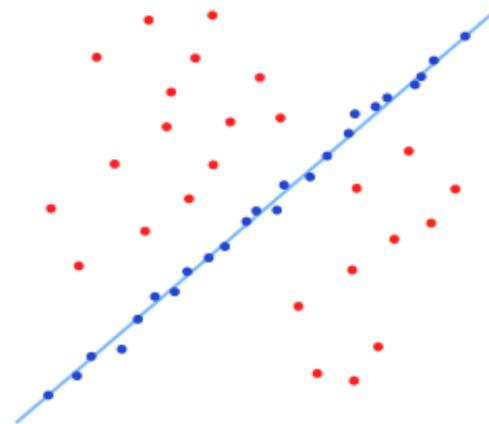
Hough Voting

- I match corretti ottenuti (che ricadono in una certa soglia) si ottengono le feature che verranno utilizzate per eseguire il voting in uno spazio di Hough 3D anch'esso inizializzato tramite le viste dei modelli acquisiti. Al termine della votazione viene eseguita una sogliatura dei voti per scartare i punti che hanno ricevuto poche votazioni (Hough Voting).



Ransac

- L'algorithmo Ransac è un metodo iterativo per la stima dei parametri di un modello matematico a partire da un insieme di dati contenente outlier.
- È un algoritmo nondeterministico nel senso che produce un risultato corretto solo con una data probabilità, che aumenta al crescere delle iterazioni consentite.
- L'assunzione di base per il funzionamento è che i dati siano costituiti da inlier, dati la cui distribuzione può essere caratterizzata dall'insieme di parametri di un modello, e outlier cioè dati che non sono rappresentati da tale modello.



Video

Riferimenti

- 3D shape matching – Course in Shape Matching 2005 Remco Veltkamp
<http://www.aimatshape.net/resources/v-lectures/shapematching/3Dshapematching.pdf>
- “Estimate the tensor of curvature of a surface from polyhedral approximation”. Gabriel Taubin.
- “Content-Based retrieval of 3D models through curvature maps: a CBR approach exploiting media conversion”, J.Assfalg,A. Del Bimbo, P.Pala.
- “Curvature Correlograms for Content Based Retrieval of 3D Objects”, G.Antini,S.Berretti, A. Del Bimbo, P.Pala.
- “Presentazione CSHOT descriptor”, F. Tombari,S. Salti, L. Di Stefano
- “Ransac Algorithm” – wikipedia:
<http://it.wikipedia.org/wiki/RANSAC>
- Progetto DemoOR