



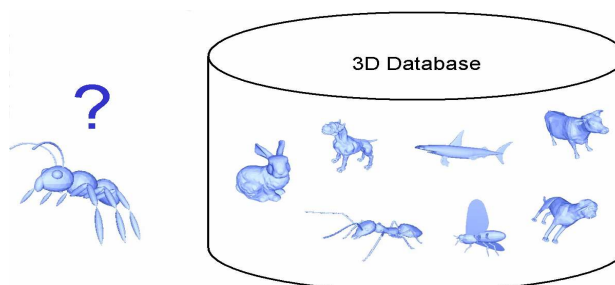
Búsqueda por contenido en bases de datos 3D

Benjamin Bustos

Centro de Investigación de la Web
Departamento de Ciencias de la Computación
Universidad de Chile

Motivación

- Buscar documentos 3D en una base de datos. Usar un modelo 3D como llave de búsqueda



Motivación

- Aplicaciones prácticas
 - Medicina
 - Biología molecular
 - Análisis forense
 - Industria manufacturera
 - Industria del entretenimiento
 - Defensa
 - Etc.

3

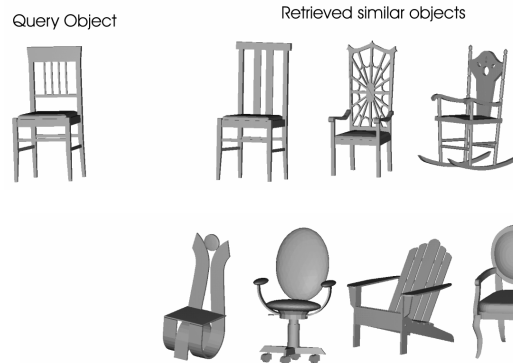
Agenda

- Búsqueda por similitud de objetos 3D
- Normalización de objetos 3D
- Descriptores 3D
- Evaluación experimental
- Desafíos de investigación a futuro

4

Búsqueda por similitud de objetos 3D

■ ¿Similitud geométrica o semántica?

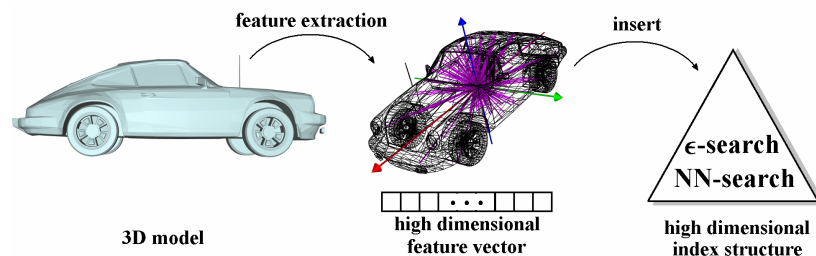


5

Búsqueda por similitud de objetos 3D

■ Procedimiento general de búsqueda

- Extraer automáticamente vectores característicos (*feature vectors*) de los objetos y usarlos como puntos en un espacio de búsqueda



6

Búsqueda por similitud de objetos 3D

■ Problemas relacionados

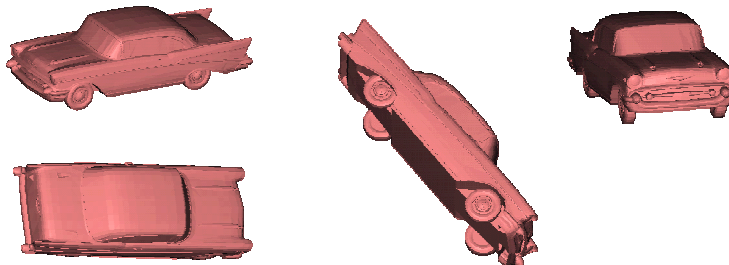
- Normalización
 - Objetos 3D están definidos en unidades y coordenadas arbitrarias
- Extracción de características
 - Describir un objeto 3D usando pocas variables, pero con suficiente poder discriminativo
- Búsqueda por similitud
 - Para un objeto de consulta dado, encontrar eficientemente los objetos relevantes en la BD

7

Búsqueda por similitud de objetos 3D

■ Requerimientos para descriptores 3D

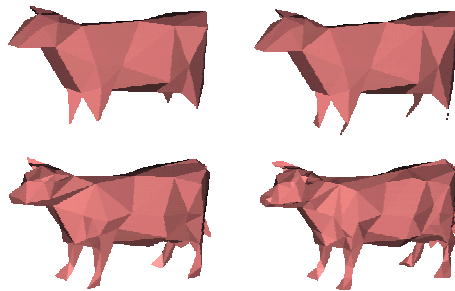
- Invarianza con respecto a rotaciones, traslaciones, escalamientos y (en algunos casos) reflexiones



8

Búsqueda por similitud de objetos 3D

- Requerimientos para descriptores 3D
 - Robustez con respecto al nivel de detalle (*tessellations* diferentes)



9

Búsqueda por similitud de objetos 3D

- Requerimientos para descriptores 3D
 - Robustez con respecto a *outliers*
 - Extracción eficiente de características
 - Representación de características multiresolución
 - Discriminación de formas distintas

10

Búsqueda por similitud de objetos 3D

- Métodos para obtener invarianza
 - Alinear pares de objetos
 - Consume mucho tiempo
 - Encontrar un sistema de coordenadas canónico
 - *Principle Component Analysis* (PCA)
 - Definir descriptores que poseen invarianza implícita
 - Considerar características relativas de conjuntos de puntos o triángulos
 - A través de la suma (o promedio) de características sobre un grupo de transformaciones

11

Normalización de objetos 3D

- Propósito
 - Encontrar un sistema de coordenadas común
- Resultado
 - Invarianza contra traslación, rotación, escalamiento y reflexión
- Herramientas [VSR01]
 - Centro de masa (traslación)
 - Continuous PCA (rotación)
 - Test basado en momentos (reflexión)
 - Factor de escalamiento

12

Normalización de objetos 3D

- Invarianza a traslaciones
 - Mover el centro de masa del objeto al origen ($v-c$)
- Invarianza a rotaciones
 - Orientar el objeto de forma que los tres ejes de coordenadas concuerden con los ejes principales del objeto (matriz de rotación R)
- Invarianza a reflexiones
 - Voltear el objeto de forma que la suma más grande de masas al cuadrado se posicione en el lado positivo de los ejes (matriz de *flipping* F)

13

Normalización de objetos 3D

- Invarianza a escalamientos
 - Escalar el modelo por un factor canónico (s)
- Transformación global del objeto con CPCA

$$\tau(v) = s^{-1} \cdot F \cdot R \cdot (v - c)$$

s : factor de escalamiento

F : matriz de flipping (diagonal)

R : matriz de rotación

$(v - c)$: puntos del objeto trasladados, donde

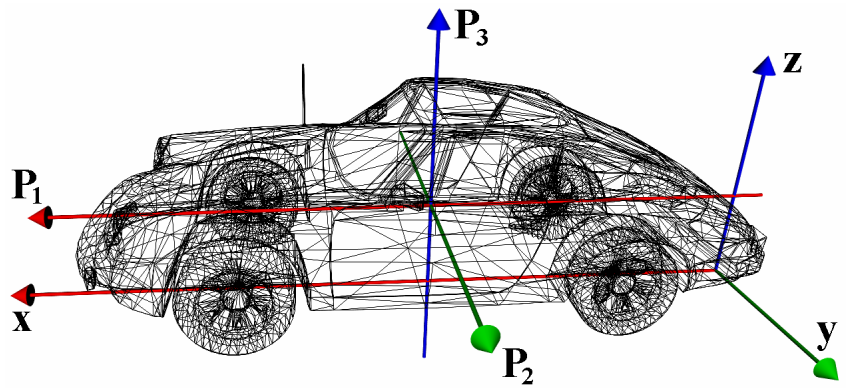
v : puntos del objeto originales

c : centro de masa

14

Normalización de objetos 3D

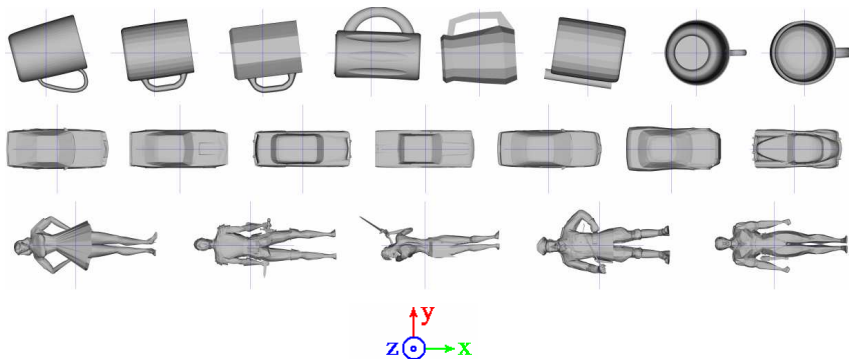
- Ejemplo de normalización con CPCA



15

Normalización de objetos 3D

- Ejemplos de estimación de la posición con CPCA



16

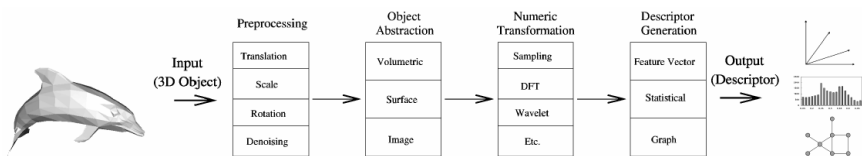
Normalización de objetos 3D

- Ventajas de CPCA
 - Se puede calcular eficientemente (promedio < 35 ms)
 - Puede ser utilizado incluso si la malla geométrica no es orientable o no es una superficie poligonal cerrada
- Desventajas
 - Puede producir resultados no deseados

17

Descriptores 3D

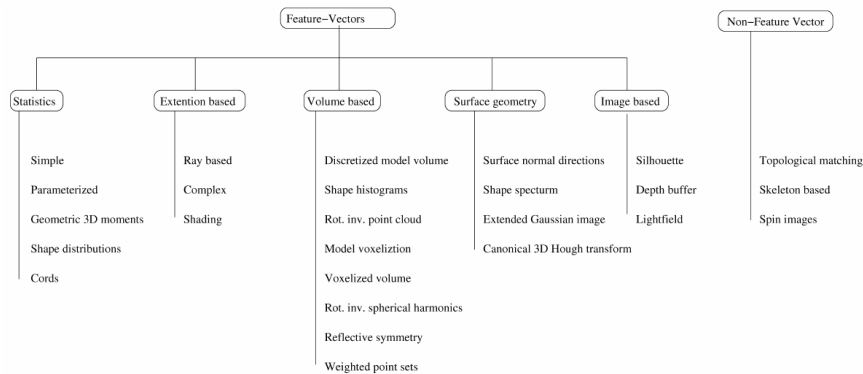
- Proceso multi-etapas para extraer vectores característicos [BKS+06]



18

Descriptores 3D

■ Clasificación de descriptores para objetos 3D [BKS+05]



19

Shape distribution with D2 [OFC+02]

■ Categoría: Estadísticas

■ Idea

- Describir la forma de un objeto 3D como una distribución de probabilidad, mostrada de una función de forma

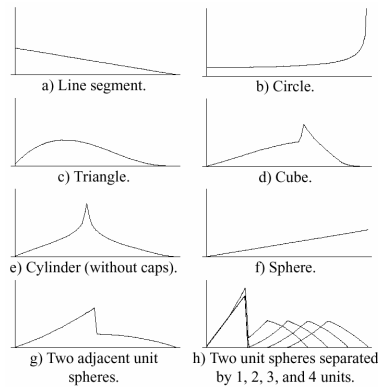
■ Implementación

- Mejor función de forma (empírica): distancia euclidiana entre dos puntos aleatorios en la superficie (D2)
- Construir histogramas a partir de muestras aleatorias de puntos
- Métrica: distancia Manhattan entre histogramas

20

Shape distribution with D2 [OFC+02]

- Histograma de distancias (D2) para algunos ejemplos



21

Extended gaussian image [Hor84]

- Categoría: geometría de la superficie
- Idea
 - Describir la forma de un modelo 3D a través de la distribución de las normales de los polígonos
- Imagen gaussiana de un objeto
 - Vectores normales de todos los polígonos se mapean a su punto respectivo en la esfera unitaria

22

Extended gaussian image [Hor84]

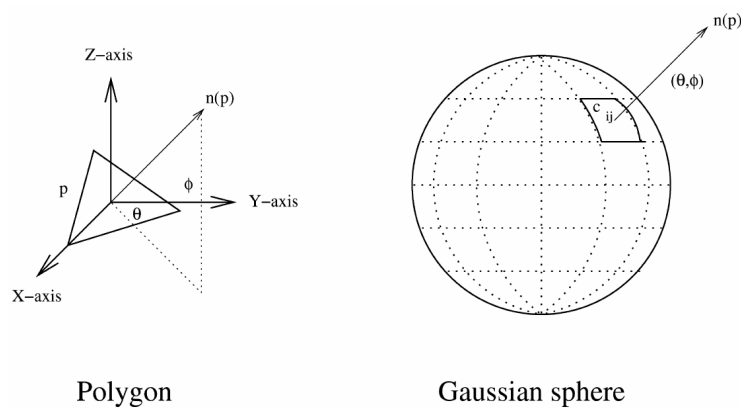
■ Implementación

- Se particiona la esfera unitaria en $R \times C$ celdas (usando R longitudes diferentes y $C-1$ latitudes diferentes)
- Cada celda corresponde a un rango de orientaciones de las normales
- El número de normales mapeadas a la celda c_{ij} corresponde al valor para dicha celda

23

Extended gaussian image [Hor84]

■ Mapeo a esfera gaussiana



24

Extended gaussian image [Hor84]

■ Implementación

- Los valores de las celdas son mapeados a una matriz $R \times C$, denominada la firma del objeto 3D
- La similitud entre dos firmas de objetos a y b está dada por

$$\text{sim}(a, b) = \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C \frac{|a_{ij} - b_{ij}|}{|a_{ij} + b_{ij}|}$$

- Este descriptor es invariante a escalamientos y traslaciones, pero no a rotaciones y reflexiones

25

Ray-based [VS00]

■ Categoría: basado en extensión

■ Idea

- Muestrear un modelo 3D en direcciones espaciales regulares y tratar las muestras como componentes del descriptor

■ Implementación

- Medir extensiones del modelo

u – vector unitario direccional, apuntando a un vértice de un icosaedro que cubre al objeto
 I – conjunto de puntos del modelo

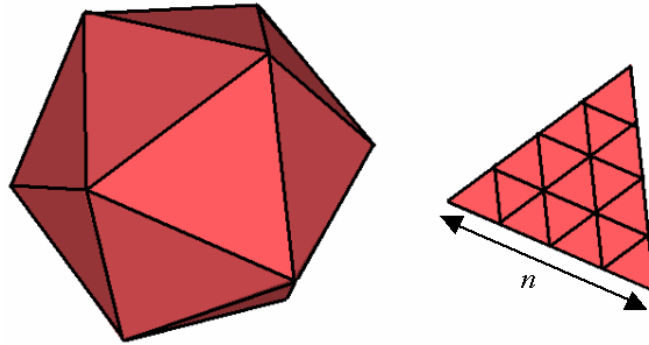
$$r : S^2 \rightarrow R$$

$$\mathbf{u} \mapsto \max\{r \geq 0 \mid r\mathbf{u} \in I \cup \{\mathbf{0}\}\}$$

26

Ray-based [VS00]

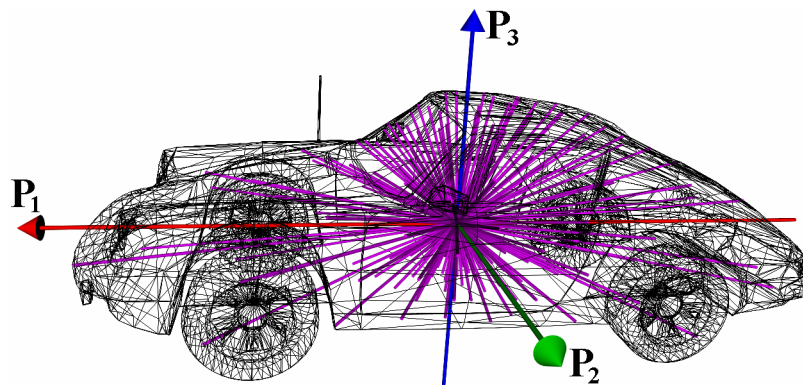
- Número de vectores direccionales: $10n^2+2$



27

Ray-based [VS00]

- Ejemplo (dim=162)



28

Ray-based [VS00]

- Dos problemas importantes:
 - Dimensión alta
 - Baja efectividad cuando se utilizan normas de Minkowski para realizar las búsquedas
 - Valores de las muestras son tratadas como componentes independientes

29

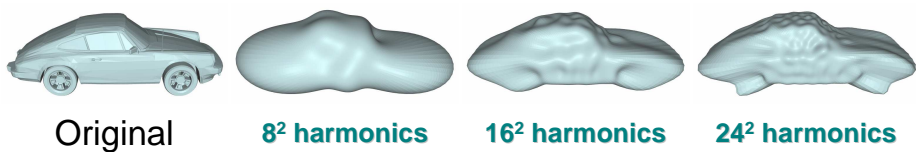
Ray-based with spherical harmonics [SV01]

- Categoría: basado en extensión
- Idea
 - Aplicar transformada de Fourier al muestreo realizado con el método ray-based
 - Obtener una aproximación multi-resolución en el espacio de frecuencias ($x(u)$)
 - Tomar k coeficientes de la transformada como descriptor

30

Ray-based with spherical harmonics [SV01]

- Reconstrucción espacial de una representación $x(u)$ en el espacio de frecuencias, para un número creciente de coeficientes



31

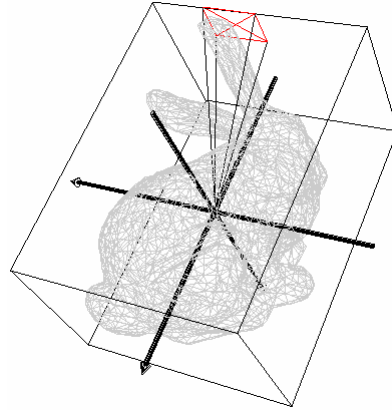
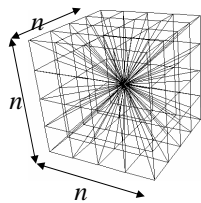
Volume-based FV [HKS+02]

- Categoría: basado en volúmenes
- Idea
 - Cada polígono contribuye con un volumen, dado por el tetraedro formado por el centro de masa y la cara del polígono
 - Signo del volumen depende de la dirección del vector normal del polígono

32

Volume-based FV [HKS+02]

- Esquema de partición
 - Cada superficie es dividida en n^2 superficies
 - Unir con centro de masa
 - Se obtiene un total de $6n^2$ pirámides



33

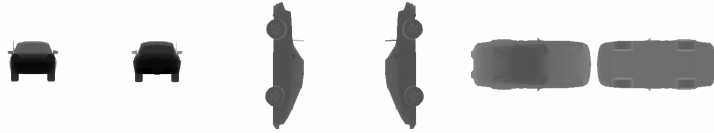
Depth-buffer FV [HKS+02]

- Categoría: basado en imágenes
- Idea
 - Extender proyecciones 2D del objeto 3D con información de la profundidad
 - Se generan seis proyecciones paralelas con escala de grises
 - La distancia del plano de visión al objeto se codifica como una tonalidad gris

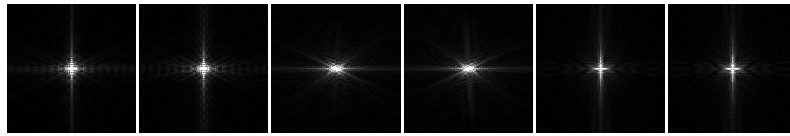
34

Depth-buffer FV [HKS+02]

- Ejemplo



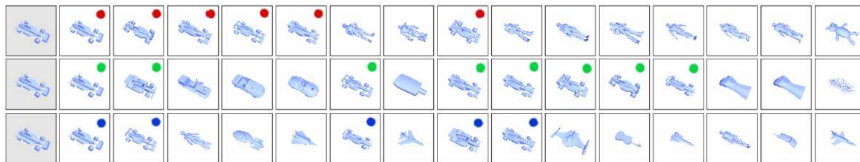
- Las imágenes se transforman usando la transformada de Fourier discreta en 2D



35

Evaluación experimental

- Determinar cuáles son los mejores descriptores 3D



36

Evaluación experimental

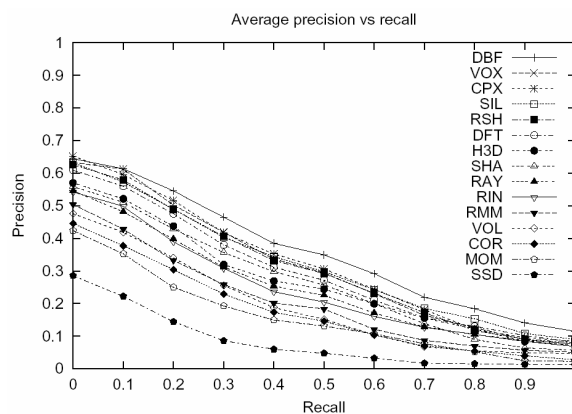
■ Framework experimental

- 1.838 objetos 3D recopilados de la web
 - 472 objetos clasificados en 55 clases (aviones, autos, animales, espadas, plantas, figuras humanas, etc.)
- 16 descriptores 3D implementados
- Medidas para la evaluación
 - Diagramas precision vs. recall
 - R-precision

37

Evaluación experimental

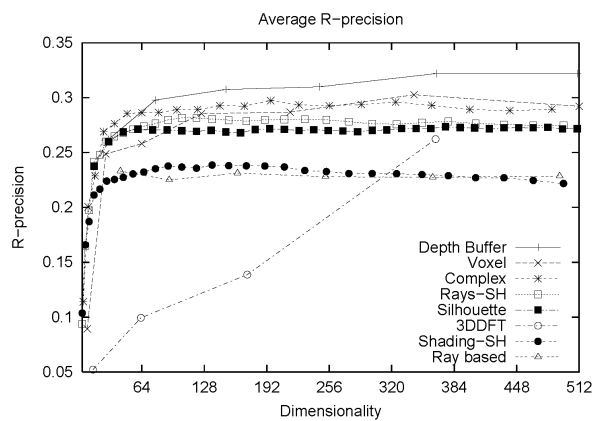
■ Promedio de precision vs. recall



38

Evaluación experimental

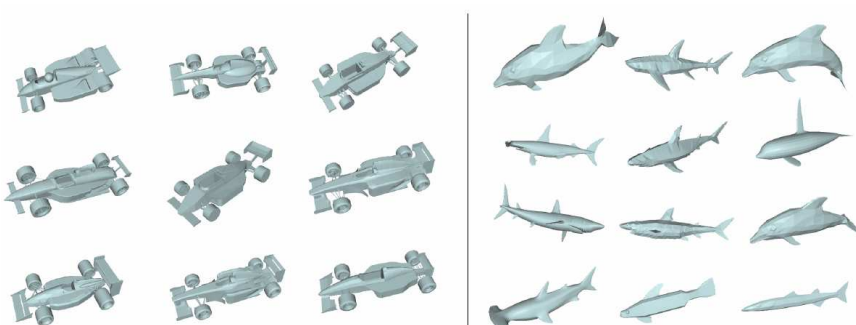
■ Dependencia en la dimensión del descriptor



39

Evaluación experimental

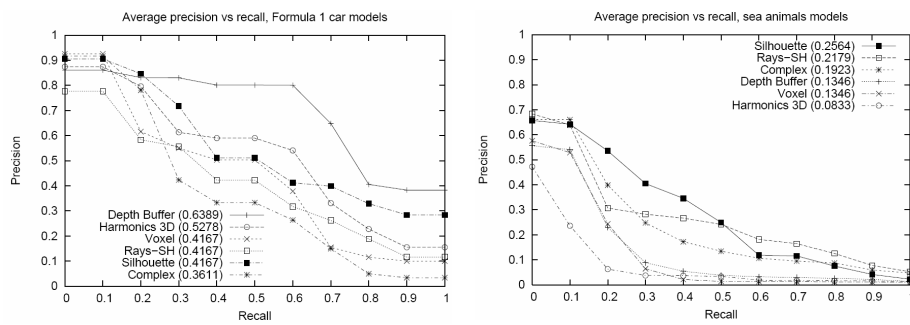
■ Dependencia en el objeto de consulta



40

Evaluación experimental

■ Dependencia en el objeto de consulta



41

Desafíos de investigación a futuro

- No hay representación única de formas 3D
 - Superficie
 - Volumen
- Formato genérico para objetos 3D
 - Muchos formatos propietarios
 - Virtualmente imposible convertir sin pérdida entre formatos

42

Desafíos de investigación a futuro

- Nuevos conceptos de similitud
 - Similitud parcial
 - Similitud local
 - Correspondencias funcionales
 - Similitud a nivel semántico
- Segmentación de objetos 3D
 - Estructura/topología del objeto

43

Desafíos de investigación a futuro

- Búsqueda por contenido eficaz
 - Métodos para seleccionar descriptor óptimo
 - Métodos para combinar descriptores
- Objetivo final: biblioteca digital 3D
 - Integración desde diversas fuentes heterogéneas en un repositorio descentralizado y unificado
 - Análisis automático de grandes colecciones 3D

44

Referencias

- [BKS+05] B. Bustos, D. Keim, D. Saupe, T. Schreck, and D. Vranic. Feature-based similarity search in 3D object databases. *ACM Computing Surveys*, 37(4):345-387, 2005
- [BKS+06] B. Bustos, D. Keim, D. Saupe, T. Schreck, and D. Vranic. An experimental effectiveness comparison of methods for 3D similarity search. *International Journal on Digital Libraries, Special issue on Multimedia Contents and Management in Digital Libraries*, 6(1):39-54, 2006
- [HKS+02] M. Heczko, D. Keim, D. Saupe, and D. Vranic. Methods for similarity search of 3D objects. *Datenbank-Spektrum*, 2(2):54—63, dpunkt.verlag, 2002
- [Hor84] B. Horn. Extended Gaussian Image. *Proceedings of the IEEE*, 72(12):1671—1686, 1984
- [OFC+02] R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, and D. Dobkin. Shape distributions. *ACM Transactions on Graphics*, 21(4):807—832, 2002
- [SV01] D. Saupe and D. Vranic. 3D Model Retrieval with Spherical Harmonics and Moments. In *Proc. DAGM 2001*, pages 392—397, 2001.
- [VS00] D. Vranic and D. Saupe. 3D Model Retrieval. In *Proc. Spring Conference on Computer Graphics and its Applications (SCCG'00)*, pages 89—93, 2000
- [VSR01] D. Vranic, D. Saupe, and J. Richter. Tools for 3D-object Retrieval: Karhunen-Loeve Transform and Spherical Harmonics. In *Proc. IEEE Workshop Multimedia Signal Processing*, pages 293—298, 2001

¡Gracias por la atención!