

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 649 467**

51 Int. Cl.:

G06T 7/00

(2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2014** E **14193154 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2017** EP **2874121**

54 Título: **Procedimientos y aparatos para establecer un modelo estadístico de unión amelodentaria**

30 Prioridad:

18.11.2013 CN 201310574340

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

12.01.2018

73 Titular/es:

**NUCTECH COMPANY LIMITED (100.0%)
2nd Floor, Block A, TongFang Building,
Shuangqinglu, Haidian District
Beijing 100084, CN**

72 Inventor/es:

**CHEN, ZHIQIANG;
LI, YUANJING;
ZHANG, LI;
ZHAO, ZIRAN;
GU, JIANPING y
WANG, SHUO**

74 Agente/Representante:

SALVA FERRER, Joan

ES 2 649 467 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).

DESCRIPCIÓN

Procedimientos y aparatos para establecer un modelo estadístico de unión amelodentaria

5 CAMPO TÉCNICO

[0001] La presente descripción se refiere al procesado de imágenes médicas, y más particularmente, a procedimientos y a aparatos para la creación de un modelo estadístico promedio de una unión amelodentaria.

10 ANTECEDENTES

[0002] Los efectos estéticos del color natural de un diente y el cambio gradual a semitransparente son producidos por la superposición del esmalte y la dentina dental con una interfase de la unión amelodentaria. Para resolver el problema de que no pueden garantizarse al mismo tiempo belleza y resistencia para una corona cerámica de circonio puro de un diente molar, una estrategia eficaz es el desarrollo de un tipo de cerámica de circonio que tiene un cambio gradual en el gradiente del color óptico y que puede ser procesada con un diseño asistido por ordenador (*Computer Aided Design, CAD*)/fabricación asistida por ordenador (*Computer Aided Manufacturing, CAM*), mediante la simulación de la estructura y de las características ópticas del diente. La base para dicha simulación de la estructura es aprender una modalidad completa de la superficie curva de la unión amelodentaria. En la investigación de la modalidad de la unión amelodentaria, el Documento 1 (Anthony J. Olejniczak Lawrence B, y col. Quantification of dentin shape in antropoid primates [J]. *Ann Anat* , 2004, 186: 479-485) y el Documento 2 (Smith T. M, Olejniczak A. J, Reid D. J, y col. Modern human molar enamel thickness and enamel-dentine junction shape [J]. *Archives of Oral Biology*, 2006, 51: 974-995) estudian una modalidad de la unión amelodentaria en algún plano axial del diente, y la unión amelodentaria obtenida es una línea distinta a un plano. El Documento 3 (Rodrigo Borges Fonseca, Francisco Haiter-Neto, Alfredo J. Fernandes-Neto, y col. Radiodensity of enamel and dentin of human, bovine and swine teeth [J]. *Archives of Oral Biology*, 2004, 49: 919-922) adquiere una superficie curva completa de la unión amelodentaria a través de una micro-TAC (tomografía computerizada). El Documento 4 (Robert S, Corruceini. The Dentinoenamel Junction in Primates [J]. *International Journal of Primatology*, 1987, 8 (2): 99-114), el Documento 5 (Bertram S, Kraus. Morphologic relationships between enamel and dentin surfaces of lower first molar teeth [J]. *J. D. Res*, 1952, 31 (2): 248-256) y el Documento 6 (Panaghlotis Bazos, Pascal Magne. Bio-emulation: biomimetically emulating nature using a histo-anatomic approach; structural analysis [J]. *The European journal of esthetic dentistry*, 2011, 6 (1): 8-19) adquieren una superficie curva completa de la unión amelodentaria mediante el uso de un procedimiento de eliminación selectiva del esmalte con una desmineralización ácida. Los dos procedimientos que usan una micro-TAC y una desmineralización ácida pueden ser aplicados únicamente en dientes aislados, pero no en dientes naturales vivos, debido a que la dosis de radiación de la micro-TAC es grande, y el procedimiento de desmineralización ácida es destructivo. Como resultado, es difícil recoger un número de muestras necesario para establecer una base de datos de la unión amelodentaria. El Documento 7 (Xiaojing Wang. Research on feasibility of creating 3D mortality of enamel-dentine junction surface with cone-beam [D]. Peking University Health Science Center, Pekín, 2012) puede adquirir la mortalidad de la superficie de la unión amelodentaria sin dañar el diente mediante el uso de un escáner de TAC de haz cónico junto con una tecnología de segmentación de la imagen.

[0003] El Documento 8 (Kurbad A. Three-dimensionally layered ceramic blocks [J]. *Int J Comput Dent*, 2010,13 (4): 351-65) intenta construir una estructura tridimensional laminada que se asemeje a una corona dental natural de un bloque hecho todo de cerámica. El bloque cerámico está estructurado de forma que la parte de cerámica interna simula las características ópticas de la dentina, la parte de cerámica externa simula las características ópticas del esmalte, y una interfase entre las dos partes tiene forma cónica. Esto puede simular, hasta cierto punto, la semitransparencia y el cambio gradual del color de la corona natural, aunque es erróneo asumir que la unión amelodentaria tiene una forma cónica.

[0004] Un modelo estadístico de forma es un modelo creado a partir de los correspondientes conjuntos de puntos de marcas en las superficies de las estructuras anatómicas de interés en un único individuo en diferentes momentos, o entre individuos diferentes en el mismo momento. La creación del modelo estadístico de forma se basa en la premisa de la adquisición de los correspondientes conjuntos de puntos de marcas entre las estructuras anatómicas. El Documento 9 (Shen L, Makedon FS. Spherical mapping for processing of 3-D closed surfaces. *Image and Vision Computing*, 24 (7): 743-761, 2006) propone una descripción armónica esférica (*Spherical Harmonic Description, SPHARM*) que determina la correspondencia entre las estructuras a través de la normalización del espacio paramétrico. El modelado y el análisis estadístico con una SPHARM requieren que las cuadrículas de entrada sean superficies de género cero, es decir, el módulo debería tener una topología esférica. Sin embargo, la

unión amelodentinaria, es una interfase entre dos tejidos mineralizados diferentes de epitelio y de matriz extracelular, y tiene una superficie no cerrada con forma de cáscara.

- [0005]** El documento "Three dimensional finite element modeling from CT images of tooth and its validation," (Kiyoshi Tajima ET AL; Dental Materials Journal, 1 de enero de 2009, páginas 219-226) describe cómo desarrollar un modelo de un elemento finito tridimensional de un segundo premolar humano a partir de los datos de la micro-TAC mediante el uso de las herramientas de los programas informáticos disponibles, y particularmente describe "Tooth FE modeling from TAC data." En el proceso de modelado tridimensional FE de un diente, se crean los modelos de superficie de tres regiones (el diente externo, la región de la dentina y las inmediaciones de la dentina y de la pulpa), y después se crean los modelos volumétricos (sólidos) del diente, la dentina y la pulpa. Después de la creación de estos modelos sólidos, se creó un modelo sólido del esmalte. Para ensamblar finalmente un modelo sólido del diente que consiste en esmalte, dentina y pulpa, se añadió el modelo de la dentina al modelo del esmalte, mientras que el modelo de la pulpa se restó del modelo de la dentina.
- 15 **[0006]** El documento "MODELING THREE-DIMENSIONAL MORPHOLOGICAL STRUCTURES USING SPHERICAL HARMONICS" (Li Shen et al., EVOLUTION, vol. 63, nº 4, doi: 10.1111/j.1558-5646.2008.00557.x, ISSN 0014-3820, páginas 1003 - 1016) describe una plataforma analítica tridimensional (SPHARM-armónica esférica) para el modelado de las formas de estructuras morfológicas complejas a partir de mapas de superficie continuos que pueden ser producidos mediante estas tecnologías. En particular, se proporcionan algoritmos para dos etapas de procesamiento de la SPHARM: la parametrización esférica y el registro de la SPHARM. Los algoritmos permiten una caracterización numérica de una clase más amplia de modelos tridimensionales.

RESUMEN

- 25 **[0007]** Existe una necesidad de procedimientos para la creación de un módulo promedio estadístico que sea aplicable a una superficie no cerrada.
- [0008]** Esto se consigue mediante las características de las reivindicaciones independientes.
- 30 **[0009]** En una realización, los datos de la imagen de la TAC son segmentados mediante el uso del algoritmo Level Set.
- [0010]** En otra realización, el algoritmo de agrupación comprende el algoritmo K-Means.
- 35 **[0011]** En una realización adicional, la parametrización esférica se lleva a cabo mediante el uso de un algoritmo optimizado de Control del área y Distorsiones en la longitud.
- [0012]** En una realización, el algoritmo de control del área y la distorsión de la longitud se optimiza mediante la adición de ponderaciones.
- 40 **[0013]** En una realización, el procedimiento comprende adicionalmente: la aplicación de una expansión de Fourier armónica esférica en la superficie parametrizada después de la parametrización esférica.
- [0014]** En una realización, la alineación se lleva a cabo en un sistema de coordenadas esféricas.
- 45 **[0015]** En una realización, la alineación se lleva a cabo por medio del Registro de la SPHARM con un algoritmo de Iterative Closest Point (SHREC).
- [0016]** Con el procedimiento para la creación de un modelo promedio de la presente descripción, es posible describir la superficie de un objeto mediante el uso de una función armónica esférica en una superficie no cerrada, y establecer la correspondencia de los conjuntos de puntos de marcas entre las estructuras. Consecuentemente, en el caso de las muestras del escáner TAC de haz cónico de dientes aislados, puede crearse un modelo estadístico promedio que describa la mortalidad de la superficie de la unión amelodentinaria con cualquier daño en los dientes.

55 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- [0017]** El anterior aspecto y otros de la presente descripción serán evidentes y se ilustran con referencia a las realizaciones, a continuación. En las figuras:

- la Fig. 1 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento según la descripción;
 la Fig. 2 ilustra un diagrama esquemático de una superficie segmentada de la unión amelodentinaria según una realización de un procedimiento de la descripción;
 la Fig. 3 ilustra un diagrama esquemático de una superficie de la unión amelodentinaria que tiene separado el fondo según una realización del procedimiento de la descripción;
 la Fig. 4 ilustra una comparación entre una parametrización esférica según una realización del procedimiento de la descripción y una parametrización esférica que no es según la descripción; y
 la Fig. 5 ilustra un diagrama esquemático de un modelo promedio adquirido según una realización del procedimiento de la descripción.

10

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES

[0018] Ahora se describen las realizaciones particulares de la descripción con detalle. Debería apreciarse que las realizaciones del presente documento se usan únicamente como ilustración, pero que no limitan la descripción.

- 15 En la siguiente descripción se explican varios detalles particulares para proporcionar una mejor comprensión de la descripción. Sin embargo, para los expertos en la materia es evidente que la descripción puede ser implementada sin el uso de estos detalles particulares. En otros ejemplos, no se describen circuitos, materiales ni procedimientos bien conocidos para no densificar la descripción.

- 20 **[0019]** A lo largo de la memoria descriptiva, la referencia a "una realización" o "un ejemplo" significa que las características, las estructuras o las propiedades específicas descritas junto con la realización o el ejemplo están incluidas en al menos una realización de la presente descripción. Por lo tanto, las frases ""en una realización" o "en un ejemplo" que aparecen en diversos lugares a lo largo de la memoria descriptiva pueden no referirse a una y a la misma realización o ejemplo. Adicionalmente, las características, las estructuras o las propiedades específicas
 25 pueden combinarse en una o en varias realizaciones o ejemplos de cualquier forma apropiada. Además, los expertos en la materia deberían entender que las figuras están aquí con fines ilustrativos, y no están necesariamente dibujadas a escala. Debería apreciarse que "conectar" o "acoplar" un componente a otro componente puede significar que el componente está conectado o acoplado directamente con el otro componente, o puede haber un componente interviniendo entre ellos. Por el contrario, "conectar directamente" o "acoplar directamente" un
 30 componente a otro componente significa que no hay ningún componente interviniendo. Los signos de referencia iguales se refieren a elementos similares a lo largo de las figuras. El término "y/o" usado en el presente documento significa cualquiera de todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados.

[0020] La Fig. 1 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento según la descripción.

35

[0021] Después de la adquisición de los datos de las imágenes de la tomografía computerizada (TAC) de un diente, los datos de las imágenes de la TAC son segmentados en la etapa S100 para eliminar el esmalte de la capa de superficie, y la reconstrucción de una mortalidad tridimensional de la superficie de una unión amelodentinaria. En una realización, puede usarse el bien conocido algoritmo Level Set basado en Sparse Field para la segmentación.

40

[0022] Durante la segmentación de la imagen de la TAC, la intercepción de la dentina con un cubo en una región de interés provocará que la superficie de la unión amelodentinaria, que debería haber estado abierta, se cierre. Sin embargo, si se incluye el fondo en la adquisición del modelo estadístico promedio de la unión amelodentinaria, la precisión del modelado se reducirá considerablemente. En la realización de la presente
 45 descripción es necesario segmentar sin el fondo ni cualquier posible cavidad pulpar, y reducir por lo tanto la influencia del fondo y de la cavidad pulpar durante la creación del modelo estadístico promedio.

[0023] Después de la reconstrucción de la mortalidad tridimensional de la superficie de la unión amelodentinaria, en la etapa S200 se separa el fondo de la unión amelodentinaria mediante el uso de un algoritmo de agrupamiento basado en la curvatura.

50

[0024] En una realización de la presente descripción, se usa un modelo de cuadrícula triangular para simular la superficie de la unión amelodentinaria. El modelo de cuadrícula triangular M puede ser representado por un par de conjuntos lineales:

55

$$M = \{V, F\}$$

$$V = \{v_i : 1 \leq i \leq n_V\}$$

representa un conjunto de vértices, y n_V es el número de vértices.

5

$$F = \{f_k : 1 \leq k \leq n_F\}$$

representa un conjunto de parches triangulares, y n_F es el número de parches triangulares.

[0025] Con objeto de implementar el algoritmo de agrupamiento basado en la curvatura, es necesario computar los vectores normales en los vértices del modelo de cuadrícula triangular, y computar las curvaturas en los vértices del modelo de cuadrícula triangular basándose en estos vectores normales.

[0026] Los vectores normales en los vértices pueden computarse como sigue.

15 **[0027]** Asumiendo que un vértice del modelo de cuadrícula triangular se representa como v_i y un conjunto de vértices excepto el vértice v_i se representa como V . Un vértice v_j es un punto vecino de v_i si $v_j \in V$. El número de vértices de V se representa como $|V|$. Un conjunto de parches triangulares que incluye v_i se representa como F^i . f_k está asociado con v_i si el parche triangular $f_k \in F$. El número de parches triangulares de F se representa como $|F|$.

20 **[0028]** Para reflejar la influencia de la forma del parche triangular sobre el vector normal del vértice, el vector normal N_{v_i} del vértice v_i se computa con la Ecuación (1):

$$N_{v_i} = \frac{\sum_{f_k \in F^i} \gamma_k A_k N_{f_k}}{\left\| \sum_{f_k \in F^i} \gamma_k A_k N_{f_k} \right\|} \quad (1)$$

25 **[0029]** γ_k es un ángulo interior de f_k en el vértice v_i , A_k es un área del parche triangular f_k , y N_{f_k} es el vector normal del parche triangular f_k y es determinado con la Ecuación (2):

$$N_{f_k} = \frac{e_{i,j+1} \times e_{j,i}}{\|e_{i,j+1} \times e_{j,i}\|} = \frac{(v_i - v_{j+1}) \times (v_i - v_j)}{\|(v_i - v_{j+1}) \times (v_i - v_j)\|} \quad (2)$$

30 $e_{i,j+1}$ representa un vector del borde que apunta desde el vértice v_{j+1} hacia el vértice v_i .

[0030] Después de la computación del vector normal en el vértice, la curvatura en el vértice de la cuadrícula triangular se computa como sigue.

35 **[0031]** En primer lugar se computa un plano tangente en un vértice, y después se proyectan los vértices de las proximidades del vértice sobre el plano tangente. El vector normal N_{v_i} en el vértice v_i es, y un plano que tiene el vector normal N_{v_i} y que pasa el vértice v_i es el plano tangente, representado como $(N_{v_i})^\perp$, en el vértice v_i . Un vértice v_j en las proximidades del vértice v_i es proyectado sobre el plano tangente como v_j^\perp .

40 **[0032]** Un vector tangente unitario T_{ij} del vértice v_i en el plano tangente $(N_{v_i})^\perp$ a lo largo de una dirección de $v_i v_j^\perp$ es:

$$\mathbf{T}_{ij} = \frac{\langle \mathbf{N}_{v_i}, \mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i \rangle \mathbf{N}_{v_i} - (\mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i)}{\| \langle \mathbf{N}_{v_i}, \mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i \rangle \mathbf{N}_{v_i} - (\mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i) \|} \quad (3)$$

<> representa un producto escalar de dos vectores.

5

[0033] Una matriz simétrica M_{v_i} es computada con el vector tangente unitario.

$$M_{v_i} = \sum_{v_j \in \mathcal{V}^i} w_{ij} k_{ij} \mathbf{T}_{ij} (\mathbf{T}_{ij})^T = \begin{bmatrix} m_{v_i}^{11} & m_{v_i}^{12} & m_{v_i}^{13} \\ m_{v_i}^{21} & m_{v_i}^{22} & m_{v_i}^{23} \\ m_{v_i}^{31} & m_{v_i}^{32} & m_{v_i}^{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$w_{ij} = \frac{A_{f_k}}{\sum_{f_k \in \mathcal{F}^i} A_{f_k}}$$

10

es una ponderación, T_{ij} es el vector tangente unitario en el vértice v_i , y

$$k_{ij} = \frac{2 \langle \mathbf{N}_{v_i}, \mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i \rangle}{\| \mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i \|^2}$$

es una curvatura en el vértice v_i a lo largo de una dirección de T_{ij} .

15

[0034] La matriz simétrica M_{v_i} tiene dos valores propios $m_{v_i}^{11}$ y $m_{v_i}^{22}$. El Documento 10 (G. Taubin. Estimating the tensor of curvature of a surface from a polyhedral approximation [A]. En: WEL Grimson ed. Proceedings of the Fifth International Conference on Computer Vision [C], Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1995: 902-907) describe ecuaciones para resolver las principales curvaturas en el vértice v_i basándose en dos valores propios:

$$\begin{aligned} k_{v_i}^1 &= 3m_{v_i}^{11} + 8m_{v_i}^{22} \\ k_{v_i}^2 &= 3m_{v_i}^{22} - m_{v_i}^{11} \end{aligned} \quad (5)$$

[0035] Como tales, los valores de curvatura principales k_1, k_2 y las correspondientes direcciones de curvatura d_1, d_2 pueden ser obtenidos para cada vértice de la cuadrícula triangular.

[0036] Después de la obtención de las curvaturas de los vértices, los vértices pueden ser agrupados basándose en las curvaturas. En una realización de la presente descripción, puede usarse el algoritmo K-Means para agrupar los vértices de la cuadrícula triangular según la distancia basándose en los valores de curvatura principales (es decir, la distancia euclídea en el espacio de curvatura). En primer lugar se seleccionan dos objetos aleatoriamente como centros para la agrupación, como agrupadores iniciales. Después se agrupa el conjunto de datos formado por el vector de curvatura principal (k_1, k_2) en cada iteración. Particularmente, para cada objeto que queda en el conjunto de datos, el objeto es reasignado al agrupamiento más cercano según la distancia entre el objeto y cada uno de los centros del agrupamiento. Habiendo procesado todos los objetos de datos se ha

30

completado una iteración, y se obtienen nuevos centros de agrupamiento. Cada uno de los vértices de la cuadrícula triangular será clasificado en un agrupamiento al final del algoritmo. El fondo puede ser separado de la superficie de la unión amelodentinaria con el algoritmo de agrupamiento basado en la curvatura. La Fig. 3 muestra un diagrama esquemático de la separación del fondo de la superficie de la unión amelodentinaria con el algoritmo de agrupamiento. En la Fig. 3, la parte más oscura representa el fondo separado que está formado por una cuadrícula triangular.

10 **[0037]** Después de la eliminación del fondo, en la etapa S300 se aplica una parametrización esférica mediante un análisis armónico esférico a la superficie de la unión amelodentinaria sin el fondo.

[0038] En el proceso se lleva a cabo en primer lugar la parametrización esférica del modelo de parche con un algoritmo optimizado de Control del Área y Distorsiones en la longitud (CALD). El Documento 9 (Shen L, Makedon FS. Spherical mapping for processing of 3-D closed surfaces. Image and Vision Computing, 24 (7): 743-761, 2006) describe el algoritmo CALD, que está optimizado en el procedimiento de la presente descripción.

15 **[0039]** Para el modelo de la totalidad de la cuadrícula triangular, el coste $C_a(M, \Psi)$ de la distorsión del área en la parametrización es:

$$C_a(M, \Psi) = \frac{\sum_{t_i \in M} \left[\max\left(\frac{A(\Psi(t_i))}{A(t_i)}, \frac{A(t_i)}{A(\Psi(t_i))}\right) \times A(\Psi(t_i)) \times \varepsilon(t_i) \right]}{A(\Psi(M))} \quad (6)$$

20 **[0040]** $M=\{t_i\}$ representa un conjunto de triángulos en el modelo original del sistema de coordenadas cartesiano. T es un mapa reversible para el cartografiado de los triángulos M en una cuadrícula del espacio paramétrico, es decir, $\Psi(M) = \{\Psi(t_i)\}$. $A(\cdot)$ representa el área del triángulo o de la cuadrícula el espacio paramétrico.

25 **[0041]** Aquí, $\varepsilon(t_i)$ representa una ponderación y se define con la Ecuación (7):

$$\varepsilon(t_i) = \begin{cases} \mathbf{w} & t_i \in B \\ \mathbf{1.0} & t_i \in T \end{cases} \quad (7)$$

30 **[0042]** B es un conjunto de triángulos en el fondo, y $T = M-B$ es un conjunto de triángulos del modelo original excepto el fondo.

35 **[0043]** La influencia del área de fondo en el proceso de parametrización se reduce mediante la adición de la ponderación $\varepsilon(t_i)$. (a) y (b) en la Fig. 4 muestran los resultados de la parametrización esférica sin la adición de la ponderación, y (c) y (d) en la Fig. 4 muestran los resultados de la parametrización esférica con la adición de la ponderación. Como puede observarse en la Fig. 4, para la región distinta al fondo, el cartografiado esférico puede cartografiar la cuadrícula de los triángulos en una esfera unitaria de forma continua y uniforme. Para la región del fondo, habrá más distorsión del área en el cartografiado con objeto de minimizar la distorsión del área en el cartografiado de la región que no es el fondo.

40 **[0044]** Después de la parametrización esférica, se aplica una expansión de armónicos esféricos de Fourier al resultado de la parametrización para obtener una forma de expansión de la función armónica esférica. La función armónica esférica $Y_l^m(\theta, \phi)$ ($-l \leq m \leq l$) es un conjunto de funciones que están definidas en el sistema de coordenadas esféricas y constituye un conjunto de bases ortogonales normalizadas en una esfera. El descriptor de armónicos esféricos está parametrizado de forma que cualquier estructura de topología curvada con una conexión individual es equivalente a una esfera. Un punto $v(\theta, \phi)$ en la esfera puede ser representado por una combinación
45 lineal de las funciones armónicas esféricas:

$$v(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l c_l^m Y_l^m(\theta, \phi) \quad (8)$$

$c_l^m = (c_{xl}^m, c_{yl}^m, c_{zl}^m)^T$ puede ser calculado mediante una estimación de mínimos cuadrados. es una \hat{c}_l^m estimación del coeficiente original c_l^m . La función original puede restaurarse como sigue:

$$\hat{v}(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^{L_{\max}} \sum_{m=-l}^l \hat{c}_l^m Y_l^m(\theta, \phi) \approx v(\theta, \phi)$$

5

[0045] L_{\max} es el grado de libertad máximo especificado por un usuario. Cuanto mayor sea L_{\max} , más preciso es el $v(\theta, \phi)$ restaurado.

10 **[0046]** La parametrización del modelo se consigue después de llevar a cabo la restauración de armónicos esféricos para los vértices de la cuadrícula triangular.

[0047] Finalmente, en la etapa S400, se alinean diferentes muestras del mismo diente individual para adquirir un modelo estadístico promedio para el diente. La Fig. 5 muestra el modelo estadístico promedio de la unión amelodentinaria de un diente premolar.

15

[0048] En una realización de la presente descripción, la alineación entre el espacio del modelo de muestra y el espacio paramétrico se lleva a cabo con el algoritmo SHREC (SPHARM Registration with Iterative Closest Point) conocido a partir del Documento 11 (Shen, L., Huang, H., Makdeon, F., Saykin, A. J.: Efficient registration of 3D spharm surface. En: 4th Canadian Conf. on Computer & Robot Vision. (2007) 81-88), y por lo tanto, puede establecerse la correspondencia entre diferentes modelos de muestra. En un ejemplo pueden recogerse 45 muestras de dientes individuales para crear el modelo estadístico promedio de la unión amelodentinaria del primer diente premolar. El uso del algoritmo SHREC permite el posicionamiento automático de los correspondientes conjuntos de puntos de marcas para la misma estructura entre diferentes individuos.

20

25 **[0049]** Con el procedimiento de la presente descripción es posible crear un modelo estadístico promedio para una superficie no cerrada. Además, el procedimiento puede obtener un modelo estadístico promedio tridimensional a partir de la imagen de la TAC de haz cónico de cualquier otro objeto.

30 **[0050]** El procedimiento de la presente descripción puede ser implementado en un programa informático, en un equipo informático o en una combinación de los mismos.

[0051] La anterior descripción detallada ha establecido varias realizaciones del procedimiento y el aparato para la creación de un modelo estadístico promedio de una unión amelodentinaria mediante el uso de diagramas en bloque, de diagramas de flujo y/o de ejemplos. En lo que respecta a dichos diagramas en bloque, diagramas de flujo y/o ejemplos, contienen una o más funciones y/u operaciones. Los expertos en la materia entenderán que cada función y/u operación de dichos ejemplos puede ser implementada individualmente y/o en conjunto mediante una amplia variedad de equipos, programas, microprogramas o prácticamente cualquier combinación de los mismos. En una realización pueden implementarse varias porciones del asunto en cuestión descrito en el presente documento a través de circuitos integrados de aplicación específica (*Application Specific Integrated Circuits*, ASIC), de matrices de puertas programables *in situ* (*Field Programmable Gate Arrays*, FPGA), de procesadores de señales digitales (DSP) o de otros formatos integrados. Sin embargo, los expertos en la materia reconocerán que algunos aspectos de las realizaciones descritas en el presente documento, en su totalidad o en parte, pueden ser implementados de forma equivalente en circuitos integrados, en forma de uno o más programas informáticos que se ejecutan en uno o más ordenadores (por ejemplo, en forma de uno o más programas que se ejecutan en uno o más sistemas informáticos), en forma de uno o más programas que se ejecutan en uno o más procesadores (por ejemplo, en forma de uno o más programas que se ejecutan en uno o más microprocesadores), en forma de un microprograma o en forma de prácticamente cualquier combinación de los mismos, y que el diseño de los sistemas de circuitos y/o la escritura del código para el programa o el microprograma informático estaría en la pericia de los expertos en la materia a la luz de

45

esta descripción. Además, los expertos en la materia apreciarán que los mecanismos del asunto en cuestión descritos en el presente documento son susceptibles de ser distribuidos en forma de un producto de programa en diversas formas, y que una realización ilustrativa del asunto en cuestión descrito en el presente documento se aplica independientemente del tipo de medio portador de la señal en particular usado para llevar a cabo realmente la distribución. Algunos ejemplos de un medio portador de señal incluyen, pero no se limitan a, los siguientes: un medio de tipo grabable tal como un disco *floppy*, una unidad de disco duro, un disco compacto (CD), un disco versátil digital (DVD), una cinta digital, una memoria de ordenador, etc.; y un medio de tipo transmisión tal como un medio de comunicación digital y/o un análogo (por ejemplo, un cable de fibra óptica, una guía de ondas, una conexión de comunicación por cable, una conexión de comunicación inalámbrica, etc.).

10

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la creación de un modelo estadístico promedio de una unión amelodentinaria, que comprende las etapas de:
5 la adquisición de los datos de las imágenes de una tomografía computerizada, TAC, de un diente;
la segmentación (S100) de la imagen de los datos de la TAC para obtener una superficie de una unión amelodentinaria;
la segmentación (S200) de la superficie obtenida mediante el uso de un algoritmo de agrupamiento basado en la
10 curvatura para eliminar un fondo de la unión amelodentinaria, en el que se usa un modelo de cuadrícula triangular para simular la unión amelodentinaria y en el que dicho algoritmo de agrupamiento basado en la curvatura comprende la computación de los vectores normales en los vértices del modelo de cuadrícula triangular y la computación de las curvaturas en los vértices del modelo de cuadrícula triangular basándose en estos vectores normales;
15 la parametrización esférica (S300), mediante un análisis armónico esférico, de la superficie de la unión amelodentinaria después de la eliminación del fondo; y
la alineación S(400) de las diferentes muestras del diente para obtener un modelo estadístico promedio.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que los datos de las imágenes de la TAC son
20 segmentados mediante el uso del algoritmo Level Set.
3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el algoritmo de agrupamiento comprende el algoritmo K-Means.
- 25 4. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la parametrización esférica (S300) se lleva a cabo mediante el uso de un algoritmo optimizado de Control del área y Distorsiones en la longitud.
5. El procedimiento según la reivindicación 4, en el que el algoritmo de Control del área y Distorsiones en la longitud es optimizado mediante la adición de ponderaciones.
30
6. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:
la aplicación de una expansión de armónicos esféricos de Fourier, SPHARM, en la superficie parametrizada después de la parametrización esférica.
35
7. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que la alineación (S400) se lleva a cabo en un sistema de coordenadas esféricas.
8. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la alineación (S400) se lleva a cabo por medio
40 del algoritmo SPHARM Registration con un Iterative Closest Point, SHREC.
9. Un aparato para la creación de un modelo estadístico promedio de una unión amelodentinaria, que comprende:
45 un medio para la adquisición de los datos de las imágenes de una tomografía computerizada, TAC, de un diente;
un medio para la segmentación de los datos de las imágenes de la TAC para obtener una superficie de una unión amelodentinaria;
un medio para la segmentación de la superficie obtenida mediante el uso de un algoritmo de agrupamiento basado en la curvatura para eliminar un fondo de la unión amelodentinaria, en el que se usa un modelo de cuadrícula
50 triangular para simular la unión amelodentinaria y en el que dicho algoritmo de agrupamiento basado en la curvatura comprende la computación de los vectores normales en los vértices del modelo de cuadrícula triangular y la computación de las curvaturas en los vértices del modelo de cuadrícula triangular basándose en estos vectores normales;
un medio para una parametrización esférica mediante un análisis armónico esférico de la superficie de la unión
55 amelodentinaria después de la eliminación del fondo; y
un medio para la alineación de las diferentes muestras del diente para obtener un modelo estadístico promedio.

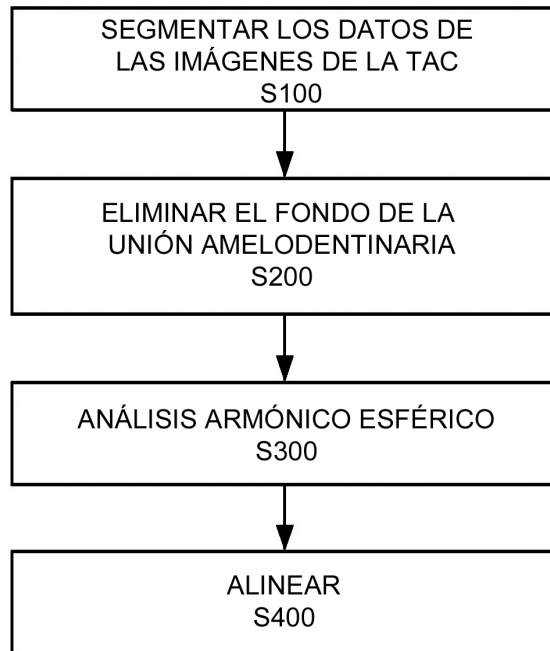


Fig. 1

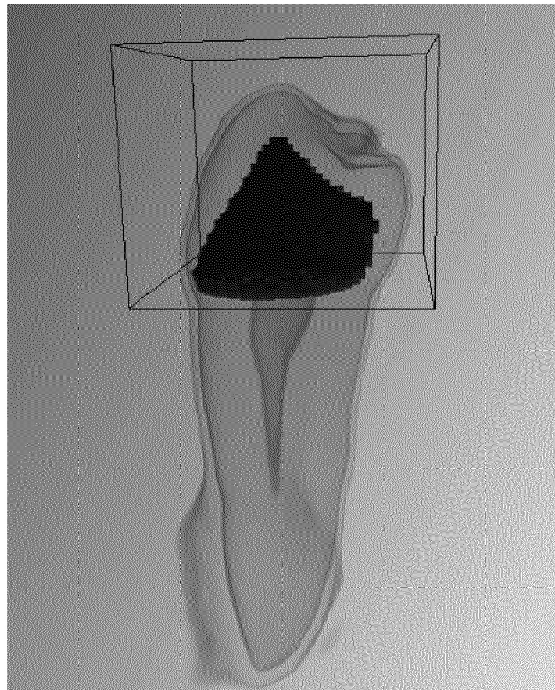


Fig. 2

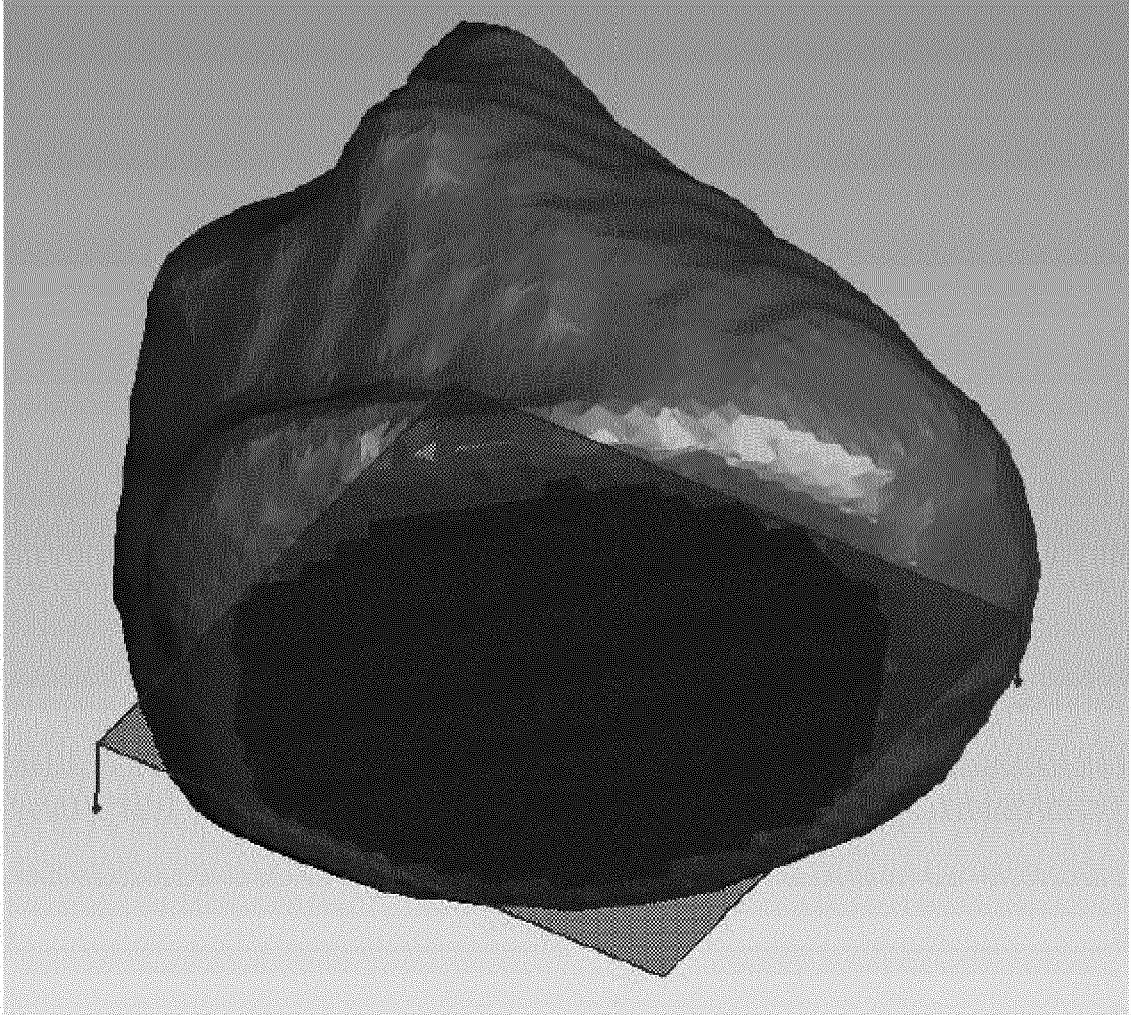


Fig.3

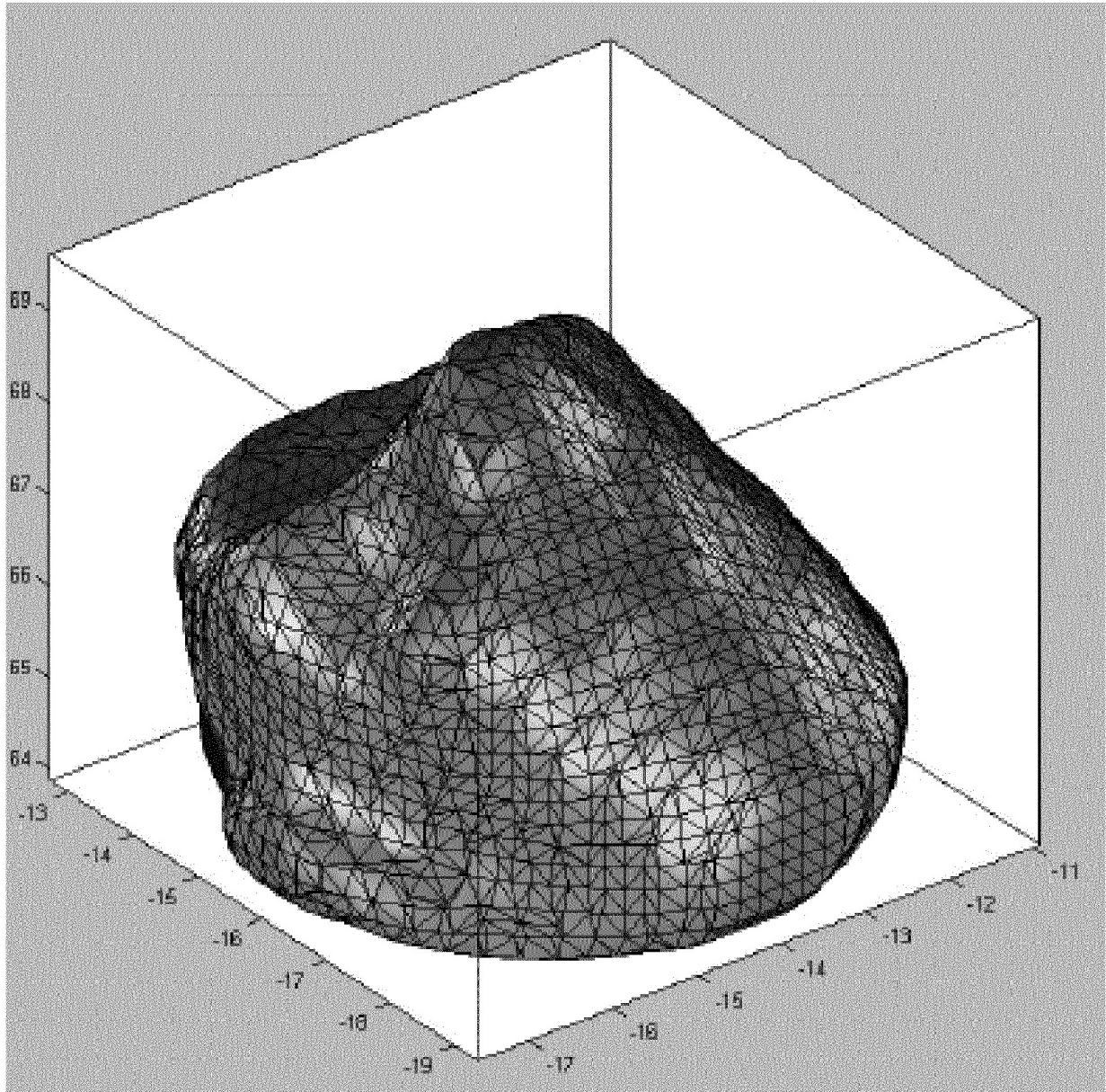


Fig. 4(a)

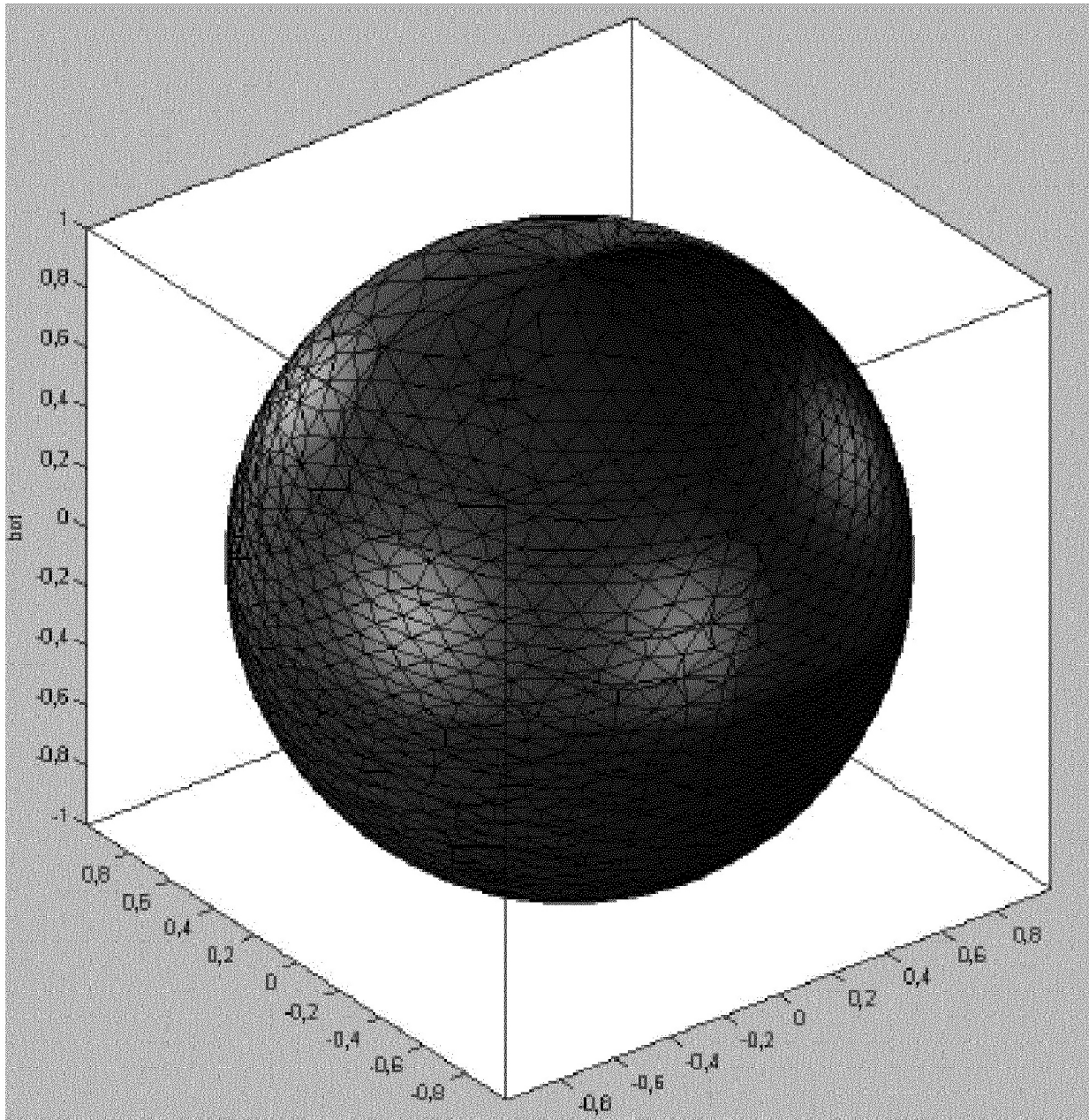


Fig. 4(b)

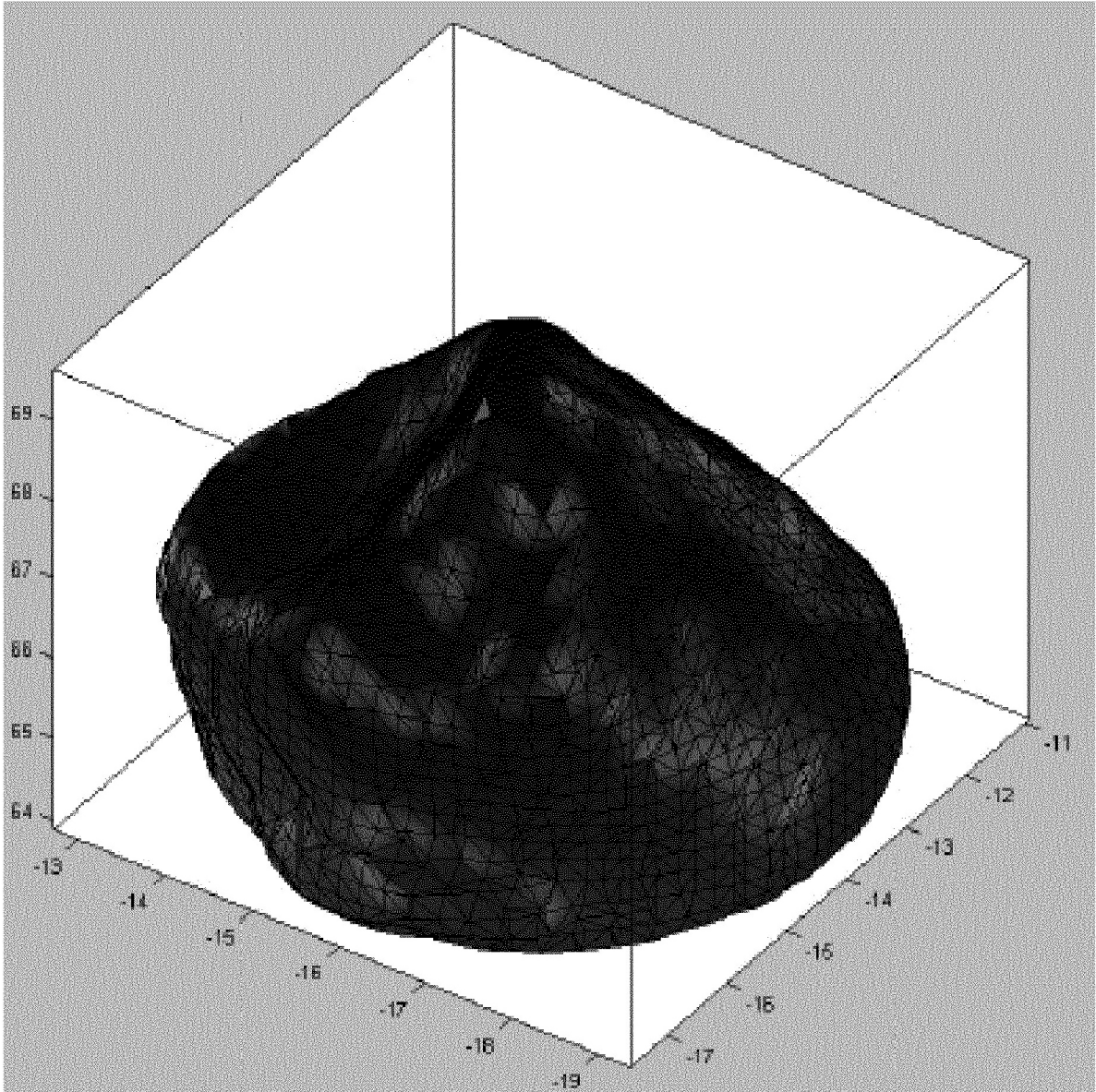


Fig. 4(c)

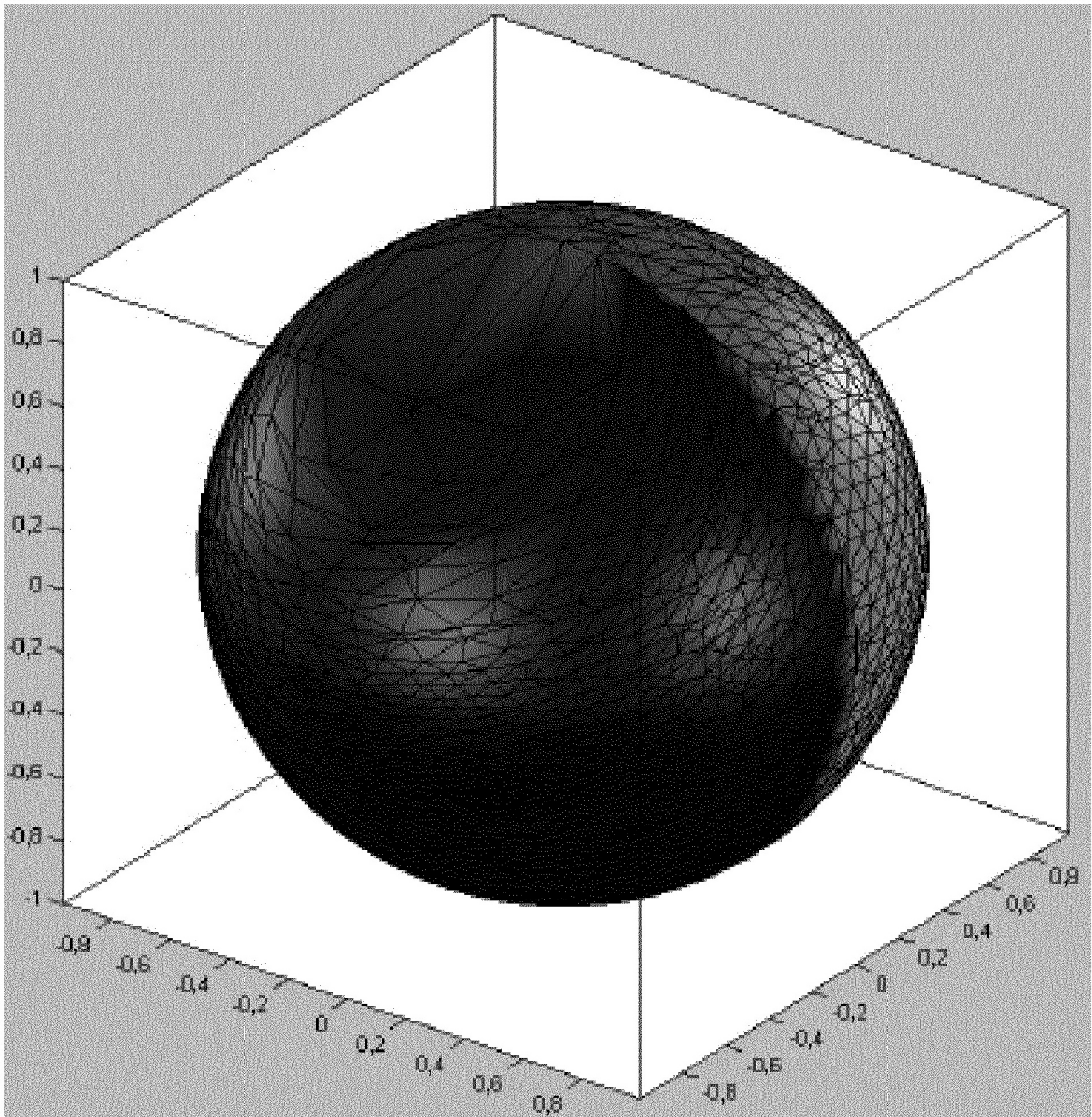


Fig. 4(d)

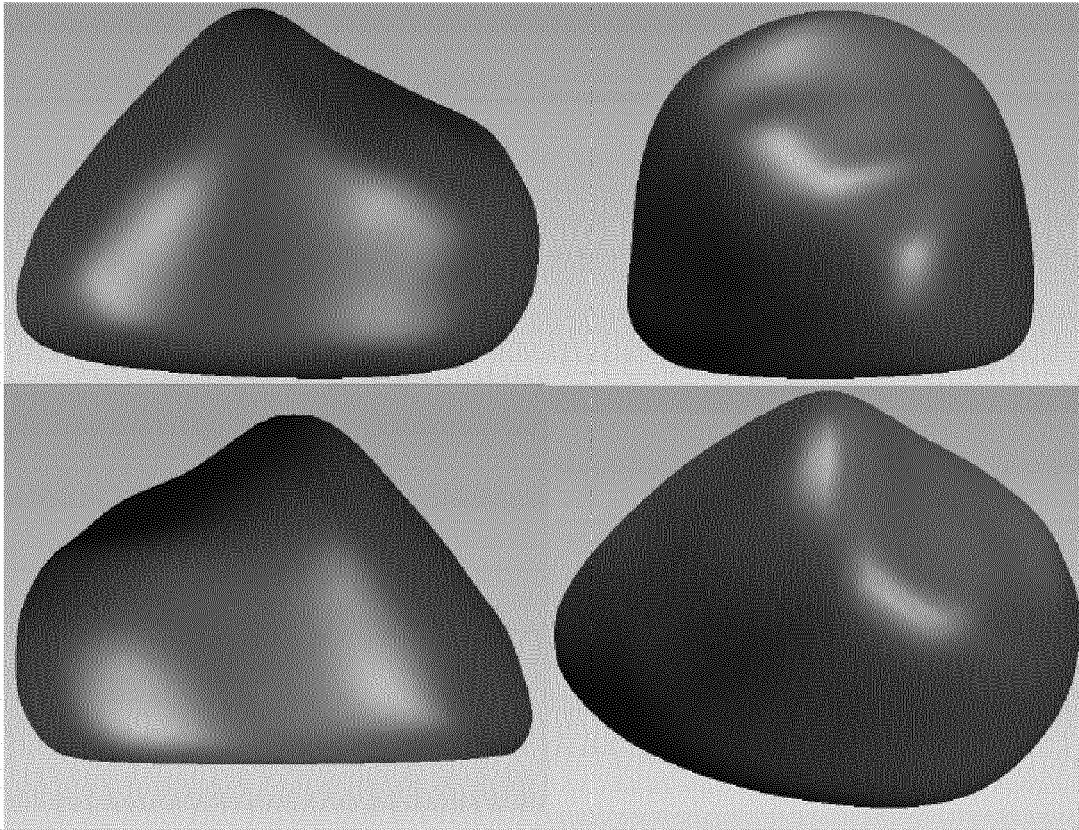


Fig. 5