

RAZONAMIENTO GEOMETRICO Y ESTADISTICO PARA TRATAMIENTO DE DIGITALIZACIONES 3D*

Oscar E. Ruiz S. Profesor Asistente
oruiz@sigma.eafit.edu.co

Dario A. Isaza, Asistente de Investigación
Centro Interdisciplinario de Investigaciones
Universidad EAFIT
A.A. 3300 Medellín, COLOMBIA

RESUMEN

El procesamiento de digitalizaciones o conjuntos de puntos provenientes del muestreo de objetos es generalmente tedioso, y propenso al error. Se entiende por dicho procesamiento el ordenamiento, clasificación y partición del conjunto de puntos, la generación de digitalizaciones en direcciones diferentes a la usada en el proceso de digitalización, la eliminación de ruido de medición, la reducción en tamaño del conjunto de datos, y por ultimo el ajuste de modelos superficiales o de sólido que representen con fidelidad el objeto digitalizado. En esta investigación la nube de puntos procesada tiene características de planaridad tales que hacen inoperantes las herramientas computacionales de procesamiento normales, descritas en otros artículos del mismo autor. Identificación de esta situación por medios estadísticos y utilización de herramientas alternativas de geometría computacional y razonamiento geométrico son

discutidos aquí, así como otras adicionales para manipulación de regiones particulares de la nube de puntos. Las herramientas de software aquí presentadas se ajustan al estándar AIS (Ranyak 1994, Saldarriaga e Isaza, 1997), lo cual las hace clientes portables de los servidores de modelamiento geométrico del mercado.

1. INTRODUCCION Y REVISION BIBLIOGRAFICA

Las principales dificultades para procesar manualmente nubes de puntos de digitalizaciones son: (i) los tamaños de los archivos de datos son generalmente muy grandes, haciendo que cualquier acción (selección, despliegue, eliminación, etc.) tome un tiempo considerable; (ii) el concepto espacial se pierde rápidamente cuando el usuario realiza cambios de vistas (zoom, pan, etc.). Ello lleva a situaciones en las cuales operaciones en ciertas vistas engañan al usuario, y producen resultados diferentes de los

* Para publicación en EGRAF-97: I Simposio Iberoamericano de Expresión Gráfica en las Ingenierías y la Arquitectura. Camaguey, Cuba. Oct 8-15, 1997

requeridos; (iii) operaciones de re-digitalización (resampling) deben ser hechas en una instancia diferente de la Interface al Usuario para que produzcan los resultados apetecidos.

Las dificultades inherentes al ajuste automático de superficies a nubes de puntos son (i) el significado matemático de *ajustar* una superficie a un conjunto de puntos depende de las características de continuidad deseadas de la curva; (ii) el ordenamiento del conjunto de puntos es crucial para el resultado; (iii) la naturaleza de los datos debe ser considerada como estocástica en algunas regiones y literal en otras; y (iv) las particiones del conjunto de datos en muchos casos no dependen de características intrínsecas de ellos, sino de consideraciones funcionales. El ajuste automático de superficies es aun un problema abierto, y de gran aplicabilidad en CAD / CAM / CG.

La aproximación matemática al ajuste de superficies incluye las siguientes técnicas: (i) interpolaciones para forzar un polinomio a pasar por n puntos literales (Kreyszig 1993), las cuales no dependen del orden del conjunto de puntos, pero tienen efectos indeseables de oscilación para n grande, (ii) técnicas de ajuste estadístico las cuales interpretan los datos como provenientes de muestreos, y que se aplican masivamente en evaluación de tolerancias

mecánicas (Carr 1995, ANSI Y14.5.1M-Draft 1993), (iii) curvas paramétricas (Farin, 1990, Mortenson, 1985, O'Neill, 1966), usadas en CAGD, que no interpretan los datos como literales ni como muestreos, y las cuales, en general no se fuerzan a pasar por los puntos, llamados *de control*.

La aproximación algorítmica se usa para clasificar y pre-procesar el conjunto de datos, recobrando información de vecindario entre ellos, y complementándola con información de conectividad. Ejemplos de dicha aproximación son las alpha shapes (Edelsbrunner, 1987, 1993), basadas en matemáticas discretas para determinar relaciones entre puntos, formas y espacios. Las formas ajustadas dependen del parámetro alpha, el cual "ajusta" mas o menos la forma superficial a la nube de puntos dada. En esta investigación no se utilizaron las formas alpha para ajuste superficial, dado que ellas realizan reducción de datos únicamente a través del parámetro alpha, el cual es difícil de sintonizar para respetar los rasgos inherentes del objeto.

Las nubes de puntos consideradas en CAD / CAM son generalmente hechas bloqueando un eje del digitalizador. Ello produce conjuntos de puntos que constituyen secciones de corte del objeto en cuestión. Dichas secciones son planares, y están todas orientadas en una misma dirección en porciones significativas del objeto.

Las secciones de corte del objeto son generalmente polígonos en estrella (Preparata y Shamos 1985) y las líneas funcionales o estéticas del objeto aparecen como cambios de curvatura (Saldarriaga e Isaza 1997, Posada 1997). Cuando el objeto a digitalizar es prácticamente plano, las técnicas de recuperación de sección de corte por medio del kernel del polígono (Preparata y Shamos 1985, Ruiz y Posada, 1997) no pueden ser aplicadas. Ello se debe a que las trayectorias de digitalización son poligonales abiertas cuasi-rectas, y por lo tanto existen infinitos planos que las contienen. En dicho caso, el ordenamiento angular de ellas *sobre un plano* es inaplicable. Esta investigación identifica dicho caso por medio de técnicas estadísticas (ANSI Y14.5.1M-Draft 1993, Carr 1995, Posada 1997). La identificación de puntos en el kernel de un polígono abierto, cuasi-recto, entrega asimismo puntos cuya situación los hace inútiles para hacer ordenamientos angulares de la curva poligonal. En dichos casos otras técnicas son aplicadas. Un objeto cuya digitalización presenta dichas características es la suela de una horma de calzado. Dada su geometría prácticamente plana, los problemas descritos se configuran, y por lo tanto, dicha geometría amerita el uso de herramientas computacionales alternativas, aquí

presentadas, junto con otras para su utilización en la síntesis de la horma.

La sección 2 discute algunas herramientas implementadas en esta investigación y no mencionadas en (Ruiz y Posada, 1997). La sección 3 concluye el artículo. Las secciones siguientes agradecen diversos soportes técnicos y económicos para este trabajo, y el artículo concluye con la lista de referencias relevantes.

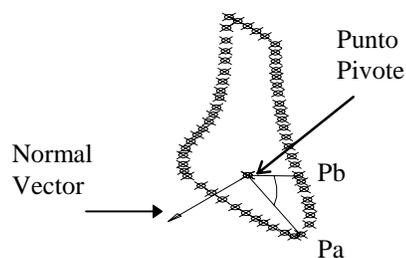


Figura 1. Recuperación de la sección de corte del objeto por ordenamiento angular de vértices del polígono P . El ordenamiento utiliza el vector normal y un punto pivote en $kernel(P)$ para introducir orden entre P_a y P_b .

2. HERRAMIENTAS DE RAZONAMIENTO GEOMETRICO

En (Ruiz y Posada, 1997) se explican las siguientes herramientas computacionales para tratamiento de digitalizaciones: clasificación planar, recuperación de polígonos en estrella, detección de esquinas, re-digitalización por distancia, por intervalo, por intersección con entidades y filtrado. Las dos primeras presuponen que el objeto digitalizado tiene secciones de corte con kernel no vacío

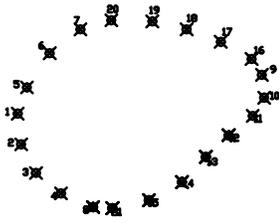


Figura 2. Vista típica de archivo de digitalización de una sección. Note la carencia de orden de los puntos.

(Preparata y Shamos 1985). La Figura 1 presenta una sección de corte con kernel no vacío. Nótese que al ser un conjunto de puntos contenidos en un único plano, se puede utilizar una normal al plano para inducir un ordenamiento angular. En contraste, esta publicación ataca el tema de objetos aplanados, cuya sección de corte es casi una línea recta, abierta, y cuyo centro de gravedad no puede ser usado como pivote para ordenamiento angular. La figura 2 muestra una sección de corte típica descrita tal y como aparece en el archivo en bruto del digitalizador. El algoritmo de ordenamiento esbozado en la Figura 1 puede reordenar exitosamente esta sección.

2.1 IDENTIFICACION DE SECUENCIAS DE DIGITALIZACION CUASI-RECTAS

Las secuencias de digitalización cuasi rectas son identificadas aplicando una hipótesis estadística a ellas. Dicha hipótesis estadística (ver Figura 3) supone una disposición lineal de los puntos. Nótese que la prueba de hipótesis utilizando los coeficientes de correlación cercanos a 1.0 se debe aplicar sobre la proyección de la recta sobre los tres planos. Una respuesta afirmativa descarta el algoritmo de la Figura 1

2.2 ORDENAMIENTO DE SECUENCIAS DE DIGITALIZACION CUASI-RECTAS

Para dicho caso, se usa un ordenamiento simple sobre la recta paramétrica encontrada. Cada punto es clasificado según el parámetro de su punto proyección sobre dicha recta. La Figura 4 muestra el resultado de aplicar el algoritmo de ordenamiento de secciones cuasi rectas. Nótese que en algunos casos se muestra cerrado el polígono resultante. La extrema delgadez de dichos polígonos incide en que el ordenamiento

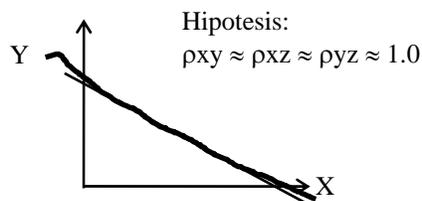
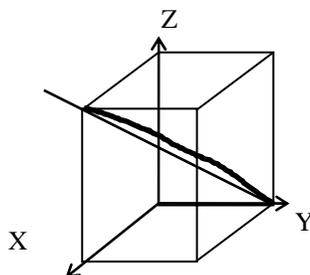


Figura 3. Hipótesis de pertenencia a línea recta probada en planos XY, YZ, XZ.

por barrido angular en dichos casos se haga sobre ángulos muy parecidos y por lo tanto sea altamente propenso a error.



Figura 4. Trayectorias cuasi rectas hechas polígonos de corte.

2.3 RE-DIGITALIZACION DE TRAYECTORIAS

La figura 5 muestra el detalle del talón digitalizado originalmente. Al comparar la trayectoria de digitalización con la exhibida en el resto del objeto (ver Figura 7), se concluye que una re-digitalización de los puntos ya obtenidos es requerida.

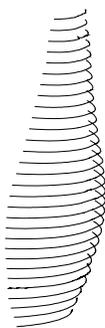


Figura 5. Trayectorias (horizontales) originales de digitalización del talón. Candidatos para re-digitalización en sentido vertical.

Varios tipos de re-digitalización son posibles. Entre ellos se cuentan (ver Ruiz, O y Posada J 1997) re-digitalización por intersección con familias de entidades (planos), por numero de

puntos, por longitud de línea, y filtrado. En este caso las líneas horizontales se re-digitalizaron por numero de puntos. Ello implica el extraer N puntos de cada línea dada, y tejer líneas de digitalización verticales pasando por ellos. El resultado de dicho proceso es mostrado en la Figura 7.

2.4 AJUSTE DE SUPERFICIE PARA DATOS

Otro ejemplo de re-digitalización de trayectorias puede ser observado en la Figura 5. En ella las trayectorias identificadas y ordenadas en la Figura 4 son muestreadas nuevamente para obtener un numero N de puntos de cada una de ellas. Dado que son M trayectorias, el conjunto de puntos así obtenido configura un arreglo ortogonal de $M \times N$ puntos. Este arreglo ortogonal permite obtener la malla de la plantilla por medio de superficies spline, o por medio de mallas (meshes) planares, o por algoritmos de lofting (suavización guiada de curvas).

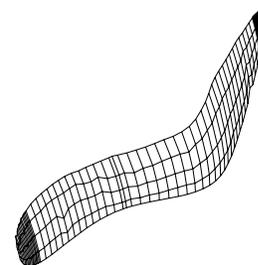


Figura 6. Malla ajustada a la plantilla por medio de un arreglo rectangular de puntos.

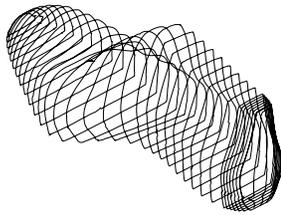


Figura 7. Horma total re-digitalizada por software. Talón exhibe re-digitalización vertical.

La aplicación de algoritmos para doblar la plantilla (para obtener por ejemplo otra altura de tacón) se hacen directamente sobre los puntos de control de la superficie (Saldarriaga, y Isaza, 1997). Ello es gracias a las propiedades afines de las superficies paramétricas. Aplicación de rotación alrededor de un eje arbitrario en el espacio se puede hacer usando el principio del quaternion (Koren, 1985). Cambio de altura de tacón equivale a una rotación y contra-rotación alrededor de ejes solidarios con la plantilla. La Figura 7 muestra las curvas de digitalización de toda la horma después del proceso completo de tratamiento, y listas para ajustar la superficie. Ellas conllevan clasificación y ordenamiento de puntos en planos para las secciones de kernel no vacío, reducción de puntos, re-digitalización de varios tipos, etc. La digitalización así obtenida está correctamente distribuida para aceptar los algoritmos de ajuste de superficies o mallas.

3. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

Este trabajo ha mencionado herramientas modulares para el tratamiento de digitalizaciones. Algunas de estas herramientas deben ser sensitivas al hecho de que el objeto digitalizado sea casi planar y por lo tanto las trayectorias sean casi líneas rectas. En dichas circunstancias la recuperación de la sección de corte del objeto se dificulta por la extrema delgadez de la nube de puntos de cada trayectoria. Una vez la situación se ha identificado por medios estadísticos, la recuperación de la sección de corte procede por ordenamiento simple en una dimensión. Otros métodos de re-digitalización por software son mencionados e ilustrados, que se aplican a objetos planares y a aquellos de sección de corte casi convexa (de kernel no vacío).

Futuros esfuerzos se centran en permitir el tratamiento por medio de filtros, y cuantificar el efecto del filtro sobre la geometría de la pieza

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue patrocinada por contrato entre Colciencias (Consejo Colombiano para la Ciencia y la Tecnología) y la Universidad EAFIT No. 152-96. Los autores desean agradecer al Profesor Placid Ferreira del laboratorio Large Scale Flexible Automation de la Universidad de Illinois en Urbana - Champaign y al Dr. Charles Wu de Ford Motor Company por su patrocinio en los años 1993-

1995 para trabajos iniciales en ajuste de superficies para ingeniería de estampado e interfaces AIS para CAD / CAM / CG.

REFERENCIAS GENERALES

ANSI Y14.5.1M-Draft, 1993 *Mathematical Definition of Dimensioning and Tolerancing Principles*, American Society of Mechanical Engineers. New York

Carr, K., 1995, " Modeling and verification methods for the inspection of geometric tolerances using point data ", Ph.D. Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Drebin R., Carpenter, L. and Hanrahan, P, "Volume Rendering", *ACM Computer Graphics*, Vol. 22, Number 4, August 1988.

Edelsbrunner, H., 1993, "The union of Balls and its Dual Space". In *Proceedings, 9th Annual Symposium on Computational Geometry*, pp. 218-231.

Edelsbrunner, H., 1987, *Algorithms in Combinatorial Geometry*, Springer Verlag. New York

Farin, G., 1990, *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design. A Practical Guide* Academic Press. Boston

Kreyszig, E., 1993, *Advanced Engineering Mathematics*. John Wiley & Sons.

Mortenson, M., 1985, *Geometric Modeling*, John Wiley and Sons. New York

O'Neill, Barnet, 1966, *Elementary Differential Geometry* Academic Press. San Diego

Posada, J., 1997, "Una Implementacion de la Interface AIS para MicroStation", B.Sc. Thesis, EAFIT University Medellin, Colombia.

Preparata, F. and Shamos, M. I., 1985, *Computational Geometry. An Introduction*, Springer Verlag. New York

Ranyak, P., 1994, "Application Interface Specification (AIS), Version 2.1". Consortium for Advanced Manufacturing International (CAM-I). Integrity Systems, USA.

Ruiz, O., 1995, "Geometric Reasoning in Computer Aided Design, Manufacturing and Process Planning", Ph.D. Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Ruiz, O., Marin, R. and Ferreira, P., 1994, "A Geometric Reasoning Server with Applications to Geometric Constraint Satisfaction and Reconfigurable Feature Extraction". Proceedings, 3rd Luso-German Workshop on Graphics and Modeling in Science and Technology, Coimbra, Portugal.

Ruiz, O. and Posada, J., Geometric Reasoning for Character Line-Preserving Surface Fitting Technical Report. EAFIT University, Medellin, Colombia, 1997 (also submitted for publication to the IIE Transactions. Manufacturing Processes and Devices)

Shamos, M. I., 1978, "Computational Geometry", Ph.D. Thesis, Yale University.

Saldarriaga, J. and Isaza Dario, 1997, " Una Implementacion de la Interface AIS para AutoCAD", B.Sc. Thesis, EAFIT University Medellin, Colombia.

Yoram Koren, 1985, *Robotics for Engineers*. McGraw-Hill Book Company