

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

MGIT-ANDES. UN MODELADOR 3-D SOBRE MICRO-COMPUTADORES, BASADO EN OPERADORES DE EULER.

JOSE TIBERIO HERNANDEZ P*.

JUAN C. QUIROGA B*.

Universidad de los Andes, Bogotá D.E.

En el artículo es estudiado el problema de modelaje de sólidos rígidos, introduciendo los aspectos teóricos y presentando las características principales del modelador MGIT-ANDES. Varios esquemas de representación de sólidos han sido desarrollados, destacándose los enfoques CSG (Constructive Solid Geometry) y B-Rep (Boundary Representation). Este modelador se basa en una variante del esquema de representación B-Rep y utiliza los operadores de Euler para mantener la validez de las representaciones. El proceso de creación se realiza en forma interactiva con la técnica de barrido (barrido por traslación y barrido por rotación). Las operaciones espaciales de conjunto: unión, intersección y diferencia, se han implementado como ayuda para la definición en un espacio completo de sólidos tri-dimensionales.

Palabras Claves : Representación de la frontera (B-Rep), Operadores de Euler, Definición por Barrido, Operaciones de Conjunto.

1. INTRODUCCION

Un modelador geométrico es la parte de un sistema DAC (Diseño Apoyado por Computador) que permite representar y manipular

* Este trabajo es producido por el grupo DFAC de la facultad de Ingeniería, departamento de Sistemas y Computación de la Universidad de los Andes, del cual los autores son miembros. No se debe hacer copias del mismo sin la respectiva autorización.

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

espacialmente objetos tri-dimensionales. Los cálculos generales sobre el objeto definido (volumen, etc.) son realizados por el sistema modelador. Con esto, el esquema de representación no se limita al dibujo del objeto modelado. La representación que se crea de un objeto, para garantizar el cumplimiento de estos requerimientos, debe designar en forma no ambigua ese objeto y conservar la información necesaria (topológica y geométrica) para efectuar los cálculos sobre el modelo.

En este artículo se describe el desarrollo del modelador geométrico MGIT-ANDES y se presentan sus principales características. Inicialmente se introducen los fundamentos teóricos del esquema de representación adoptado. Luego se describe el diseño para el modelador referido.

2. MARCO TEORICO

Para garantizar la corrección en las operaciones de manipulación espacial y de cálculos generales sobre los elementos físicos, los objetos físicos deben ser *representados* en forma tal que los modelos resultantes los designen en forma no ambigua y contengan los datos suficientes para realizar los cálculos requeridos. Han sido desarrollados varios esquemas de representación de sólidos rígidos para modeladores geométricos [Bral 1975] [Fumi 1984] [Requ 1980] [Requ 1982]. Se destacan, por el dominio que se tiene de ellos, el esquema de representación CSG (Constructive Solid Geometry) [Requ 1977] y el de representación B-Rep (Boundary Representation). Este último esquema es de nuestro interés y se enuncia a continuación. Su unión con los llamados *Operadores de Euler* permite ver el problema de representación de sólidos rígidos como la definición de un tipo abstracto de datos, en el sentido de [Gutt 1977].

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

B-Rep. Representación de la frontera.

Un sólido es definido por una colección de caras, aristas y vértices y sus relaciones espaciales [East 1979] [Mart 1982]. Las operaciones de definición en sistemas B-rep aseguran que la frontera está bien formada: no se intersecta ella misma, es cerrada y orientable [East 1979].

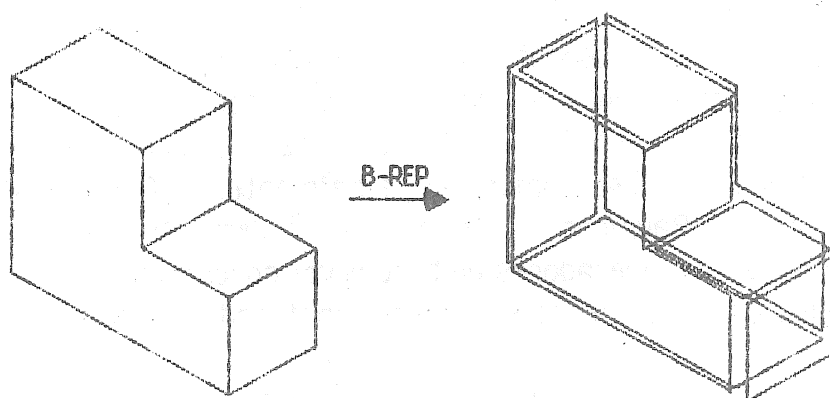


Figura 1.

Un modelo por la frontera puede ser representado simplemente como un conjunto de polígonos interconectados, los cuales a su vez se representan por su frontera por medio de *loops*. Se define un loop como un polígono cerrado que forma, junto con otros, los límites de una *cara*. Un loop define el límite exterior, mientras que otros describen las cavidades. Estos datos, caras, loops y aristas describen la topología del modelo, mientras que los datos tales como ecuaciones de las caras o coordenadas de los vértices describen la geometría del modelo [Willis 1985].

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

Para lograr mejores desempeños en las operaciones sobre el modelo, se incluyen en la representación otros datos explícitos de las relaciones entre caras, aristas y vértices del objeto.

Operadores de Euler.

No todo conjunto de caras define un sólido físico válido. La integridad topológica de un modelo B-rep incluye restricciones en los conjuntos de caras, de manera que se asegure la validez de las representaciones [East 1979]; cada arista debe pertenecer exactamente a dos loops (no necesariamente distintos), el orden de las aristas en los loops debe ser consistente en todo el modelo (por ejemplo en el sentido de giro de las manecillas del reloj), las caras se pueden intersectar solo en las aristas o vértices comunes y, finalmente, la frontera del sólido debe ser conexa. Baumgart [Baum 1972] demostró que basando el modelo B-Rep en los operadores de bajo nivel conocidos como Operadores de Euler, se garantizan las condiciones mencionadas arriba.

Estos operadores manejan las estructuras de datos en el modelo B-rep y garantizan que las representaciones sean válidas. Derivan su nombre de la ley de Euler, la cual establece que en un poliedro simple el número de caras (f), aristas (e) y vértices (v) deben satisfacer la ecuación:

$$v - e + f = 2$$

La fórmula puede ser generalizada para cualquier sólido introduciendo el número de anillos (cavidades en las caras, r) y el número total de huecos (h) a través del sólido. En general, la fórmula es:

$$v - e + f = 2(1 - h) + r$$

Los operadores de Euler trabajan sobre la topología de un modelo

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

B-rep, esto es, sobre las relaciones espaciales de sus caras, aristas y vértices. Sólomente cinco operadores (con sus inversas) son suficientes para describir todos los objetos que satisfacen la fórmula de Euler. El siguiente grupo ha sido tomado como ejemplo de [Mart 1982].

<u>Operador</u>	<u>Descripción</u>
$mvsf(f,v)$	CREE VERTICE, SOLIDO, CARA
$kvsf()$	DESTRUYA VERTICE, SOLIDO, CARA
$mev(v_1,v_2,e)$	CREE ARISTA, VERTICE
$kev(e,v)$	DESTRUYA ARISTA, VERTICE
$mef(v_1,v_2,f_1,f_2,e)$	CREE ARISTA, CARA
$kef(e)$	DESTRUYA ARISTA, CARA
$kemr(e)$	DESTRUYA ARISTA, CREE ANILLO
$mekr(v_1,v_2,e)$	CREE ARISTA, DESTRUYA ANILLO
$kfmrh(f_1,f_2)$	DESTRUYA CARA, CREE ANILLO, HUECO
$mikrh(f_1,f_2)$	CREE CARA, DESTRUYA ANILLO, HUECO
$semv(e_1,v,e_2)$	DIVIDA ARISTA, CREE VERTICE
$jekv(e_1,e_2)$	UNA ARISTAS, DESTRUYA VERTICE

3. MGIT-ANDES : UN MODELADOR DE SOLIDOS.

MGIT-ANDES es el nombre del modelador de sólidos experimental desarrollado en la Universidad de los Andes [Brav 1985] [Quir 1986]. Pertenece a la clase de modeladores de la frontera, basado en operadores de Euler. Las técnicas de *barrido por traslación y rotación* se utilizan en la creación de modelos de sólidos junto con las *operaciones de conjunto*, alcanzando en esta forma un grado natural y eficaz de definición. Incluye manipulaciones espaciales de traslación, rotación y escalamiento sobre los modelos definidos. Con la interfase para otros programas, el

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

modelador se integra a un sistema CAD facilitando la visualización de los pasos intermedios en los procesos automatizados.

Siguiendo los principios de modelaje de la frontera, se adoptó un esquema de representación en el que las caras son planas y las aristas segmentos de recta, cuyo dominio está constituido por la familia de todos los poliedros de caras planas. Este esquema da lugar a la siguiente estructura para la representación de un sólido :

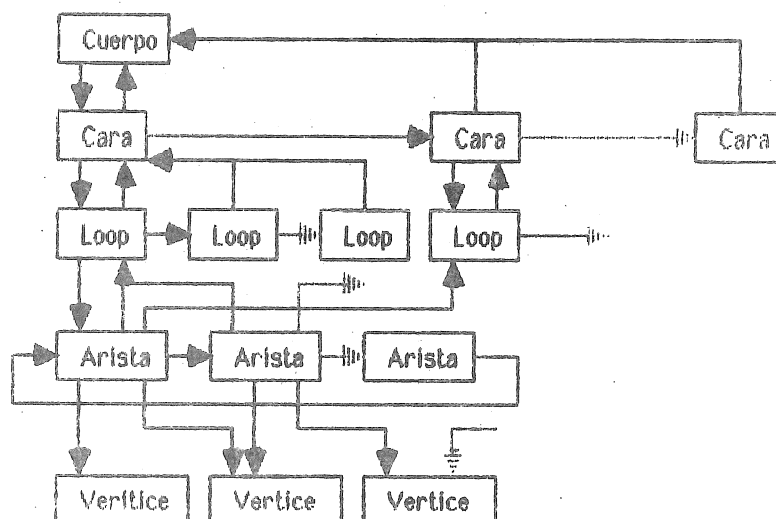


Figura 2.

Esta estructura contiene tanto los datos topológicos como geométricos del objeto. Cada *vertice* contiene las coordenadas correspondientes a un vértice del objeto. Cada *arista* se relaciona con sus *vertices*, con los dos *loops* a que pertenece y con la *arista* siguiente en cada uno de estos *loops*. Un *loop* se relaciona con la *cara* a que pertenece, con el siguiente *loop* en esa *cara* y con el conjunto de *aristas* que lo definen. Una *cara* se relaciona con el *cuerpo* a que

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

pertenece y con los *loops* que la describen. Un *cuerpo*, finalmente, está descrito por un conjunto de *caras*.

Para construir y mantener esta estructura de datos, se implementó el siguiente subconjunto de operadores de Euler. Mäntylä [Mart 1984] demuestra cómo estos son suficientes para representar cualquier objeto.

<u>Operadores constructores</u>	<u>Descripción</u>
Cvcc	CREA VERTICE, CARA, CUERPO
Cav	CREA ARISTA, VERTICE
Cac	CREA ARISTA, CARA
CcDah	CREA CARA, DESTRUYE ARISTA, HUECO
MeKr	CREA ARISTA, DESTRUYA ANILLO
Glue	UNA DOS CARAS
<u>Operadores simplificadores</u>	<u>Descripción</u>
Dvcc	DESTRUYE VERTICE, CARA, CUERPO
Dav	DESTRUYE ARISTA, VERTICE
Dac	DESTRUYE ARISTA, CARA
DcCah	DESTRUYE CARA, CREA ARISTA, HUECO
SeMv	DIVIDA ARISTA, CREA VERTICE

Creación Interactiva de Sólidos

La interfase con el usuario debe permitir una manipulación fácil de los elementos durante el proceso interactivo de definición. La técnica de barrido (por rotación y por traslación) y las operaciones espaciales de conjunto (unión, intersección y diferencia) logran este objetivo gracias a un conjunto de herramientas. En el modelador, las herramientas de manipulación permiten trasladar, rotar, escalar, posicionamiento de una cara y visualización con línea escondida, en cualquier momento del proceso de creación.

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

Definición por barrido.

Utiliza el elemento *cara* como elemento generador de la representación. El sólido se define por el conjunto de puntos comprendidos por la cara generadora y una trayectoria determinada. Los operadores de Euler intervienen validando la trayectoria y actualizando la estructura de datos. Sobre el elemento generador se pueden efectuar operaciones de escalamiento, así como definir nuevos loops interiores. Esto último permite definir tanto salientes, como huecos en el modelo. El modelador brinda las dos formas usuales de barrido : por traslación y por rotación, las cuales pueden usarse en cualquier momento en el proceso de creación de un sólido.

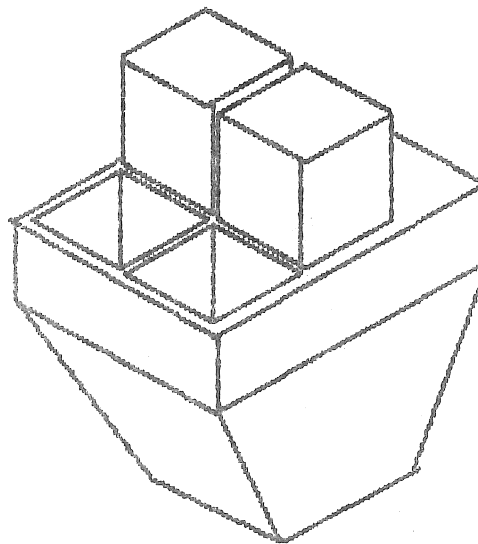


Figura 3.

El conjunto de sólidos que se puede modelar en esta forma es limitado, aunque no trivial. Con la implementación de las *operaciones espaciales de conjunto*, se obtiene una forma natural de definición para un conjunto completo de sólidos.

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

Definición con Operaciones de Conjunto.

Con las *operaciones de conjunto* se realizan las operaciones unión, intersección y diferencia sobre los modelos definidos. Aunque presentan una interfase natural para la creación, sus algoritmos suelen ser bastante complicados y son tema actual de investigación.

Para la implementación de algoritmos de operaciones de conjunto para objetos de caras planas existen varios enfoques [Chiy 1985], [Mart 1983]. El diseño inicial de MGIT-ANDES se basó en las ideas expuestas por Mäntylä y Tamminen, por tanto la implementación de la operaciones de conjunto sigue el enfoque de [Mart 1983]. A grandes rasgos, en la ejecución de una operación de conjunto primero se determinan las caras que forman los sólidos resultado y luego se "unen" usando los operadores de Euler.

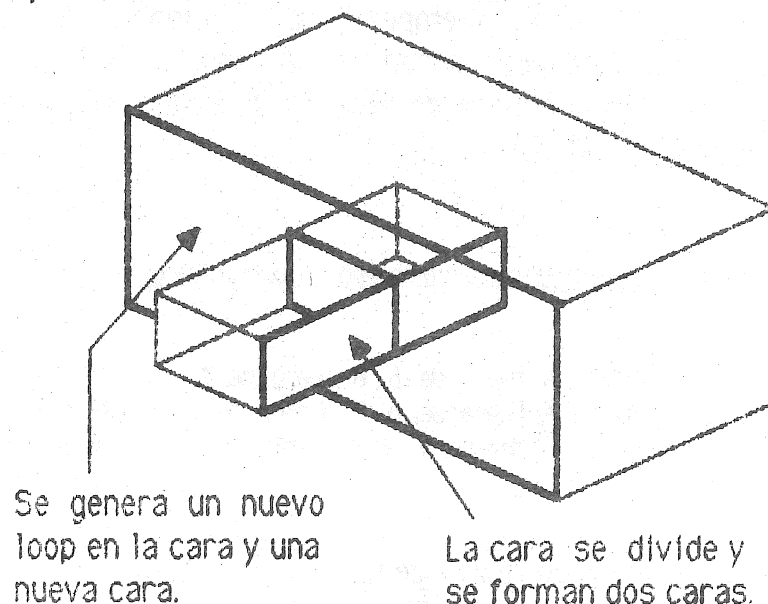


Figura 4.

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

El conjunto de caras que forman el resultado se puede determinar con el siguiente algoritmo:

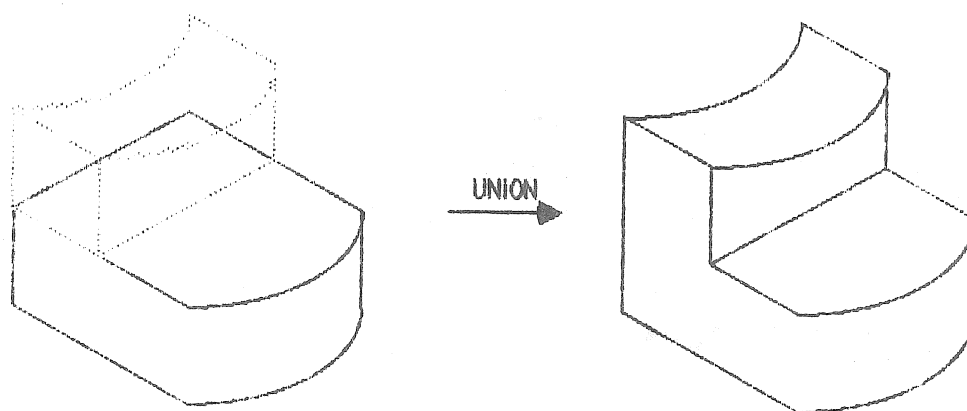
1. Se dividen las caras iniciales por las aristas de intersección (figura 4).
2. El nuevo grupo generado se clasifica para cada sólido en caras dentro, fuera y sobre con respecto al otro sólido, y
3. Se escogen las caras relevantes para formar el resultado dependiendo de la operación que se realiza.

Sean A y B los sólidos iniciales y A_dentro_de_B, A_fuera_de_B, A_sobre_B, B_dentro_de_A, B_fuera_de_A y B_sobre_A las caras clasificadas (A_sobre_B es siempre igual a B_sobre_A). Ninguno de estos conjuntos de caras es cerrado en el sentido de representar un volumen, pero la unión adecuada de algunos de ellos sí lo es. En general se cumple que [Manty 1983]:

<u>Operador</u>	<u>Procedimiento para obtener el conjunto resultado</u>
Unión	Pegar (A_fuera_de_B, B_fuera_de_A, A_sobre_B)
Intersección	Pegar (A_fuera_de_B, B_dentro_de_A, A_sobre_B)
Diferencia	Pegar (A_dentro_de_B, B_dentro_de_A, A_sobre_B)

Las operaciones de conjunto generan como resultado un conjunto de sólidos, cada uno bien formado. El resultado de la operación Unión es siempre un sólido.

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional



El modelo presentado en esta figura no se puede definir con la técnica de barrido, pero si mediante la operación unión sobre los dos modelos anteriores.

Figura 5.

Requerimientos computacionales.

El modelador desarrollado se puede usar en micro-computadores compatibles con el IBM-PC. Requiere 640 kilo-bytes de memoria RAM, una tarjeta gráfica (ej. Hércules, Ega, etc.) y drivers HALO o GSX. La compatibilidad del software con varias tarjetas gráficas se logró al definir una librería gráfica (GrAndes) que sigue los lineamientos del estandar GKS.

4. CONCLUSIONES

Las decisiones de diseño en el desarrollo de un modelador han sido expuestas, presentando el modelador MGIT-ANDES. Se han combinado varios elementos académicos, para obtener un sistema altamente portable, con el poder de operación suficiente para integrarse a un sistema DAC.

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

Si bien los operadores de Euler como operadores de construcción del tipo abstracción de datos, pueden definir por sí solos cualquier sólido, la interfase con el usuario es crucial para el modelador interactivo, por tanto es necesaria la investigación continuada en este aspecto.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [Baum 1972]: Baumgart B.G.
Winged edge polyhedron representation.
Stanford Artificial Intelligence Report No. CS-320,
octubre de 1972.
- [Brai 1975]: Brajd I.L.
Notes on a Geometric Modeler.
CAD group document No. 101, laboratorio de
computación, universidad de Cambridge, Cambridge,
Inglaterra, junio de 1979.
- [Brav 1985]: Bravo Mauricio.
Un Modelador Geométrico de Sólidos Basado en los
Operadores de Euler.
Documento de Tesis de Grado, Universidad de los Andes,
Facultad de Ingeniería, Departamento de Sistemas y
Computación, Bogotá, julio de 1985.
- [Chiy 1985]: Chiyokura H. y F. Kimura.
A method of representing the solid design process.
IEEE Computer Graphics and Applications, volumen 5, No.
4, abril de 1985.
- [East 1979]: Eastman Charles y Weller Kevin.

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

Geometric Modeling Using the Euler Operators.
Proc. First Ann. Conf. on Computer Graphics in CAD/CAM
systems, MIT, abril de 1979.

- [Fumi 1984]: Fumihiko Kimura.
Geomap III. Designing Solids With Free-Form Surfaces.
IEEE Computer Graphics and Applications, volumen 4, no.
6, junio de 1984.
- [Gutt 1977]: Guttay J.
Abstract Data Types and Development of Data of Data
Structures.
Communications of the ACM, volumen 20, no. 6, junio de
1977.
- [Mart 1982]: Martti Mäntylä y Reijo Sulonen.
GWB: A Solid Modeler with Euler Operators.
IEEE Computer Graphics and Applications, volumen 2, No.
7, 1982.
- [Mart 1983]: Martti Mäntylä, Markku Tamminen.
Localized Set Operations For Solid Modeling.
Computer Graphics, volumen 17, número 3, julio de
1983.
- [Mart 1984]: Martti Mäntylä.
A Note on the Modeling Space of Euler Operators.
Computer Vision, Graphics, and Image Processing,
volumen 26, 1984, pag 45-60.
- [Quir 1986]: Quiroga B. Juan C.
MGIT. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional.
Diseño con operaciones de conjunto.

MGIT-ANDES. Modelador Geométrico Interactivo Tridimensional

Documento de Tesis de Grado, Universidad de los Andes,
Facultad de Ingeniería, Departamento de Sistemas y
Computación, Bogotá, Diciembre de 1986.

- [Requ 1977]: Requicha A.A.G. y Voelcker H.B.
Constructive solid geometry.
Tech. memo. No. 25, production automation project,
Univeristy of Rechester, N.Y. 1977.
- [Requ 1980]: Requicha A.A.G.
Representations of rigids solids: theory, methods and
systems.
ACM comp. surv. 12 (1980), pag 437-464.
- [Requ 1982]: Requicha A.A.G. y Voelcker H.B.
Solid modeling: a historical summary and contemporary
assessment.
IEEE Computer Graphics And Applications, 2 (1982) 2,
pag 109-144.
- [Wlls 1985]: P. R. Wilson.
Euler Formulas and Geometric Modeling.
IEEE Computer Graphics And Applications, agosto de
1985.