

Software para la Extracción del Esqueleto por Contracción y Suavizado

Alexander Pinzón Fernández, Eduardo Romero Castro¹

Grupo de Investigación Bioingenium, Universidad Nacional de Colombia

Resumen

Este artículo presenta un software para el procesamiento, visualización, y extracción del esqueleto desde mallas de polígonos. El software se diseñó con base en un sistema de plugins y filtros, se implementó un plugin que contenía un filtro para la extracción del esqueleto por contracción en dirección gradiente con suavizado Laplaciano. El software producido proporciona una plataforma flexible para el diseño e implementación de plugins.

Palabras clave: extracción del esqueleto, suavizado Laplaciano.

1. Introducción

Durante los últimos años con la llegada de las Z-cam, cámaras que permiten medir la profundidad de los píxeles se ha incrementado la demanda por sistemas que permiten reconstruir tridimensionalmente la escena. La captura de movimiento en estas escenas reconstruidas se puede lograr mediante la extracción del esqueleto, creando la posibilidad de crear interfaces de control que se alimenten de las señales producidas mediante gestos realizados por las personas.

La información recolectada mediante estos sistemas permite la realización de un análisis cuantitativo del movimiento permitiendo estimar de forma precisa datos como velocidad, aceleración, entre otras, estas medidas se utilizan en áreas como la medicina para el diagnóstico de patologías asociadas a la marcha, o en el cine para la animación de personajes, o en los deportes para analizar las posturas de un gimnasta.

2. Trabajo Relacionado

En computación gráfica se definen los esqueletos (estructuras 1D) como versiones simplificadas de la geometría y topología de un objeto 3D que permiten reducir la dimensionalidad de los objetos y capturar las relaciones dinámicas

¹Eduardo Romero. Carrera 30 45-03, Ed. 471 Facultad de Medicina, +57 1 3165491, edromero@unal.edu.co

esenciales para describir la dinámica de un objeto, por ejemplo, en el análisis de marcha los movimientos normales y patológicos están definidos por un conjunto de relaciones de sus articulaciones Svensson et al. [15], Starck et al. [14]. Habitualmente, la extracción del esqueleto se realiza con técnicas que reducen la dimensionalidad de un objeto, teniendo en cuenta ciertas restricciones de contracción y minimización de energía hasta encontrar un esqueleto irreducible ó encontrar sus ejes medios Au et al. [2]. Sin embargo estas representaciones simplistas generalmente pierden información de posiciones anatómicas importante para una aplicación clínica. Por otra parte, las representaciones topológicas de un objeto tridimensional, permiten hacer simplificaciones mediante grafos y relaciones dadas por un esqueleto apriori que permite minimizar el error entre el esqueleto y el grafo de Aguiar et al. [8], Hernandez Esteban and Schmitt [10], Bradley et al. [3], lo cual conlleva a restricciones para la estimación de diferentes modelos.

Otras aproximaciones permiten hacer una estimación en 2D, para luego utilizar información a priori que permita estimar como fue transformado el esqueleto tridimensional real Remondino and Roditakis [13], Ait Aider et al. [1], Cheng et al. [6] el problema radica en utilizar modelos a priori además de esqueletos de entrenamiento. Finalmente los modelos probabilísticos permiten resolver incorporar las dependencias espaciales entre los vértices en el proceso de agrupamiento, y proveer una solución globalmente óptima. En particular, basados en Campos Aleatorios de Markov Gibbs (MRF) Lavoué and Wolf [12], Caillette et al. [4], Hou et al. [11] en estos modelos el problema radica en el uso de modelos a priori.

Los software encontrados en el área para extraer esqueletos no tienen una arquitectura bien definida y no disponen de API de programación Cao et al. [5], además estos sistemas tienen grandes limitaciones de rendimiento pues usan sistemas interpretados como MATLAB que procesan de forma ineficiente grandes cantidades de datos, que es lo común en este tipo de problemas de la extracción del esqueleto.

3. Métodos de Suavizado de Mallas

Los métodos para suavizar mallas reducen el ruido, o permiten iterativamente eliminar frecuencias altas presentes en el muestreo tridimensional de los modelos .

El ruido en las mallas es generalmente proveniente de los problemas de captura mediante escaneros láser, o en los errores de estimación cuando los modelos se obtienen por reconstrucción tridimensional desde imágenes Desbrun et al. [9].

3.1. Método de Taubin

Es un método para suavizar mallas de polígonos mediante una adaptación del análisis discreto de Fourier en tres dimensiones Taubin [16].

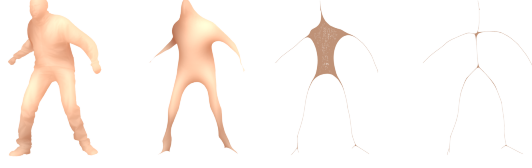


Figure 2: De Izquierda a derecha: Malla contraída iterativamente

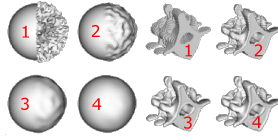


Figure 1: (1) Modelo original, (2 3, 4) después de (10, 50, 200) iteraciones respectivamente-Taubin [16]

3.2. Metodos Laplacianos

La idea básica consiste en mover un vértice en la misma dirección del Laplaciano .

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \lambda L(X),$$

que se implementa como la ecuación de diferencias hacia adelante

$$X_{t+1} = (I + \lambda L) X_t$$

donde X es el conjunto de vértices, L es el Laplaciano, y $\lambda \in \mathbb{R}$ es la velocidad de difusión.

Y la aproximación discreta es:

$$L(x_i) = \sum w_{ij} (x_j - x_i), x_j \in Vecinos(x_i)$$

3.2.1. Extracción del Esqueleto

La Esqueletonización reduce la dimensionalidad y representa un cuerpo como un estructura uní-dimensional Cornea and Min [7].

El método converge hacia una malla contraída usando el suavizado.

El esqueleto puede ser obtenido suavizando la malla pero bajo dos restricciones, W_L que da peso al Laplaciano y W_H que mantiene los vértices en su localización original.

Extracción del esqueleto.

$$\begin{bmatrix} W_L L \\ W_H \end{bmatrix} X_{t+1} = \begin{bmatrix} 0 \\ W_H X_t \end{bmatrix}$$

Donde $L(X)$ = Suavizado Laplaciano y W_L , W_H deben ser iterados

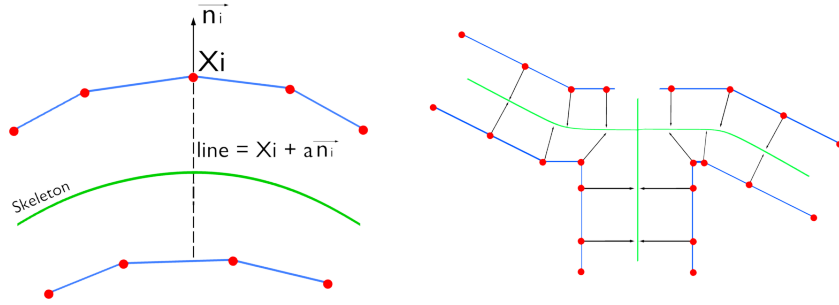
$W_L^{t+1} = S_L W_L^t$: Restricciones de contracción, $S_L = 2,0$

$W_{H,i}^{t+1} = W_{H,i}^0 \sqrt{\frac{A_i^0}{A_i^t}}$: Restricciones de atracción

A_i^t y A_i^0 son el área actual y el área original del anillo del vértice x_i

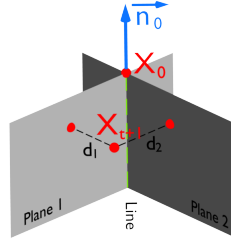
t = representa cada iteración

Y la nueva restricción propuesta en este trabajo



- Tratar de suavizar los vértices a lo largo de la línea

Una dificultad adicional es la introducción de la distancia a una línea en el tradicional ecuación $AX=B$



La distancia del punto a la línea

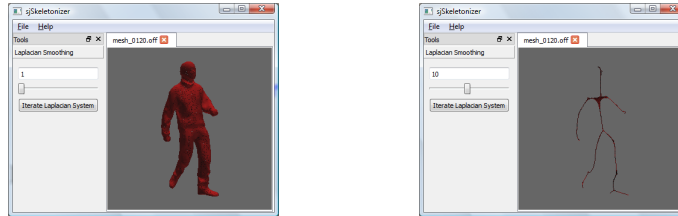
$$line = \vec{P_1} + t\vec{P_2}, point P_0 \Rightarrow distance(line, P_0) = \frac{|(P_2 - P_1) \times (P_1 - P_0)|}{|P_2 - P_1|}$$

Cada punto en un plano satisface esta ecuación

$$P_0 : a\mathbf{x} + b_0\mathbf{y} + c_0\mathbf{z} + d_0 = 0.$$

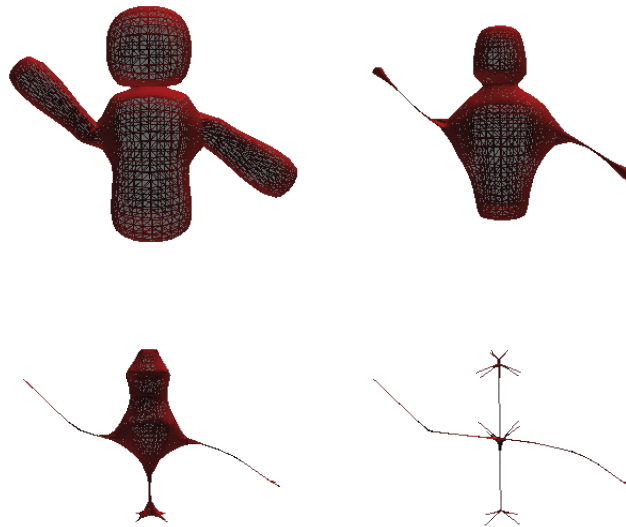
Los puntos de una línea pertenecen a dos planos simultáneamente cuyas ecuaciones pueden ser completamente determinadas por la ecuación de la recta.

4. Software Skeletonizer



- sjSkeletonizer es nuestro software de pruebas sobre C++.
- Usa CGAL (Computational Geometry Algorithms Library)
- Usa Graphite (Software de Geometria Numerica y Computacion Grafica)
 - Se integraron las siguientes librerias de procesamiento numerico: ACE, AMD, ARPACK, ARPACK_UTIL, CBLAS, CCOLAMD, CHOLMOD, CLAPACK, COLAMD, F2CLIBS, METIS, MISC, NL, SUPERLU, TAUCS
- Usa QT (Toolkit for creating graphical user interfaces)
- Usa OpenGL (Open Graphics Library)

5. Resultados



- Los vertices se pueden mover a lo largo de la línea.

- El esqueleto tiene muchas ramas.
- Muchas mas ecuaciones que incógnitas.
- La solución debe ser restringida a una región particular de la línea.

Referencias

- [1] O. Ait Aider, N. Andreff, J.M. Lavest, and P. Martinet. Simultaneous object pose and velocity computation using a single view from a rolling shutter camera. pages II: 56–68, 2006. 3D Reconstruction.
- [2] Oscar Kin-Chung Au, Chiew-Lan Tai, Hung-Kuo Chu, Daniel Cohen-Or, and Tong-Yee Lee. Skeleton extraction by mesh contraction. *ACM Transactions on Graphics*, 27(3):10, 2008. Skeleton Extraction.
- [3] Derek Bradley, Tiberiu Popa, Alla Sheffer, Wolfgang Heidrich, and Tamy Boubekeur. Markerless garment capture. *ACM Trans. Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, 27(3):99, 2008. 3D Reconstruction.
- [4] Fabrice Caillette, Aphrodite Galata, and Toby Howard. Real-time 3-d human body tracking using learnt models of behaviour. *Comput. Vis. Image Underst.*, 109(2):112–125, 2008. ISSN 1077-3142. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2007.05.005>. Motion Capture.
- [5] Junjie Cao, Andrea Tagliasacchi, Matt Olson, Hao Zhang, and Zhixun Su. Point cloud skeletons via laplacian-based contraction. In *Proc. of IEEE Conf. on Shape Modeling and Applications*, page 187–197, June 2010 2010. Skeleton Extraction.
- [6] Zhanglin Cheng, Xiaopeng Zhang, and Thierry Fourcaud. Tree skeleton extraction from a single range image. In *PMA '06: Proceedings of the 2006 International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications*, pages 274–281, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society. ISBN 978-0-7695-2851-9. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/PMA.2006.28>. Skeleton Extraction.
- [7] Nicu D. Cornea and Patrick Min. Curve-skeleton properties, applications, and algorithms. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(3):530–548, 2007. ISSN 1077-2626. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2007.1002>. Skeleton Extraction Survey Member-Silver,, Deborah.
- [8] Edilson de Aguiar, Carsten Stoll, Christian Theobalt, Naveed Ahmed, Hans-Peter Seidel, and Sebastian Thrun. Performance capture from sparse multi-view video. In *SIGGRAPH '08: ACM SIGGRAPH 2008 papers*, pages 1–10, New York, NY, USA, 2008. ACM. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1399504.1360697>. 3D Reconstruction.

- [9] Mathieu Desbrun, Mark Meyer, Peter Schröder, and Alan H. Barr. Implicit fairing of irregular meshes using diffusion and curvature flow. In *SIGGRAPH '99: Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 317–324, New York, NY, USA, 1999. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. ISBN 0-201-48560-5. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/311535.311576>. Skeleton Extraction.
- [10] C. Hernandez Esteban and F. Schmitt. Multi-stereo 3d object reconstruction. In *3D Data Processing Visualization and Transmission*, pages 159–166, 2002. doi: 10.1109/TDPVT.2002.1024055. 3D Reconstruction.
- [11] Shaobo Hou, A. Galata, F. Caillette, N. Thacker, and P. Bromiley. Real-time body tracking using a gaussian process latent variable model. In *IEEE Internat. Conf. on Computer Vision*, pages 1–8, Oct. 2007. doi: 10.1109/ICCV.2007.4408946. Motion Capture.
- [12] Guillaume Lavoué and Christian Wolf. Markov random fields for improving 3d mesh analysis and segmentation. In *Eurographics 2008 Workshop on 3D Object Retrieval*, April 2008. URL <http://liris.cnrs.fr/publis/?id=3365>. Skeleton Extraction.
- [13] Fabio Remondino and Andreas Roditakis. 3d reconstruction of human skeleton from single images or monocular video sequences, 2003. URL <http://www.springerlink.com/content/bbvmju2h5uwjfw6n>. 3D Reconstruction.
- [14] J. Starck, G. Miller, and A. Hilton. Video-based character animation. In *SCA '05: Proceedings of the 2005 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation*, pages 49–58, New York, NY, USA, 2005. ACM. ISBN 1-7695-2270-X. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1073368.1073375>. Motion Capture.
- [15] S. Svensson, I. Nyström, and G. Sanniti di Baja. Curve skeletonization of surface-like objects in 3d images guided by voxel classification. *Pattern Recognition Letters*, 23(12):1419 – 1426, 2002. ISSN 0167-8655. doi: DOI: 10.1016/S0167-8655(02)00102-2. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V15-45J91MV-8/2/dbac3094e925ba869a16d7801>. Skeleton Extraction.
- [16] Gabriel Taubin. A signal processing approach to fair surface design. In *Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, SIGGRAPH '95, pages 351–358, New York, NY, USA, 1995. ACM. ISBN 0-89791-701-4. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/218380.218473>. URL <http://doi.acm.org/10.1145/218380.218473>.