



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 350 849**

51 Int. Cl.:  
**G06T 17/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06124996 .7**

96 Fecha de presentación : **29.11.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1793349**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.06.2007**

54 Título: **Método y aparato de enlaces de malla discretos y redondeado por pivotado de bola.**

30 Prioridad: **05.12.2005 US 742440 P**  
**22.08.2006 US 466211**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**27.01.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**27.01.2011**

73 Titular/es: **SIEMENS CORPORATION**  
**170 Wood Avenue South**  
**Iselin, New Jersey 08830, US**

72 Inventor/es: **Xie, Hui;**  
**Slabaugh, Gregory G.;**  
**Unal, Gozde;**  
**Fang, Tong y**  
**Zhou, Jin**

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

**ES 2 350 849 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**MÉTODO Y APARATO DE ENLACES DE MALLA DISCRETOS Y REDONDEADO POR PIVOTADO DE BOLA.**

**Descripción**

5           Esta solicitud de patente reivindica los beneficios de la solicitud provisional de los EE.UU. número 60/742440, registrada el 5 de Diciembre de 2005, la cual se incorpora aquí como referencia en su totalidad.

**REFERENCIA CRUZADA CON LAS SOLICITUDES RELACIONADAS.**

10           La presente solicitud está relacionada también con la solicitud de la patente de los EE.UU. numero de serie 60/740366, titulada Método y Aparato para el alisamiento de mallas no encogibles, utilizando el encaje local (numero de expediente de abogado 2005P21689US); y la solicitud de patente de los EE.UU. número 60/742503, titulada Método y Aparato para la simplificación eficiente y rápida de mallas (numero de expediente de abogado 2005P22087US), en donde  
15           ambas solicitudes están incorporadas y registradas simultáneamente con la presente solicitud, con referencia a las mismas en su totalidad.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

20           La presente invención está relacionada en general con las formas de mallas en tres dimensiones, y más en particular con el fileteado y redondeo de bordes afilados de tales formas de mallas.

25           Muchas aplicaciones, tales como en las aplicaciones médicas y de diseño industrial de fabricación, incluyen la manipulación y edición de modelos digitales que hayan sido escaneados por medios ilustrativos en 3D del objeto. Tal como podrá comprender cualquier técnico especialista en la técnica, tales modelos digitales  
30           comprenden una representación de nubes de puntos del objeto, en donde el número de puntos depende de la resolución del proceso de escaneado. Una vez obtenido dicha representación de la nube de puntos, la superficie del objeto, en muchos casos, se consigue aproximadamente por la conexión de los puntos de la nube de puntos, para formar una malla de triángulos de la superficie de la representación de la nube  
de puntos. Esta superficie puede ser editada por el uso, por ejemplo, de programas de software de diseño asistido por ordenador (CAD), o bien por programas de software de manipulación de imágenes especializados.

Muchas operaciones de edición son perfectamente conocidas, y están integradas en la mayor parte de los programas de software (CAD) de diseño asistido por ordenador. Dos operaciones ilustrativas y bien conocidas, denominadas aquí como el fileteado y el redondeo, se aplican frecuentemente a los modelos digitales de una forma de tres dimensiones para alisar, o bien redondear un borde agudo del modelo en un borde más alisado. La figura 1 muestra un ejemplo ilustrativo de dicho proceso de fileteado y redondeo. Con referencia a dicha figura, la forma 101 es ilustrativamente una sección transversal de un objeto de tres dimensiones tal como el modelo antes mencionado de una forma almacenada en la memoria de un ordenador.

5 La forma 101 tiene por ejemplo la esquina 102 y la esquina 103 en donde se desean el redondeado y fileteado para alisar las esquinas. Mediante la eliminación de las esquinas 102 y 103 y por la mezcla de las superficies adyacentes, se obtienen las superficies alisadas 104 y 105. La superficie 104 se denomina aquí como una superficie “redondeada”, puesto que dicha superficie es convexa. Por el contrario, el

10 área de la superficie 105 se denomina aquí como “fileteada”, puesto que dicha superficie es cóncava.

En muchas situaciones, la edición del modelo de la malla de triángulos, tal como el modelo antes mencionado creado a partir de la conexión de los puntos obtenidos por el escaneado de un objeto, dará lugar a unos bordes afilados. Por ejemplo, la figura 2 muestra una forma ilustrativa 201 en 3D, que ha sido editada por el corte la forma 201 con el plano de corte 202. Dicha operación de corte produce un borde afilado 203 para el cual puede ser deseable ilustrativamente un borde redondeado.

20

Yu-Shen Liu y otros, en el documento titulado “Mezcla de mallas”, Visual Comput. (2005) 21:915-927, exponen un algoritmo de bola rodante para redondear los bordes que se exigen en el cálculo por ordenador a lo largo del recorrido que la bota tiene que rodar.

25

#### SUMARIO DE LA INVENCION

Los presentes inventores han reconocido que aunque los métodos anteriores para el fileteado y redondeado son ventajosos en muchos aspectos, son también inconvenientes en algunos aspectos. En particular, aunque los anteriores intentos del fileteado y redondeado son bien conocidos, tales técnicas son principalmente útiles

30

en modelos que tengan superficies continuas. Para los modelos que no tienen superficies continuas, tales como las superficies de las mallas de los triángulos de la forma 201, tales técnicas no son típicamente satisfactorias, ya que dichas superficies no son computables analíticamente. Así pues, tal como reconocerá cualquier técnico especializado, tales técnicas anteriores de fileteado y redondeado pueden producir una superficie rugosa y desigual, y no una superficie continuamente suave, tal como es la salida deseada de tales técnicas de redondeado y fileteado.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, un método para redondear un borde entre dos lados de una superficie de un modelo comprende las etapas expuestas en la reivindicación 1 adjunta.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, el aparato para redondear un borde entre dos lados de una superficie de un modelo comprende las características expuestas en la reivindicación 5 adjunta.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 muestra una sección transversal de una forma en 3D que tiene unas esquinas afiladas que se redondean y se filetean;

la figura 2 muestra una forma en 3D ilustrativa de forma tal que se producen bordes afilados;

la figura 3A muestra una bola en una posición inicial con respecto a un triángulo con respecto a un triángulo de semilla en el inicio de un algoritmo de pivotado de bola anterior;

la figura 3B muestra como la bola de la figura 3A se hace pivotar alrededor de una pata del triángulo de semilla para construir una superficie de malla de triángulos de acuerdo con un algoritmo de pivotado de bola anterior;

la figura 4 muestra la forma ilustrativa en 3D de la figura 2, y los bordes agudos resultantes;

la figura 5 muestra una representación de un borde agudo de la forma en 3D de la figura 4;

la figura 6 muestra una representación general de cómo un nuevo algoritmo de pivotado de bola puede mover una bola a lo largo de un borde afilado de la forma en 3D de la figura 4, de acuerdo con una realización de la presente invención;

la figura 7A muestra como una bola puede posicionarse con respecto a un triángulo de semilla en la representación de la figura 5, en el inicio de un método de redondeado de un método de redondeo de acuerdo con una realización de la presente invención;

5 la figura 7B muestra como la bola de la figura 7A puede pivotar a lo largo de un borde afilado en una dirección deseada alrededor de una pata de un triángulo de semilla;

la figura 8 muestra un túnel virtual que puede crearse como el resultado de hacer pivotar la bola a lo largo de un borde afilado tal como se muestra en la figura  
10 7B;

la figura 9 muestra como los puntos en la proximidad de un borde afilado pueden ser proyectados sobre la superficie del túnel virtual de la figura 8;

la figura 10 muestra como un borde afilado puede ser redondeado como el resultado de la proyección de la figura 9;

15 la figura 11 muestra el borde redondeado resultante de una forma en 3D después de la reconstrucción superficial del borde;

la figura 12 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de un método de acuerdo con una realización de la presente invención; y

la figura 13 muestra un ordenador adaptado para ejecutar las etapas  
20 ilustrativas del método de

la figura 12, así como también de otras funciones asociadas con el redondeado y fileteado de los bordes afilados de las formas en 3D.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

Las figuras 3A y 3B ilustran como puede utilizarse para construir una  
25 superficie de malla de triángulos para conseguir la aproximación de la superficie de un objeto.

Específicamente, con referencia a la figura 3A, los vértices del triángulo 202, los puntos 303, 304 y 305, son puntos en una representación de nubes de puntos de un objeto, y situados sobre la superficie de un modelo de un objeto 3D para el cual se  
30 desea una aproximación de la malla de los triángulos de la superficie del objeto. El triángulo 302 se denomina aquí como un triángulo de semilla y se selecciona como una posición de arranque inicial de la operación del algoritmo de pivotado de bola.

La bola 301 que tiene un radio deseado (por ejemplo, seleccionado como una función de la densidad de puntos sobre la superficie del modelo) se posiciona entonces inicialmente de forma que cada uno de los puntos 303, 304 y 305 del triángulo 302 estén situados sobre la superficie de la bola 301.

5 La figura 3B ilustra como la rotación de la bola 301 puede utilizarse para hacer crecer la aproximación de la malla de triángulos de la superficie de un objeto. Específicamente, con referencia a dicha figura y tal como se discutió anteriormente, la bola 301 se posiciona inicialmente de forma que los vértices del triángulo 302 se sitúen cada uno sobre la superficie de la bola 301. A continuación, una de las patas  
10 del triángulo, denominada aquí como la pata de pivotado, se selecciona en torno a cual bola 301 pivotará. En este caso, la pata 307 del triángulo 302 se selecciona como la pata de pivotado. A continuación, la bola 301 se hace que pivote alrededor de esta pata, ilustrativamente aquí en la dirección 306, con los puntos 304 y 305 restantes fijados en posición sobre la superficie de la bola 301. La bola 301 se  
15 permite que pivote hasta que la superficie de la bola entre en contacto con otro punto sobre la superficie del modelo, aquí representado por el punto 308. Cuando la bola 301 entra en contacto con el punto 308, el pivotado de la bola 301 en la dirección 306 se detiene y como resultado de ello apunta a 304, 305 y 308, en donde cada punto se sitúa sobre la superficie de la bola 301. El punto 308 se conecta entonces  
20 por las líneas con cada punto extremo de la pata de pivotado 307, en este caso los puntos 304 y 305, para crear un nuevo triángulo 309 sobre la superficie el modelo del objeto. Una pata distinta del triángulo 309 es entonces seleccionada ilustrativamente como una nueva pata de pivotado y se crea entonces otro triángulo por la bola de pivotado 301 en una nueva dirección hasta que entra en contacto con otro punto.  
25 Dicho algoritmo de pivotado de la bola utilizado para la construcción de una superficie de la malla de triángulos es el sujeto de F. Bernardini y otros. El Algoritmo de Pivotado de Bola para la Reconstrucción de Superficies, Actas IEEE sobre Visualización y Gráficos de Ordenadores, 5(4), Oct.-Dic., 1999, páginas 349-359, se incorporan aquí por referencia a su totalidad. Dicho algoritmo es bien  
30 conocido en la técnica, y por tanto no se describirá más de lo necesario para la comprensión de la presente invención.

La figura 4 muestra una forma 401 en 3D que es, ilustrativamente, la forma de la figura 2 que se creó por la edición de un modelo de malla de triángulos de un objeto, utilizando el plano de corte 202. Tal como se expuso previamente, el resultado de dicha edición es el borde agudo 403, incluyendo la porción del borde 5 404, a lo largo del plano en donde se cortó la forma 401. Tal como se expuso previamente, es ventajoso con frecuencia el ser capaz de suavizar dichos bordes agudos. Los presentes inventores han reconocido que dicho alisamiento del borde 403 puede llevarse a cabo utilizando una variación del algoritmo de pivotado de bola, expuesto aquí anteriormente. Específicamente, tal como un técnico especializado en 10 la técnica reconocerá, el borde 403, incluyendo la porción del borde 404, comprende dos lados que se unen conjuntamente para formar el borde. Esto se observa más claramente con referencia a la figura 5, en donde con referencia a dicha figura, los lados 501 y 502 se unen conjuntamente a lo largo de la porción 404 del borde, que es la misma porción del borde 404, tal como se muestra en la figura 4. Haciendo pasar 15 una bola, tal como la utilizada en el algoritmo de pivotado de bola a lo largo de la porción 404 del borde y el resto del borde 403, el túnel virtual que tiene un diámetro igual al de la bola, podrá definirse a lo largo del borde 403. Mediante la proyección de puntos sobre cada lado del borde 403 sobre la superficie del túnel virtual, y después con la reconstrucción de la superficie a lo largo de dicho borde, se podrá 20 obtener una representación de un borde redondeado.

La figura 6 muestra una vista ilustrativa de la forma 401 de la figura 4 en 3D que tiene un borde 403 agudo, tal como una vez más la porción del borde 404. De acuerdo con una realización de la presente invención, una bola en la posición 601 se 25 desplaza en la dirección 602 a las sucesivas posiciones 603-607 a lo largo del borde de la forma 401. Este movimiento se inicia por ejemplo de una forma similar a la iniciación de la reconstrucción de la superficie en un algoritmo de pivotado de bola. En particular, se selecciona un triángulo de semilla, y entonces se hace pivotar la bola alrededor de un triángulo hasta que entre en contacto con otro punto sobre uno de los dos lados del borde 403. Dicha acción de pivotado se observa más claramente 30 con referencia a las figuras 7A y 7B. Específicamente, la figura 7A una vez mas muestra los lados 501 y 502 de la figura 5, que tal como se ha expuesto anteriormente, se unen conjuntamente para formar una porción del borde 404 tal

como se muestra en las figuras 4, 5 y 6. Con el fin de alisar la porción del borde 404, la bola 701 se coloca inicialmente en una posición mediante la cual los tres vértices de un triángulo semilla se localizan sobre la superficie de la bola. En particular, con referencia de nuevo a la figura 7A, los puntos 702, 703 y 705 forman el triángulo semilla 707. La bola 701 se cruza con ambas superficies 501 y 502, formando los círculos de intersección 704 y 705. En este ejemplo ilustrativo, los puntos 702 y 703 del triángulo semilla 707 se sitúan sobre el círculo de intersección 704 sobre el lado 502. El técnico especializado en la técnica reconocerá a la luz de lo expuesto aquí que al menos un punto del triángulo semilla deberá situarse sobre el lado 501, y en donde un punto deberá situarse en el lado 501. De forma similar, el técnico especializado en la técnica reconocerá que, en esta realización, el triángulo semilla está seleccionado de forma que por ejemplo ninguno de los puntos se encontrarán dentro del volumen de la bola 701 ni tampoco existirán cualesquiera otros puntos en contacto con la superficie de la bola 701 distintos a los vértices del triángulo semilla en sí 707. Una vez que la bola 701 esté posicionada tal como se muestra en la figura 7A, entonces la bola 701 pivotará a lo largo de una pata del triángulo semilla 707. Tal como un técnico especializado de la técnica reconocerá, esta pata deberá ser seleccionada con el fin de conseguir el movimiento deseado de la bola a lo largo del borde que tenga que ser alisado, tal como en la dirección 602. En el ejemplo mostrado en la figura 7A, la pata 711 del triángulo semilla 707 se seleccionará en torno a cual bola 701 pivotará en la dirección 708 para mover la bola en la dirección 602. Puesto que la bola 701 se hace pivotar en torno a la pata 711, la cual tiene los puntos extremos 703 y 705, estos puntos terminales permanecerán sobre la superficie de la bola 701 conforme pueda pivotar.

Tal como fue el caso con el algoritmo de pivotado de bola anteriormente descrito, la bola 701 se hace pivotar hasta que otro punto en cualquier lado 501 o 502 entre en contacto con la superficie de la bola 701. La figura 7B muestra la posición de la bola 701 después de lo cual se habrá encontrado un punto, en este caso el punto 710 sobre la superficie 502. Específicamente, cuando la bola 701 contacte con el punto 710, se detendrá el pivotado alrededor de la pata 711. En esta posición, el punto 702 no estará ya en contacto con la superficie de la bola 701, puesto que la bola 701 se habrá movido incrementalmente en la dirección 602 a lo largo de ambos

lados 501 y 502 (y por tanto la porción del borde 404). En su lugar, los puntos 703, 705 y 710 estarán ahora en contacto con la superficie de la bola 701 en los nuevos círculos de contacto 712 (punto 703) y 713 (puntos 705 y 710). Así pues, en esta posición, solo un punto del lado 501 estará en contacto con la bola 701, y ahora dos  
5 puntos del lado 502 estarán en contacto con la bola 701. A continuación, una vez más, La pata del triangulo 715, tal como la pata 716 se seleccionará alrededor de la cual pivotará la bola 701. La bola se hace pivotar de nuevo de forma que se mueva en la dirección 602 hasta que un nuevo punto sobre la superficie entre en contacto y pueda repetirse el proceso. Este proceso continua hasta que la bola se haya movido a  
10 lo largo de la totalidad del borde 403 en la dirección 602 de la figura 6. De esta forma, la bola 70 se hace que se desplace a lo largo de un borde agudo creado por la intersección de dos lados, tal como se crea ilustrativamente por el corte de una superficie de la malla del triángulo.

De acuerdo con otra realización de la presente invención, conforme la bola  
15 701 se mueve en la dirección 602, la posición de la bola 701 en cada punto en el tiempo queda registrada ilustrativamente. Como resultado de ello, después de que la bola se haya movido a lo largo de la totalidad del borde 403, puede reconstruirse un túnel virtual, representando el “túnel” a través del cual se haga pasar la bola a lo largo de su trayectoria en la dirección 602. Una porción de dicho túnel se muestra en  
20 la figura 8. Específicamente, una vez más se muestran los lados 501 y 502 y la porción del borde resultante 404 cuyos lados se unen, esta vez desde la perspectiva del interior de la forma 401 de la figura 6. Más específicamente, la figura 8 muestra un túnel virtual 801 que se ha creado como el resultado del proceso anterior del movimiento de la bola 701 en la dirección 602 por el pivotado de la bola 701  
25 alrededor de unas patas individuales que tienen al menos un punto extremo en el lado 501 y al menos un punto extremo en el lado 502, tal como se ha expuesto aquí anteriormente. El técnico especializado en la técnica reconocerá que el túnel 801 tendrá un diámetro igual al diámetro de la bola 701 y que discurrirá por la longitud del borde para su alisamiento (aquí el borde 403 en la figura 6).

30 Una vez que el túnel virtual haya sido construido a lo largo de la longitud total del borde para su alisamiento, entonces podrá llevarse a cabo el remapeado de los puntos con un borde más alisado, denominados aquí como los puntos del borde,

sobre los lados 501 y 502 en la proximidad a la porción 404 del borde agudo. La figura 9 muestra una realización ilustrativa de cómo conseguir dicho remapeado. Específicamente, la figura 9 muestra una sección transversal del túnel 801, los lados 502 y 501, así como una porción del borde 404, la cual de nuevo es una porción del

5 borde completo 403 que tiene que ser alisada. El lado 501 tiene los puntos de los bordes 901 y 902 en proximidad a la porción marginal 404, y el lado 502 tiene los puntos marginales 903 y 904 en proximidad a dicha porción del borde. Un técnico especializado en la técnica reconocerá que esto es un diagrama muy simplificado de un borde típico. Puesto que la figura 9 es una vista en sección transversal del túnel

10 801, representa un emplazamiento a lo largo del borde 403 de la figura 6. En los casos típicos, existe un gran número de puntos en cualquier posición a lo largo de un borde para su alisamiento. Los puntos 901-904 son por tanto meramente ilustrativos en su naturaleza. Un técnico especializado en la técnica reconocerá como aplicar los principios aquí descritos para cualquier número de tales puntos. Con referencia de

15 nuevo a la figura 9, con el fin de alisar la porción 404 del borde agudo, los puntos del borde 901-904 se proyectan hacia la superficie del túnel 801. Tal proyección se lleva a cabo por ejemplo mediante el dibujo de una línea entre cada uno de los puntos 901 y 904 hacia el punto central del túnel 801. Una vez dibujadas estas líneas, la intersección de cada línea y la superficie del túnel 801 se determinan, y un nuevo

20 punto denominado aquí como punto proyectado, es creado en dicha intersección. Así pues, por ejemplo, la proyección de los puntos 901, 902, 903 y 904 dará lugar a los nuevos puntos proyectados 901A, 902A, 903A y 904A sobre la superficie del túnel 901. Los puntos 901-904 pueden ser entonces eliminados o bien ocultados de la representación de la forma 401 de la figura 6.

25 La figura 10 muestra el resultado de la proyección de los puntos del borde 901-904 sobre el túnel virtual 801 de la figura 8, mostrados en la figura 10 en sección transversal. Específicamente, con referencia a la figura 10, los puntos proyectados 901 A, 902A, 903A y 904A todos están situados sobre la superficie redonda de dicho túnel. Los puntos a lo largo de la porción del lado 501 y 502 que fueron proyectados

30 sobre el túnel han sido ocultados y/o eliminados y como resultado de ello, los puntos en el borde agudo 403 incluyendo la porción 404 del margen se han reemplazado por puntos sobre una superficie redondeada. Un técnico especializado en la técnica

reconocerá que una serie de métodos pueden ser utilizados para conectar los puntos a lo largo de la superficie redondeada del túnel 801 para crear una aproximación de la superficie del borde redondeado. Tales métodos incluyen, sin limitación, el algoritmo de pivotado de bola antes mencionado para la reconstrucción de superficies. La

5 figura 11 muestra el resultado de dicha reconstrucción de la superficie. Específicamente, con referencia a dicha figura, la porción 404 del borde agudo en la intersección original de los lados 501 y 502 de la forma 401 de la figura 4 ha sido reemplazada de acuerdo con los métodos antes mencionados mediante el redondeo del borde 1101. Así pues, de acuerdo con la anterior descripción, el pivotado de la

10 bola para crear un túnel virtual, seguido por la proyección de los puntos sobre el túnel proporciona un método rápido y eficiente para redondear y/o filetear los indeseables bordes agudos.

La figura 12 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de un método ilustrativo de acuerdo con una realización de la presente invención. Con referencia a

15 dicha figura, en la etapa 201, se recibe un modelo de un objeto. Dicho modelo puede ser, por ejemplo, ilustrativamente, una representación de una nube de puntos, que tiene una superficie aproximada por una malla de triángulos. El modelo puede también haber sido editado tal como lo expuesto aquí anteriormente de una forma tal que resultaron bordes agudos, o alternativamente, los bordes a redondear pueden

20 haber estado presentes sobre el objeto conforme se haya escaneado. Una vez que el modelo haya sido recibido, en la etapa 1202, al menos un borde a redondear o filetear se habrá identificado. A continuación, en la etapa 1203, se identifica un triángulo de semilla para utilizarse en el pivotado de bola. Tal como se expuso anteriormente, todos los vértices del triángulo de semilla deberán estar situados ilustrativamente en

25 los lados de los bordes, con al menos un vértice localizado en cada lado. Una vez que el triángulo de semilla haya sido identificado, en la etapa 1204, una bola de un radio deseado se posicionará de forma tal que cada uno de los vértices del triángulo de semilla se situarán sobre la superficie de la bola. A continuación, en la etapa 1205, una pata del triángulo de semilla se seleccionará en torno a la cual pivotará la bola

30 con el pivote, y en la etapa 1206, se registrará la posición de la bola, y la bola entonces pivotará alrededor de dicha pata en una dirección deseada a lo largo del borde a redondear. En la etapa 1207, se encontrará otro punto de uno de los lados del

borde a redondear, y en la etapa 1208, el pivotado de la bola se detendrá de forma tal que el nuevo punto y los dos puntos extremos de la pata alrededor de la cual fue pivotada la bola se encontrarán sobre la superficie de la bola. A continuación, en la etapa 1209, se construye un nuevo triángulo por el dibujo de líneas desde el punto

5 nuevamente encontrado hasta cada punto extremo de la pata alrededor de la cual fue pivotada la bola. A continuación, en la etapa 1210, se hace una determinación de si el extremo de un borde a redondear se ha alcanzado o no. En caso negativo, en la etapa 1211, se identifica una nueva pata alrededor de la cual la bola podrá hacerse que pivote en la dirección deseada, y el proceso retornará a la etapa 1206. Si la

10 determinación se hace en la etapa 1210, entonces en la etapa 1212, se creará un túnel virtual a partir de las posiciones registradas de la bola, conforme pivote y se desplace a lo largo del borde a redondear. Una vez que se haya creado el túnel en la etapa 1213, las líneas se dibujan desde cada punto dentro de una proximidad identificada al borde a redondear hacia el centro del túnel virtual. A continuación, en

15 la etapa 1214, se crean nuevos puntos en el punto de intersección de cada línea y la superficie del túnel virtual. En la etapa 1215, los puntos originales dentro de una proximidad deseada del borde a redondear se ocultan o se eliminan, y finalmente, en la etapa 1216, los puntos proyectados a lo largo de la superficie del túnel virtual se conectan por medio de los métodos de reconstrucción de superficies bien conocidos.

20 El técnico especializado en la técnica reconocerá que el rendimiento de los métodos de redondeo anteriormente descritos, y los resultados conseguidos con el uso de dichos métodos variará dependiendo de varios factores. Por ejemplo, el rendimiento de un ordenador adaptado para ejecutar el redondeo antes descrito dependerá notablemente del número de puntos a lo largo del borde o bordes a

25 redondear. Un gran número de puntos tenderán a incrementar el tiempo requerido para construir el túnel virtual, y una vez que el túnel esté construido, incrementará el tiempo requerido para proyectar un gran número de puntos sobre la superficie del túnel. De forma similar, el grado del redondeo deseado determinará también la velocidad relativa de la operación de redondeo. Específicamente, si un borde tiene

30 que redondearse en alto grado, es decir, si el radio del borde tiene que ser grande, entonces dicho borde redondeado requerirá un túnel virtual con un gran diámetro. Se deduce que la bola usada para crear el túnel virtual requerirá el mismo gran diámetro.

Dicha bola de gran diámetro incrementará el número de puntos alcanzados en la operación de pivotado de la bola, así como también el número de puntos a proyectar sobre el túnel, una vez que se haya construido el túnel. No obstante, incluso en el caso de una bola grande, la complejidad del ordenador será todavía inferior que en algunos intentos anteriores, tales como los intentos bien conocidos que requerían el re-muestreo de la superficie total de un objeto después de las operaciones de redondeado. De acuerdo con las anteriores realizaciones, solo aquellas porciones más próximas al borde a redondear precisarán de proyección sobre el túnel virtual seguido por la reconstrucción de la superficie redondeada.

Las realizaciones anteriores están descritas en general en los términos de la manipulación de objetos, tales como líneas, triángulos, bolas, bordes y túneles asociados con el alisamiento de bordes agudos de una forma en 3D. El técnico especializado en la técnica reconocerá que tales manipulaciones pueden ser, en varias realizaciones, manipulaciones virtuales realizadas en la memoria o bien otro circuito/hardware de un sistema (CAD) de diseño asistido por ordenador. Por ejemplo, el técnico especializado en la técnica reconocerá que todas las referencias para mover una bola o alternativamente para mover una representación de una bola, según lo descrito aquí anteriormente y en las reivindicaciones, se refieren ilustrativamente a manipulaciones virtuales o movimientos de una bola virtual en la memoria de un sistema por ordenador, tal como el anteriormente mencionado sistema CAD. Dicho sistema CAD puede estar adaptado para ejecutar estas manipulaciones, así como también ejecutar varios métodos de acuerdo con las realizaciones antes mencionadas, así como también ejecutar varios métodos de acuerdo con las realizaciones antes descritas, utilizando un software ejecutable en un ordenador programable, adaptado para ejecutar tales manipulaciones y métodos virtuales. Un ordenador programable ilustrativo útil para estos fines es el que se muestra en la figura 13. Con referencia a dicha figura, el sistema CAD 1307 está implementado en un ordenador adecuado adaptado para recibir, almacenar y transmitir datos tales como la información posicional antes mencionada asociada con las características de una forma 3D. Específicamente, el sistema 1307 CAD ilustrativo puede tener, por ejemplo, un procesador 1302 (o bien múltiples procesadores) los cuales controlen la operación global del sistema CAD 1307. Tales

operaciones están definidas por las instrucciones del programa almacenadas en la memoria 1303 y ejecutadas por el procesador 1302. La memoria 1303 puede ser de cualquier tipo de medio legible por ordenador, incluyendo sin limitación los medios electrónicos, magnéticos o bien ópticos. Además de ello, aunque se muestra una

5 unidad de memoria 1303 en la figura 13, se comprenderá que la unidad de memoria 1303 podría comprender múltiples unidades de memoria, en donde tales unidades de memoria comprenderán cualquier tipo de memoria. El sistema CAD 1307 comprende también un Modem 1301 ilustrativo y una interfaz de red 1304. El sistema CAD 1307 comprende también ilustrativamente un medio de almacenamiento, tal como

10 una unidad de disco duro de ordenador 1305 para almacenar, por ejemplo, datos y programas de ordenador adaptados para su uso de acuerdo con los principios de la presente invención tal como se ha descrito anteriormente. Finalmente, el sistema CAD 1307 comprende también ilustrativamente uno o más dispositivos de entrada/salida, representados en la figura 13 como el terminal 1306 para permitir la

15 interacción con, por ejemplo, un técnico o un administrador de la base de datos. El técnico especializado en la técnica reconocerá que el sistema CAD 1307 es meramente ilustrativo en su naturaleza, y que los distintos componentes de hardware y software pueden estar adaptados para su uso igualmente ventajoso en un ordenador, de acuerdo con los principios de la presente invención.

20 El técnico especializado en la técnica reconocerá también que el software almacenado en el sistema de ordenador de la figura 13 puede estar adaptado para ejecutar varias tareas de acuerdo con los principios de la presente invención. En particular, puede ser un software gráfico adaptado para importar modelos de superficies, por ejemplo, los modelos generados de la exploración con láser

25 tridimensional de los objetos. Además de ello, dicho software puede permitir la edición selectiva de dichos modelos de forma que pueda crear bordes agudos, tal como se ha descrito anteriormente, o bien que permita al usuario el eliminar o reconformar varias porciones de dichos modelos según lo descrito anteriormente. El software de un sistema basado por ordenador tal como el sistema CAD 1307 puede

30 estar adaptado también para ejecutar otras funciones que serán obvias a la luz de lo aquí expuesto. Todas las mencionadas funciones tienen por objeto estar contempladas por estas exposiciones.

La Descripción Detallada anterior se tiene que comprender como que es ilustrativa y ejemplarizante en todos los aspectos, aunque no es restrictiva, y el alcance de la invención aquí expuesta no tiene que estar determinado por la Descripción Detallada, sino más bien por las reivindicaciones según su interpretación

5 de acuerdo con la amplitud total permitida por las leyes de las patentes. Se comprenderá que las realizaciones mostradas y aquí descritas son solo ilustrativas de los principios de la presente invención, y que pueden implementarse varias modificaciones por los técnicos especializados en la técnica sin desviarse del alcance y espíritu de la invención. Los técnicos especializados en la técnica podrían

10 implementar otras combinaciones de las características sin desviarse del alcance de la invención.

### **REIVINDICACIONES**

1. Un método para redondear un borde (403) entre dos lados (501, 502) de una superficie de un modelo, en donde la mencionada superficie comprende una pluralidad de puntos conectados para formar una malla de triángulos, en donde el  
5 mencionado método comprende:

desplazar una representación de una bola (701) a lo largo del mencionado borde en una dirección predeterminada (602);

definir un túnel virtual (801) a través del cual pase la bola al moverse a lo largo del mencionado borde;

10 identificar una pluralidad de puntos proyectados (901A-904A) por la proyección de una pluralidad de puntos del margen (901-904) a una superficie del túnel virtual; y

conectar los mencionados puntos proyectados en la mencionada pluralidad de los puntos proyectados;

15 en donde la etapa de mover la bola comprende:

identificar un triángulo de semilla (302) en donde los puntos en cada uno de los vértices del triángulo son puntos sobre las superficies de los dos lados (501, 502);

posicionar la bola de forma tal que los mencionados puntos en cada uno de los vértices estén dispuestos sobre una superficie de la bola;

20 seleccionar una pata (307) entre dos de los mencionados vértices del mencionado triángulo de semilla; y

pivotar la mencionada bola alrededor de la mencionada pata de una forma tal que los puntos de los mencionados vértices (304, 305) permanezcan dispuesto sobre la mencionada superficie de la bola;

25 en donde el radio de la bola se selecciona tal que solo los puntos en los vértices del triángulo de semilla estén en contacto con la superficie de la bola y sin puntos dispuestos en cualquiera de los dos lados posicionados dentro del volumen de la bola.

2. El método de la reivindicación 1, en donde un punto de un vértice del  
30 mencionado triángulo de semilla está sobre un primer lado de los mencionados dos lados, y un segundo vértice que se encuentra sobre un segundo lado de los mencionados dos lados.

3. El método de la reivindicación 1, en donde la mencionada etapa de identificación de una pluralidad de puntos proyectados comprende:

identificar una pluralidad de intersecciones de una pluralidad de líneas con la mencionada superficie del mencionado túnel virtual, en donde la mencionada pluralidad de líneas comprenden líneas entre la mencionada pluralidad de puntos del borde y un centro del mencionado túnel virtual; y

disponer los puntos sobre la mencionada superficie del mencionado túnel virtual en cada intersección en la mencionada pluralidad de las intersecciones.

4. El método de la reivindicación 1, en donde la mencionada etapa de conectar los mencionados puntos proyectados comprende el crecimiento de una malla de triángulos.

5. Un aparato para su uso en el redondeado de un borde entre dos lados de una superficie de un modelo, en donde la mencionada superficie comprende una pluralidad de puntos conectados para formar una malla de triángulos, en donde el mencionado aparato comprende:

medios para mover una representación de una bola a lo largo del mencionado borde en una dirección predeterminada;

medios para definir un túnel virtual a través del cual haya pasado la bola al moverse a lo largo del mencionado borde;

medios para identificar una pluralidad de punto proyectados para identificar una pluralidad de puntos proyectados mediante la proyección de una pluralidad de puntos del borde a una superficie del mencionado túnel virtual; y

medios para la conexión de los mencionados puntos proyectados en la mencionada pluralidad de los puntos proyectados;

en donde los medios para mover la bola comprenden:

medios para identificar un triangulo de semilla en donde los puntos en cada uno de los vértices del triángulo son puntos sobre las superficies de los dos lados;

medios para posicionar la mencionada bola de una forma tal que los puntos en cada uno de los vértices del mencionado triangulo de semilla están dispuestos sobre una superficie de la mencionada bola;

medios para seleccionar una pata entre dos de los mencionados vértices del triangulo de semilla; y

medios para pivotar la mencionada bola alrededor de la mencionada pata de una forma tal que los puntos de los mencionados vértices permanezcan dispuestos sobre la mencionada superficie de la bola;

medios para seleccionar un radio de la mencionada bola, tal que solo los puntos en los vértices del triangulo de semilla estén en contacto con la superficie de la bola, y sin ningún punto dispuesto sobre cualquiera de los mencionados dos lados posicionados dentro del volumen de la mencionada bola.

6. El aparato de la reivindicación 5, en donde los mencionados medios para posicionar la bola comprenden medios para posicionar la bola, de forma tal que un punto de un vértice del mencionado triangulo de semilla se encuentre sobre un primer lado de los dos mencionados lado y un segundo vértice se encuentra sobre un segundo lado de los mencionados dos lados.

7. El aparato de la reivindicación 5, en donde los mencionados medios para la identificación de una pluralidad de puntos proyectados comprende:

medios para identificar una pluralidad de intersecciones de una pluralidad de líneas con la mencionada superficie del mencionado túnel virtual, en donde la mencionada pluralidad de líneas comprenden líneas entre la mencionada pluralidad de puntos del borde y un centro del mencionado túnel virtual; y

medios para disponer puntos sobre la mencionada superficie del mencionado túnel virtual en cada intersección en la mencionada pluralidad de intersecciones.

8. El aparato de la reivindicación 5 en donde los mencionados medios para conectar los mencionados puntos proyectados comprenden medios para hacer crecer una malla de triángulos.

9. Un medio legible por ordenador que comprende unas instrucciones de un programa por ordenador, el cual al ejecutarse por un procesador, define las etapas para redondear un borde entre dos lados de una superficie de un modelo, en donde la mencionada superficie comprende una pluralidad de puntos conectados para formar una malla de triángulos, en donde las mencionadas etapas comprenden:

mover una representación de una bola a lo largo del mencionado borde en una dirección predeterminada;

definir un túnel virtual a través del cual haya pasado la bola al moverse a lo largo del mencionado borde;

5 identificar una pluralidad de puntos proyectados por la proyección de una pluralidad de puntos del borde a una superficie del túnel virtual; y

conectar los mencionados puntos proyectados en la mencionada pluralidad de los puntos proyectados:

en donde la etapa de mover la bola comprende:

10 identificar un triángulo de semilla en donde los puntos en cada uno de los vértices del triángulo son puntos sobre las superficies de los dos lados;

posicionar la bola de forma tal que los mencionados puntos en cada uno de los vértices están dispuestos sobre una superficie de la bola;

15 seleccionar una pata entre dos de los mencionados vértices del mencionado triángulo de semilla; y

pivotar la mencionada bola alrededor de la mencionada pata de una forma tal que los puntos de los mencionados vértices permanecen dispuestos sobre la mencionada superficie de la bola;

20 en donde el radio de la bola se selecciona de forma tal que solo los puntos en los vértices del triángulo de semilla estén en contacto con la superficie de la bola, y sin puntos dispuestos en cualquiera de los dos lados, en posición dentro del volumen de la bola.

10. El medio legible por ordenador de la reivindicación 9, que comprende además unas instrucciones del programa por ordenador para asegurar que un punto  
25 de un vértice del mencionado triángulo de semilla se encuentra en un primer lado de los mencionados dos lados y en donde un segundo vértice está sobre un segundo lado de los mencionados dos lados.

11. El medio legible por ordenador de la reivindicación 9, en donde las mencionadas instrucciones del programa de ordenador definen la etapa de identificar  
30 una pluralidad de puntos proyectados que comprenden las instrucciones del programa de ordenador que definen las etapas de:

identificar una pluralidad de intersecciones de una pluralidad de líneas con la mencionada superficie del mencionado túnel virtual, en donde la mencionada pluralidad de líneas comprende líneas entre la mencionada pluralidad de los puntos del borde y un centro del mencionado túnel virtual; y

- 5            disponer los puntos sobre la mencionada superficie del mencionado túnel virtual en cada intersección en la mencionada pluralidad de las intersecciones.

12. El medio legible por ordenador de la reivindicación 9, en donde las mencionadas instrucciones de los programas del ordenador, que definen la etapa de conectar los mencionados puntos proyectados comprenden las instrucciones del  
10 programa del ordenador que definen la etapa de crecimiento de una malla de triángulos.

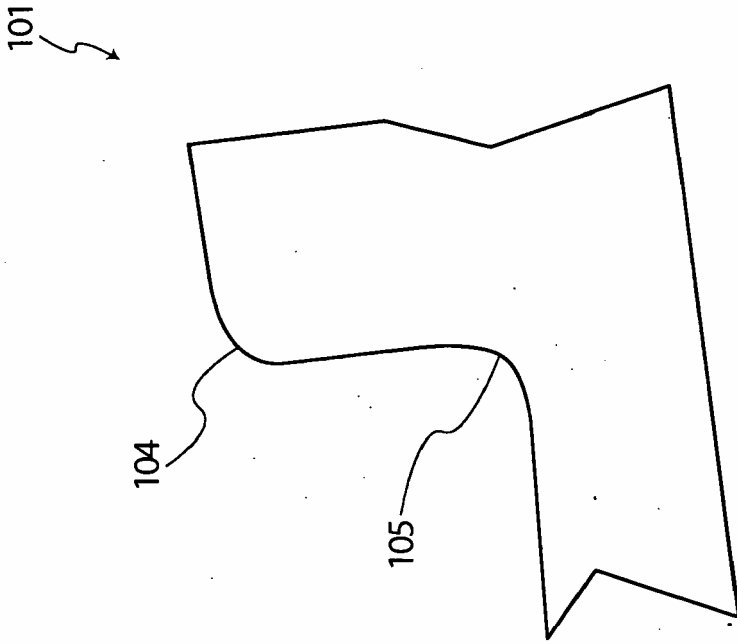


FIG. 1A

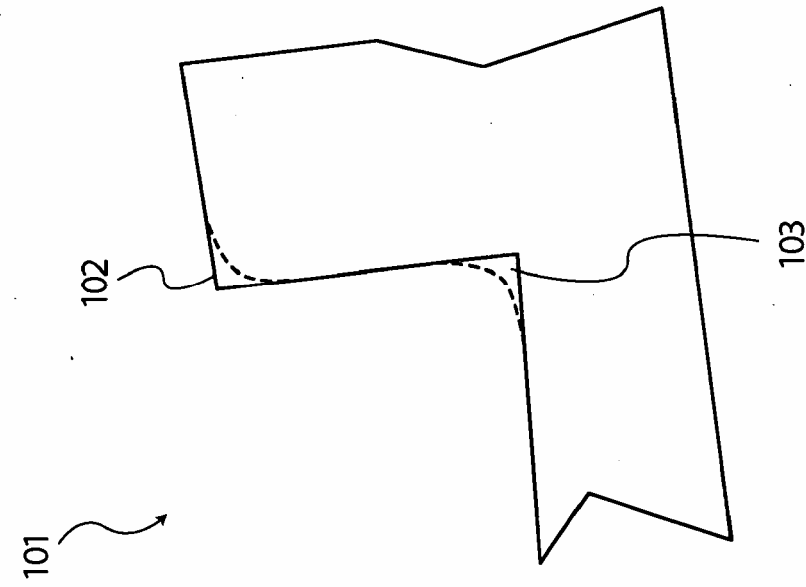


FIG. 1B

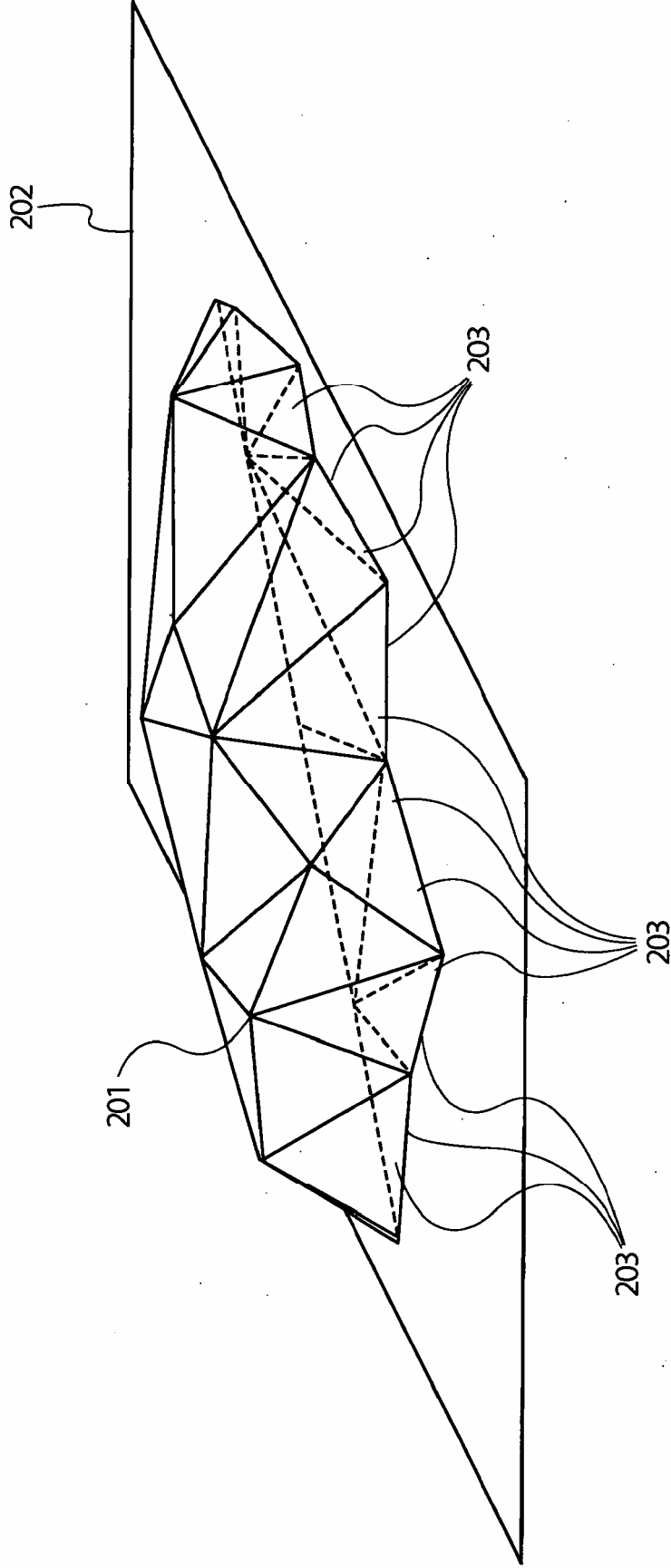


FIG. 2

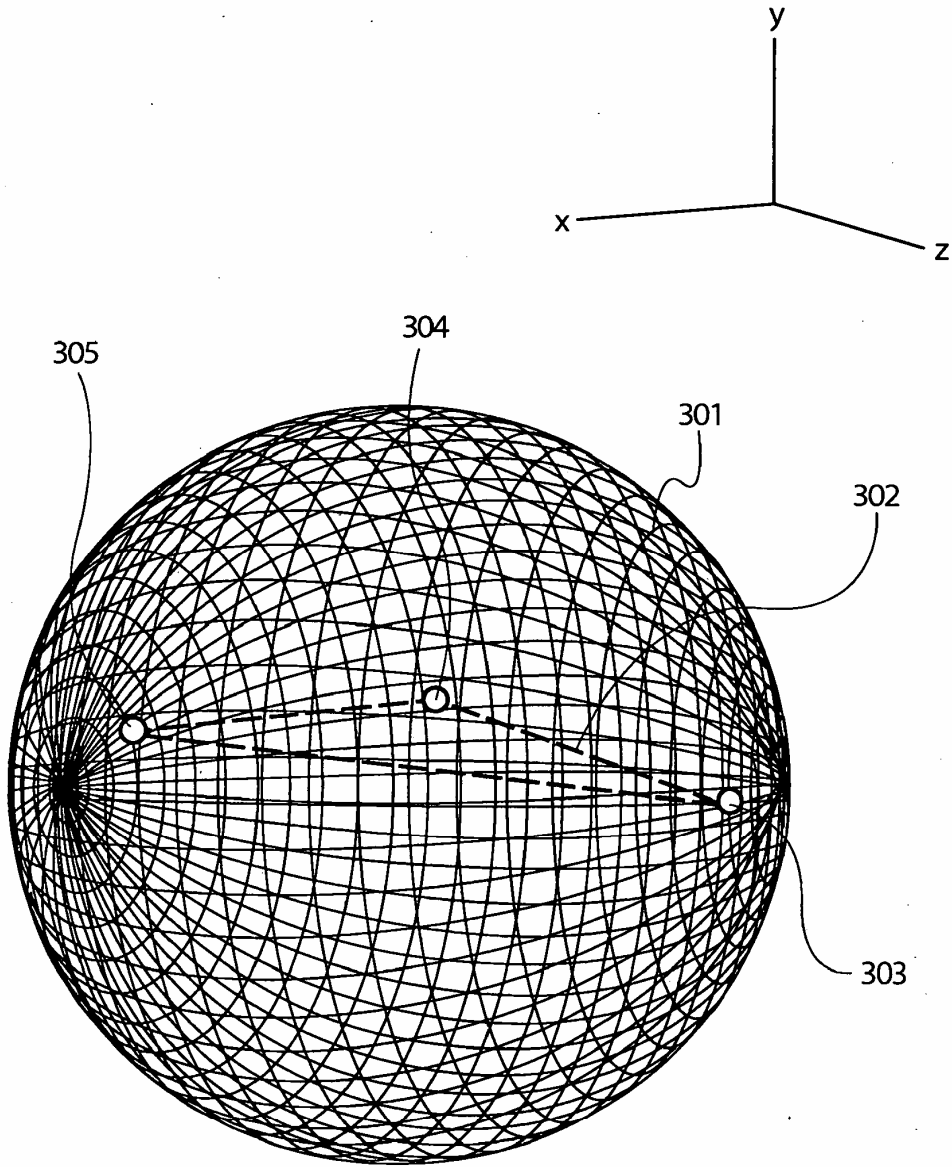


FIG. 3A

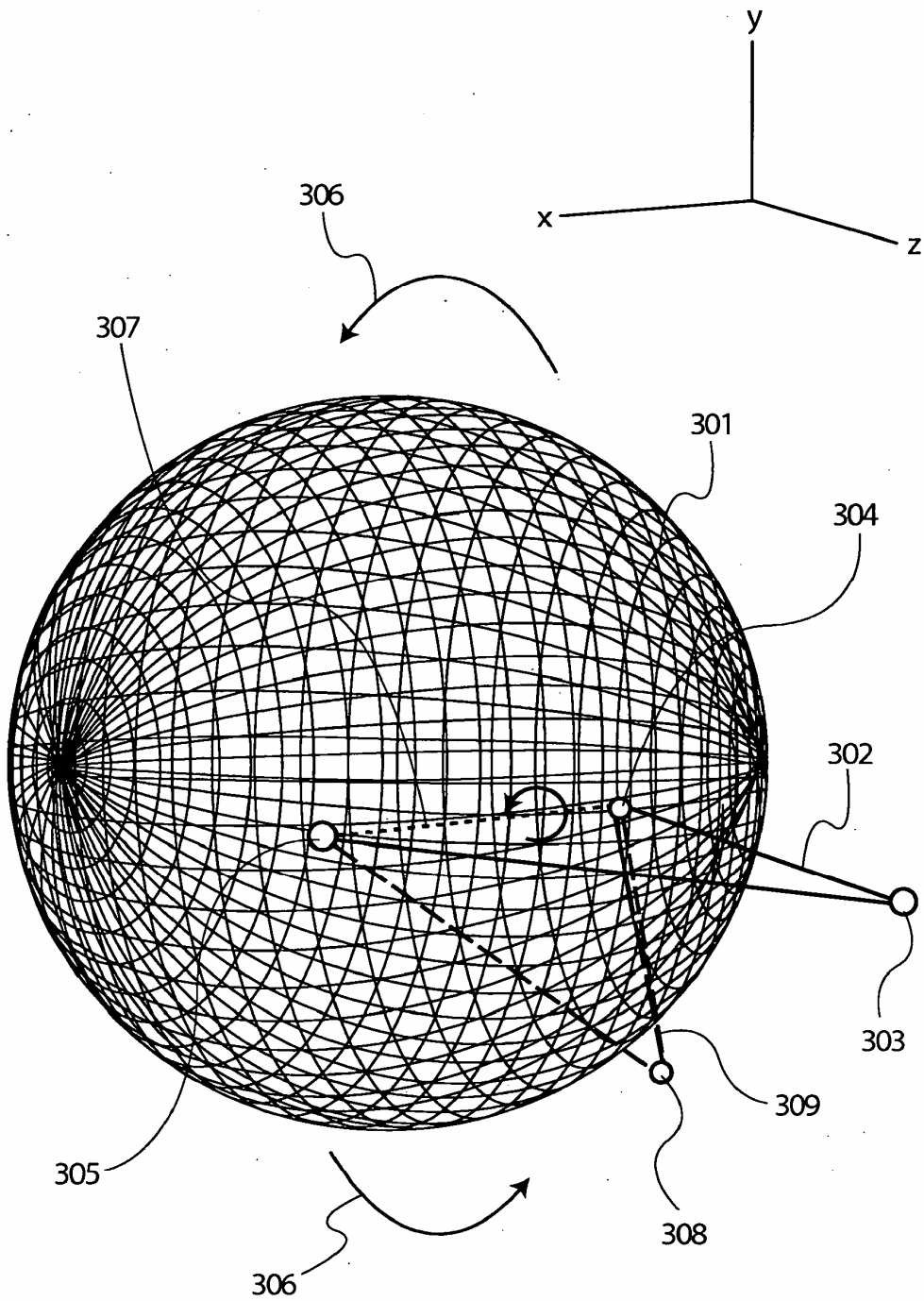


FIG. 3B

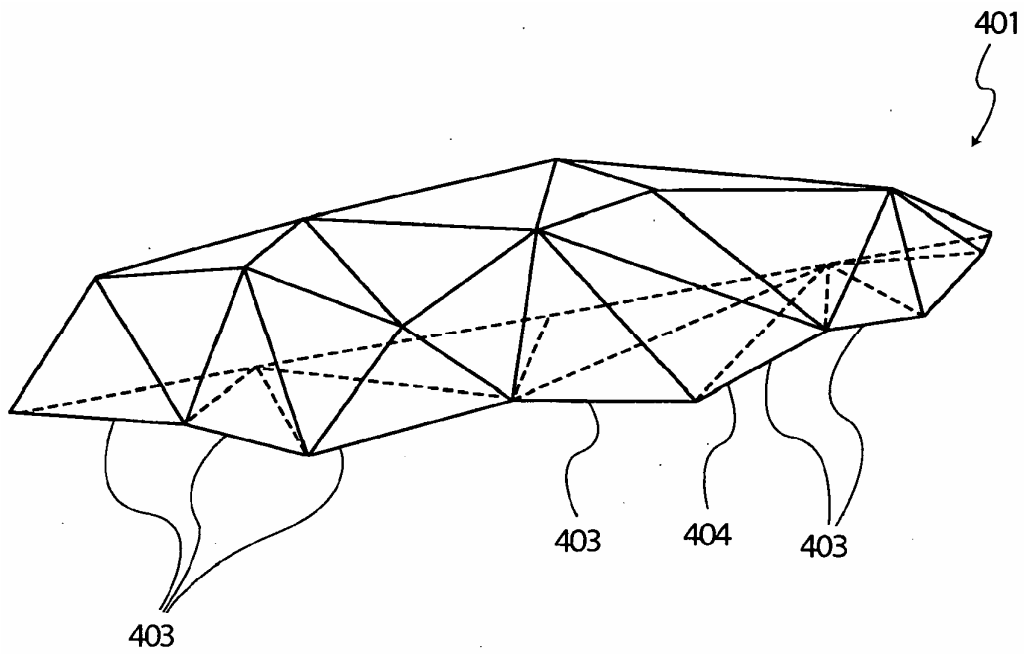


FIG. 4

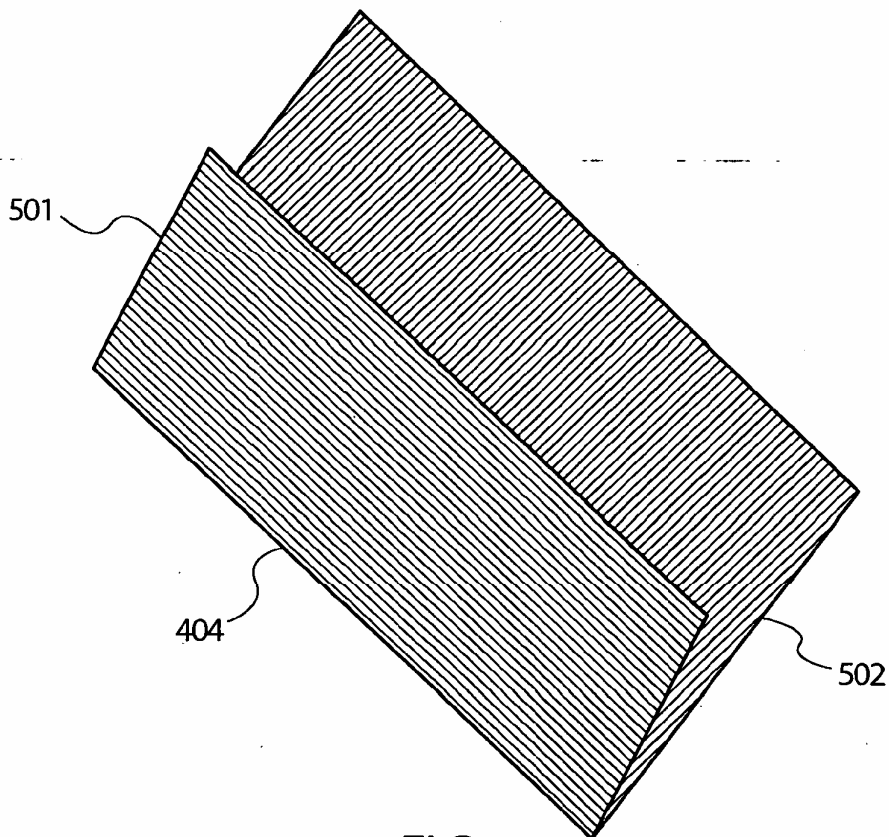


FIG. 5

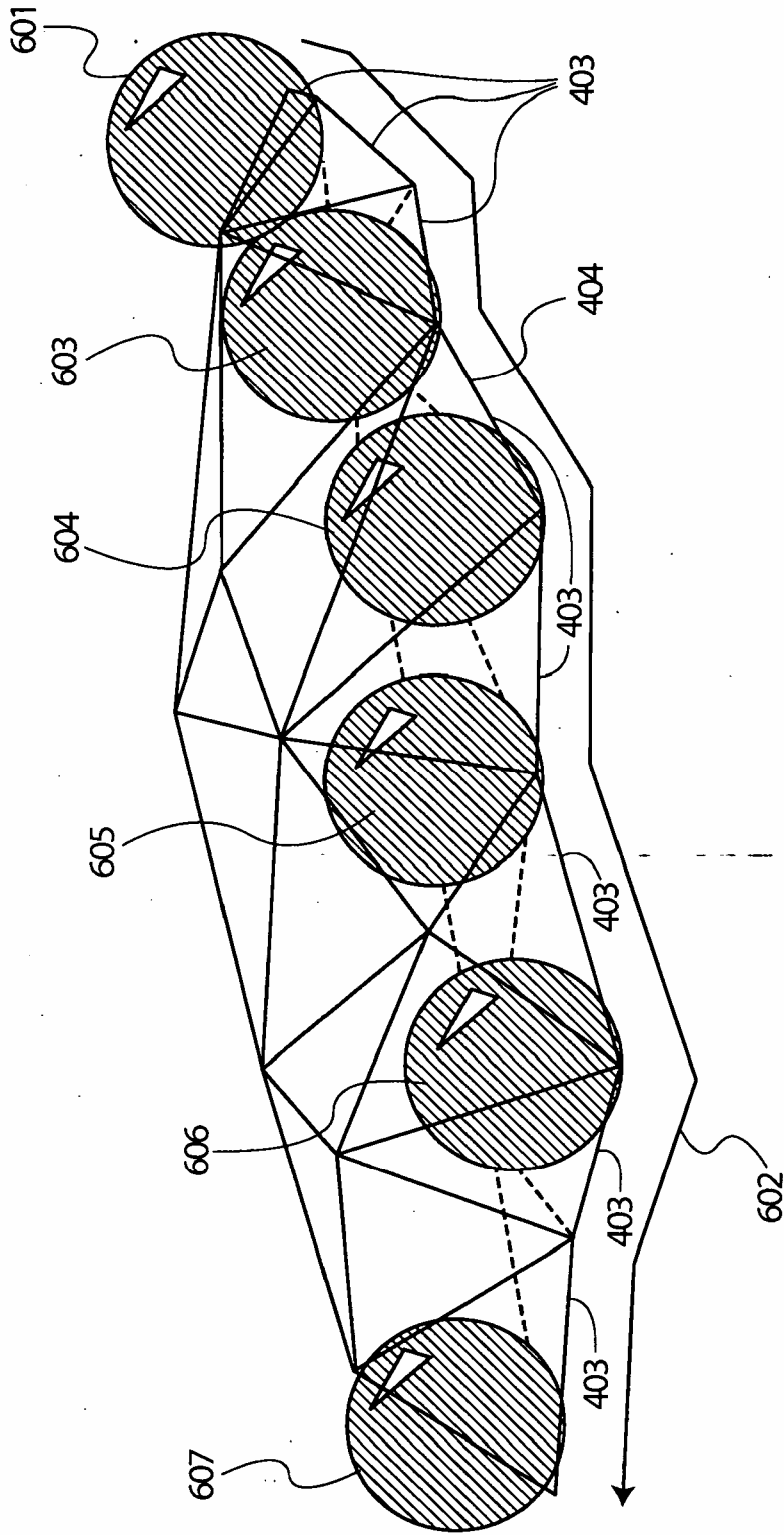


FIG. 6

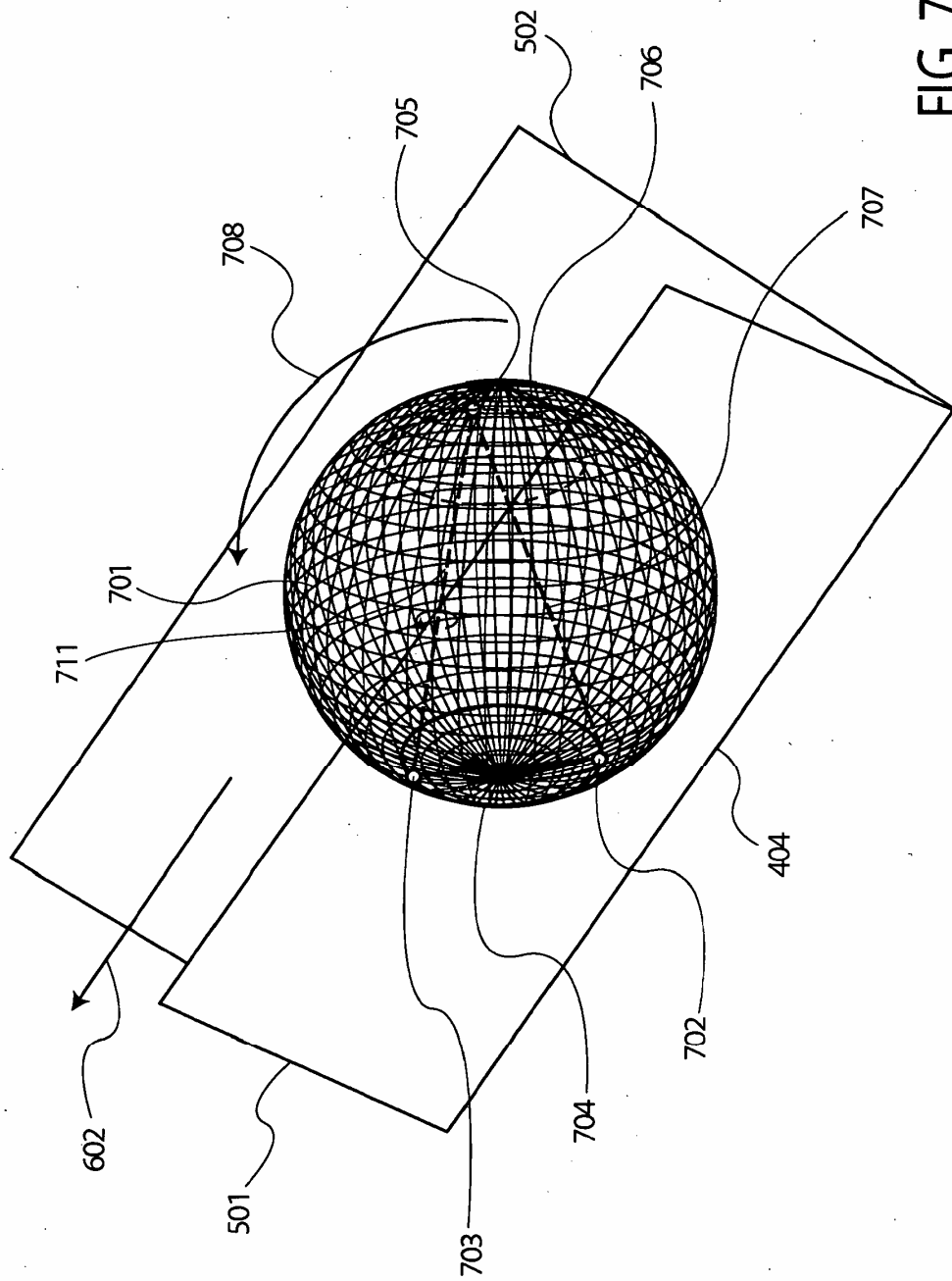


FIG. 7A

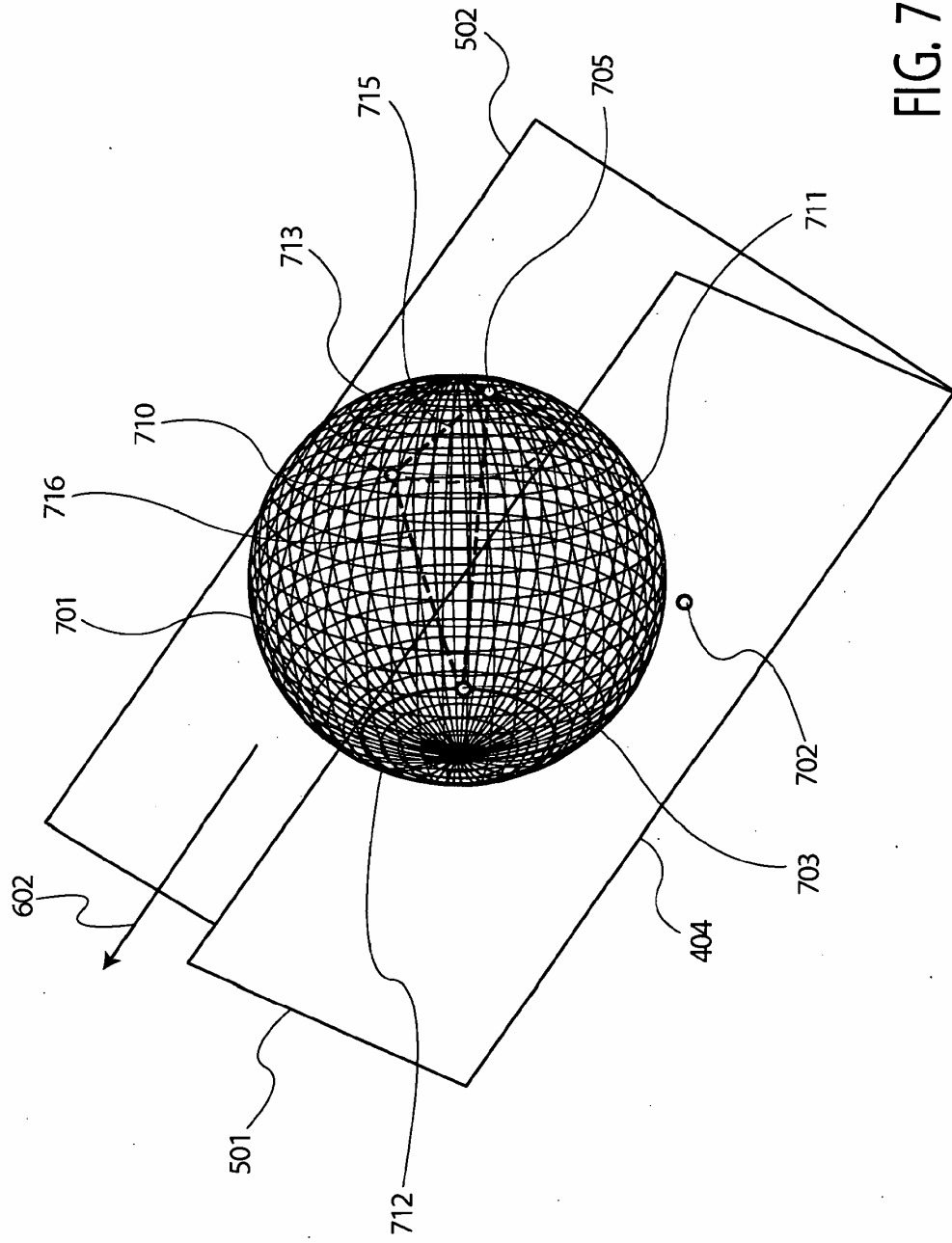


FIG. 7B

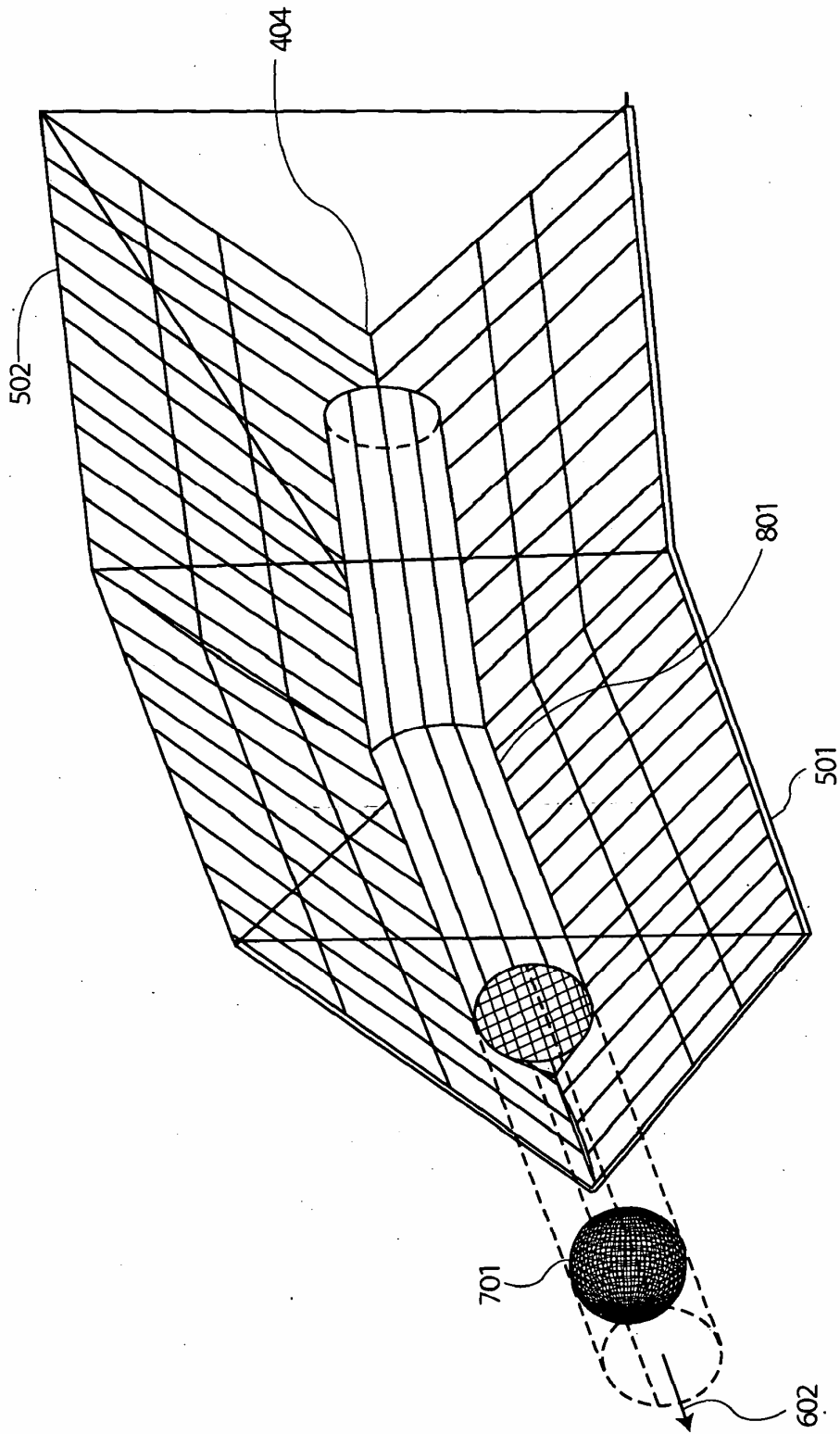


FIG. 8

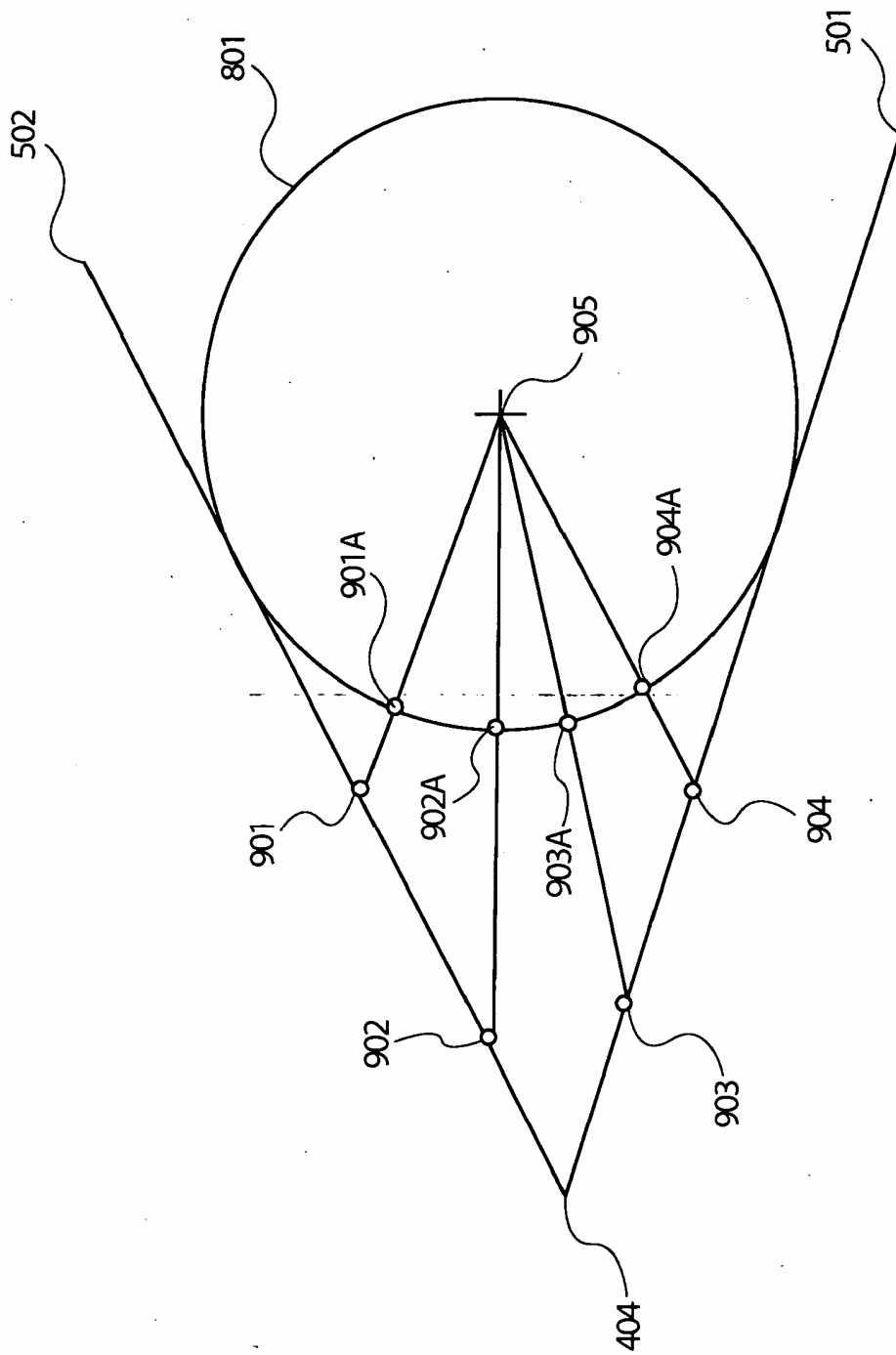


FIG. 9

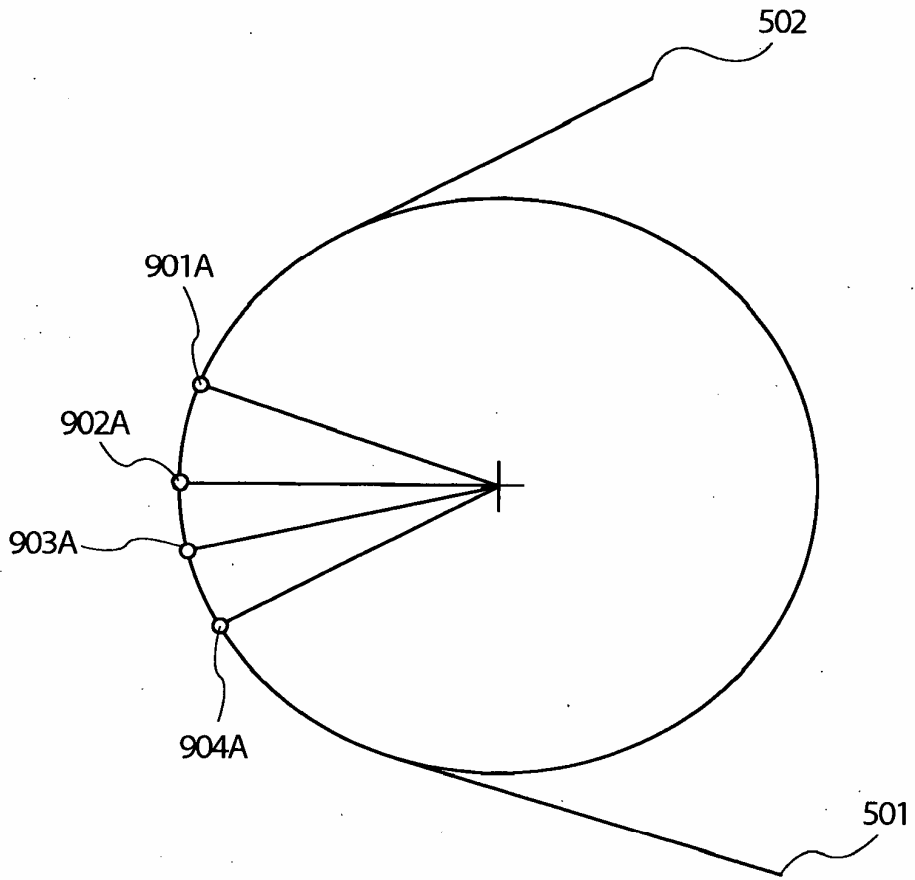


FIG. 10

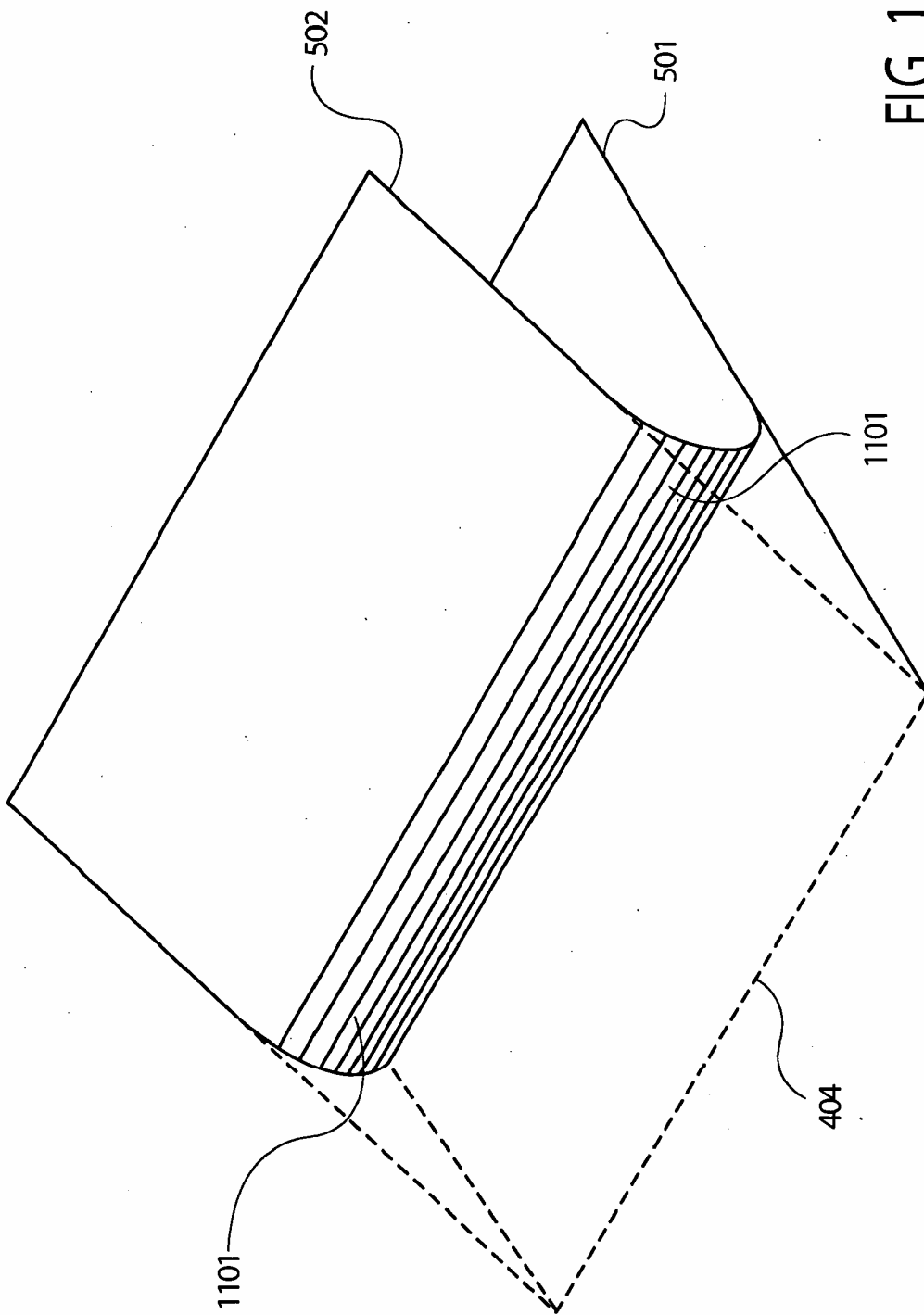


FIG. 11

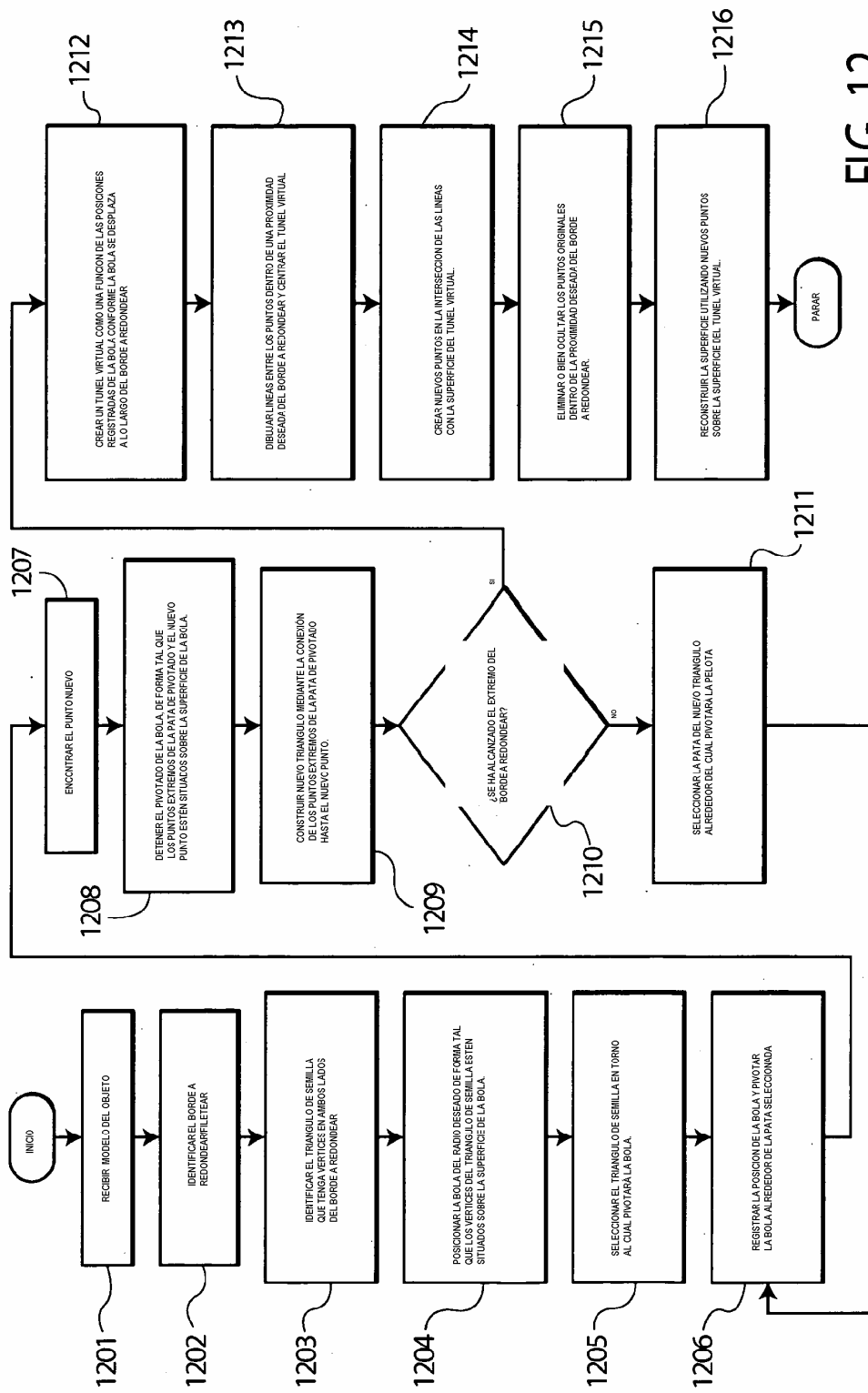


FIG. 12

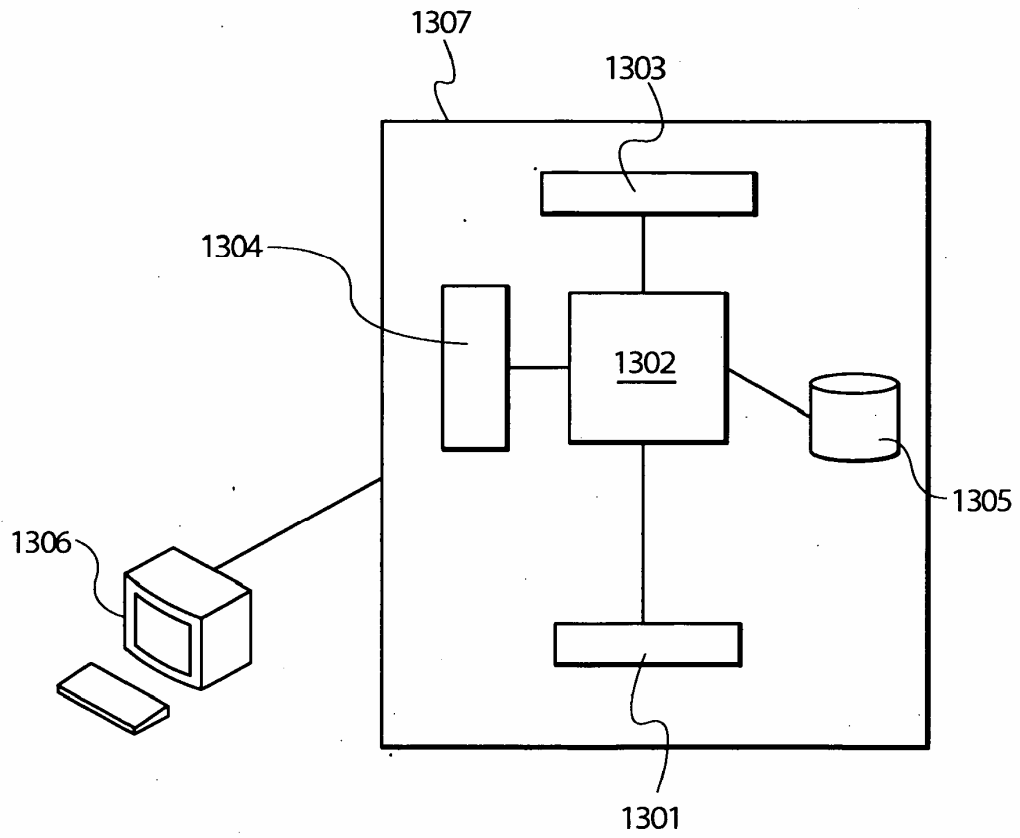


FIG. 13