

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 932 181**

(21) Número de solicitud: 202130618

(51) Int. Cl.:

G06T 7/30 (2007.01)
G06T 19/20 (2011.01)

(12)

SOLICITUD DE PATENTE

A1

(22) Fecha de presentación:

02.07.2021

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

16.01.2023

(71) Solicitantes:

PANACEA COOPERATIVE RESEARCH S. COOP.
(50.0%)
AVE MARIA 4 - 6ºB
24402 PONFERRADA (León) ES y
UNIVERSIDAD DE GRANADA (50.0%)

(72) Inventor/es:

IBÁÑEZ PANIZO, Oscar;
VALSECCHI, Andrea;
BERMEJO NIEVAS, Enrique;
MARTOS FERNÁNDEZ, Rubén;
MARTÍNEZ MORENO, Práxedes;
GÓMEZ TRENADO, Guillermo;
CORDÓN GARCÍA, Oscar;
DAMAS ARROYO, Sergio;
GUERRA MARTÍ, Rosario;
ALEMÁN AGUILERA, Inmaculada y
MESEJO SANTIAGO, Pablo

(74) Agente/Representante:

GONZÁLEZ PESES, Gustavo Adolfo

(54) Título: **Procedimiento de identificación forense mediante comparación automática de modelo 3D del cráneo y fotografía(s) de la cara**

(57) Resumen:

Procedimiento de identificación forense mediante comparación automática de modelo 3D del cráneo y fotografía(s) de la cara.

Procedimiento de identificación de múltiples cráneos con distintos sujetos, cuando se dispone (i) de un modelo tridimensional de cada cráneo y (ii) de una o más fotografías faciales indubitablemente de cada uno de los sujetos candidatos, donde el procedimiento comprende los pasos de: detección de puntos craneométricos en los modelos 3D craneales; estimación del grosor y la dirección del tejido blando facial; detección de puntos cefalométricos en las fotografías faciales; filtrado basado en consistencias morfométricas entre cráneo y cara, solapamiento cráneo-cara en múltiples fotografías y toma de decisiones.

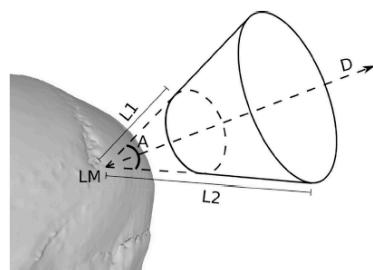


FIG. 2

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de identificación forense mediante comparación automática de modelo 3D del cráneo y fotografía(s) de la cara

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se ubica en los campos de la identificación forense y de la inteligencia artificial, en los ámbitos del aprendizaje automático, la visión artificial y los sistemas de ayuda a la toma de decisiones.

Más en particular, la invención se enmarca dentro de las técnicas de identificación forense basadas en el esqueleto, y más concretamente en el cráneo. La invención se aplica en la identificación de seres humanos fallecidos cuando se dispone de una o más fotografías ante-mortem (AM) de la cara y un modelo tridimensional del cráneo, como los obtenidos mediante escaneo 3D, tomografía axial computarizada, resonancia magnética u otros medios.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

La identificación de los fallecidos es de gran importancia en nuestra sociedad, tanto por su utilidad en resolver graves problemas legales y sociales, como por su ayuda a las familias afligidas por una pérdida o desaparición. Durante las dos últimas décadas, técnicas como el ADN o las huellas dactilares han sido utilizadas en numerosos escenarios de identificación. Lamentablemente, la aplicación de estos métodos puede fallar por el estado de conservación del cadáver o la falta de una segunda muestra de ADN con la que comparar. A diferencia de los tejidos blandos, el esqueleto generalmente sobrevive a los procesos de descomposición naturales y otros factores como incendios, exposición a sustancias químicas, etc. Por lo tanto, las técnicas de identificación forense basadas en el esqueleto representan la última oportunidad para la identificación de la víctima.

30

La superposición craneofacial (SCF) consiste en la superposición de la imagen de un cráneo con fotografías AM de la cara de un individuo, seguida por el análisis de su correspondencia morfológica, con el fin de determinar si el cráneo pertenece al sujeto de las fotografías [YOSHINO M. Craniofacial superimposition. Craniofacial Identification 2012; 238-253]. Para cada fotografía de la cara, se necesita llevar a cabo un solapamiento cráneo-cara (SCC), es decir, obtener una imagen del cráneo con la misma pose y tamaño de la cara en la fotografía.

Los enfoques para obtener dicha imagen son cuatro [HUETE MI, IBÁÑEZ O, WILKINSON C, et al. Past, present, and future of craniofacial superimposition: Literature and international surveys. Leg Med (Tokyo) 2015; 17: 267-278]:

- 5 ● El primer enfoque se basa en adquirir una fotografía del cráneo físico, colocando el cráneo en un soporte y ajustando su posición, orientación y distancia a la cámara. Esto implica un largo y tedioso proceso de prueba y error hasta conseguir reproducir cuanto más fielmente la pose de la fotografía de la cara. Es importante remarcar que esta valoración es subjetiva y propensa a errores.
- 10 ● En el segundo enfoque, en lugar de una cámara de fotos, se emplea una cámara de video conectada a una pantalla. Esto permite ahorrar el proceso de revelado de las fotografías analógicas.
- 15 ● En el tercer enfoque, el cráneo físico es reemplazado por un modelo 3D obtenido mediante escaneo 3D. Utilizando un programa de ordenador, se coloca el modelo 3D en una escena virtual, ajustando su posición, orientación y tamaño hasta alcanzar la pose de la fotografía de la cara. Si bien este enfoque es más rápido con respecto al anterior, la tarea de colocación del cráneo sigue siendo tediosa y la valoración de haber obtenido el mejor solapamiento posible no pierde su carácter subjetivo.
- 20 ● El cuarto enfoque también utiliza un modelo 3D del cráneo. La tarea de SCC es reducida a un problema de visión artificial y solucionada por medio de un programa de ordenador. En este contexto, se denomina calibración de cámara al problema de estimar posición, orientación y objetivo de la cámara a partir de una fotografía de un objeto conocido. Para solucionar dicho problema se utilizan una serie de puntos de referencia, localizados tanto en el objeto 3D como en la fotografía. En el caso del SCC, se usan una serie de puntos anatómicos situados en el cráneo (puntos craneométricos) y en la cara (puntos cefalométricos). Puntos craneométricos y cefalométricos correspondientes se sitúan en posiciones próximas, siendo separados solo por una capa de tejido blando facial. De esto sigue que, cuando la cara y el cráneo están solapados, cada pareja de puntos anatómicos correspondientes tiene que solaparse exactamente. Este enfoque evita el proceso manual de ensayo y error para la colocación de cráneo, pero requiere la localización de un conjunto de puntos anatómicos tanto en la fotografía de la cara como en el modelo 3D del cráneo, y también la estimación del grosor del tejido blando facial para cada punto anatómico.
- 25
- 30
- 35

Dicha estimación se puede realizar utilizando valores medios recogidos en estudios poblacionales. La localización de puntos anatómicos es a su vez una tarea tediosa y subjetiva, aunque en una medida inferior al realizar un SCC por medio de uno de los enfoques anteriores.

5

Por todos estos motivos, la identificación forense mediante SCF no se considera una técnica de identificación primaria sino una técnica secundaria. Esta clasificación diferencia las técnicas consideradas más fiables, primarias (análisis de huellas dactilares, dientes o ADN), que permiten establecer una identificación positiva, de las técnicas secundarias, que contribuyen a una identificación al limitar las posibles coincidencias con el individuo. Por otro lado, ninguno de los enfoques existentes para las SCF se realiza de manera totalmente automática, lo que limita su aplicación en escenarios de múltiples comparaciones.

RESUMEN DE LA INVENCIÓN

15

La presente invención resuelve el problema técnico de comparar modelos 3D de uno o más cráneos previamente existentes con fotografías faciales de una o más personas de manera totalmente automática, objetiva y precisa. Se dispone para ello de (i) de modelos tridimensionales de dichos cráneos y (ii) de una o más fotografías faciales indubitadas de cada uno de los posibles candidatos. El procedimiento de identificación de la presente invención está basado en la superposición craneofacial implementada en un procesador y no necesita de intervención humana. Este proceso, además de automático, es mucho más rápido, y por lo tanto permite la identificación incluso en escenarios con un gran número de víctimas (comparaciones múltiples). Asimismo, el proceso proporciona un grado de soporte a la identificación objetivo, reproducible y preciso, permitiendo por primera vez la aplicación de la SCF como técnica de identificación primaria.

La invención permite tanto la comparación de un cráneo contra un gran número de fotografías, como la comparación de distintos cráneos contra una sola fotografía, e incluso la comparación de múltiples cráneos con múltiples fotografías.

El término “sujeto” se refiere en la presente invención a seres humanos. El término “fotografía facial” comprende fotografías de una persona en las que se aprecia la cara. El término “cráneo dubitado” se refiere, con carácter general, al cráneo de un sujeto de identidad desconocida. El término “fotografía indubitada” se refiere, con carácter general, a una fotografía de un sujeto de identidad conocida. El término “modelo 3D” se refiere a un modelo tridimensional digital

obtenido mediante un escaneo 3D basado en mediciones láser, fotogrametría, luz estructurada, tomografía axial computarizada, resonancia magnética u otros medios.

El procedimiento de la invención comprende los siguientes pasos, todos realizados mediante

5 un ordenador:

1. Detección de puntos craneométricos en los modelos 3D craneales
2. Estimación del grosor y la dirección del tejido blando facial
3. Detección de puntos cefalométricos en las fotografías faciales
- 10 4. Estimación de la distancia cámara-sujeto (opcional)
5. Filtrado basado en consistencias morfométricas entre cráneo y cara (opcional)
6. Solapamiento cráneo-cara en múltiples fotografías
7. Toma de decisiones

15 El procedimiento de identificación empieza con la detección de puntos craneométricos en el modelo 3D del cráneo y la estimación del grosor y dirección tejido blando facial. Seguidamente se realiza una detección de puntos cefalométricos y opcionalmente una estimación de la distancia cámara-sujeto en cada una de las fotografías disponibles. Opcionalmente, a continuación se filtran resultados en función de la consistencia morfométrica entre cráneo y

20 cara. Así, ciertas fotografías serán valoradas como no compatibles con el cráneo, y por lo tanto los sujetos relativos a dichas fotografías serán descartados. A continuación, para cada uno de los sujetos se solapa el cráneo a la cara en el conjunto de todas las fotografías de dicho sujeto, es decir, el procedimiento lleva a cabo un SCC para cada fotografía. Finalmente, se lleva a cabo un último paso de toma de decisiones automático, en el que a cada pareja de

25 cráneo-sujeto comparados se le asigna una puntuación del grado de pertenencia y en base a esta una decisión positiva o negativa sobre si son o no la misma persona.

En los pasos 1, 2 y 3 se obtienen de forma automática, objetiva y precisa la información necesaria para el resto del proceso de SCF. Por lo tanto, dichos pasos permiten que el

30 proceso completo sea automático, prescindiendo de la disponibilidad de un experto forense, ahorrando tiempo y obteniendo resultados objetivos y precisos. El paso 4 (opcional) añade precisión a los SCC al reducir el intervalo de búsqueda para el parámetro de la distancia cámara-sujeto, una aportación secundaria para que la técnica gane en precisión. El paso 5 (opcional) aporta rapidez a la invención, debido a que permite ahorrar el tiempo de llevar a cabo los SCC de los casos descartados. Finalmente, los pasos 6 y 7 terminan el proceso de

SCF de forma automática, precisa y objetiva. Estas últimas dos características son aportaciones clave para que la técnica pueda considerarse primaria

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

5

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma unas figuras, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo.

- 10 La figura 1 muestra el proceso llevado a cabo por la invención, destacando los siete pasos que lo componen. El proceso empieza con la detección de puntos craneométricos en los modelos 3D de cráneos (paso 1) y sigue con la estimación del tejido blando facial (paso 2). A continuación, se lleva a cabo la detección de puntos cefalométricos en cada fotografía (paso 3) y la estimación de la distancia cámara-sujeto (paso 4). El proceso sigue con el
15 emparejamiento de cada cráneo con cada conjunto de fotografías del mismo sujeto. A continuación, se realiza el filtrado de casos basado en correspondencias morfométricas (paso 5), seguido por el solapamiento cráneo-cara (paso 6). El proceso termina con el paso de toma de decisiones (paso 7).
- 20 La figura 2 muestra los parámetros utilizados en el modelado de la incertidumbre sobre el tejido blando facial.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

25 **1. Detección de puntos craneométricos en el modelo 3D craneal**

Este proceso consta de dos fases. En la primera fase se emplea una plantilla (un modelo 3D generado a partir de múltiples modelos 3D de cráneos) donde se han localizado los puntos craneométricos. Tanto el proceso de obtención de la plantilla como el de la localización de
30 puntos craneométricos en la misma se ha realizado como paso previo al desarrollo de la invención y no es necesario volver a hacerlo. Mediante un algoritmo, dicha plantilla se adapta en dimensiones y se alinea con el cráneo escaneado, de forma que los dos queden superpuestos. A continuación, otro algoritmo transfiere los puntos craneométricos de la plantilla al cráneo; concretamente, cada punto craneométrico se localiza en el punto más
35 cercano del cráneo, proporcionando así su localización inicial. En la segunda fase, otro algoritmo se encarga de refinar la localización de cada punto craneométrico según un criterio

específico para cada tipo de puntos craneométrico. Dichos criterios se pueden agrupar en cuatro familias:

- 5 a. Simetría. Un algoritmo calcula el plano medio-sagital del cráneo; la posición inicial de un punto craneométrico se reemplaza con la del punto más cercano en el plano medio-sagital.
- 10 b. Contornos. Un algoritmo detecta los contornos de las fosas nasales y oculares; la posición inicial de un punto craneométrico se reemplaza con la del punto más cercano dentro de los contornos.
- 15 c. Puntos extremos. Un algoritmo reemplaza la posición inicial de un punto craneométrico con la del punto más superior/inferior, anterior/posterior o lateral en la cercanía del punto inicial.
- 20 d. Suturas. Un algoritmo detecta las suturas del cráneo; la posición inicial de un punto craneométrico se reemplaza con la del punto más cercano dentro de la sutura.
- 25 e. Cálculos geométricos. Los puntos craneométricos cuya posición se obtiene a partir de un cálculo sobre la posición de otros puntos craneométricos (p. ej. el punto medio entre dos puntos craneométricos) se colocan en el punto más cercano del cráneo a partir de la posición calculada.

20 2. Estimación del grosor y dirección del tejido blando facial

El tejido blando facial es un elemento clave para SCF. Dado un cráneo y la localización de los puntos craneométricos, el procedimiento estima la posición 3D de los puntos cefalométricos correspondientes. Para hacerlo, se usa un algoritmo capaz de estimar por un lado el grosor 25 del tejido blando facial entre cada par de puntos anatómicos correspondientes, y por el otro la dirección del vector que une el punto craneométrico y cefalométrico. Para desarrollar dicho algoritmo se ha utilizado un modelo de Aprendizaje Automático (AA) que se ha entrenado sobre una base de datos, de creación propia, de modelos 3D craneales y faciales de los mismos sujetos. En dichos modelos 3D se han localizado tanto los puntos cefalométricos 30 como los craneométricos y a continuación se ha calculado longitud y dirección de los vectores entre puntos anatómicos correspondientes. Finalmente, el conjunto de datos incluye información sobre los sujetos, en concreto edad, ascendencia, sexo e índice de masa corporal. Para el modelo de AA se pueden utilizar modelos de regresión como regresión lineal por mínimos cuadrados ordinarios, máquinas de vectores de soporte, random forest o redes 35 neuronales artificiales. En la realización preferente de la invención se utiliza una red neuronal artificial.

3. Detección de puntoscefalométricos en las fotografías faciales

El sistema de detección de puntos anatómicos se encarga de localizar los puntos 5 cefalométricos visibles en una fotografía facial. El sistema es el resultado de un proceso de

aprendizaje automático. Para ello se crea un conjunto de datos compuesto de fotografías 10 faciales donde se ha anotado de forma manual la posición de los puntos cefalométricos. Estos datos se utilizan para entrenar una red neuronal profunda, empleando la arquitectura y los pesos iniciales de una red existente. Destacar que el sistema puede clasificar como “no visibles” los puntos anatómicos que no resultan visibles en la fotografía debido a la pose del sujeto.

El proceso de entrenamiento modifica la red inicial y adapta su funcionamiento a la detección 15 de un conjunto específico de puntos cefalométricos. Distinguimos dos etapas de

entrenamiento. En la primera se utilizan fotografías faciales simuladas a partir de modelos 3D de cara, mientras que en la segunda se emplean un conjunto de fotografías reales.

Como red neuronal se pueden utilizar redes neuronales. En la realización preferente de la invención se utiliza una red neuronal convolucional.

20 4. Estimación de la distancia cámara-sujeto

La estimación de la distancia entre el sujeto de una fotografía y la cámara que la ha tomado se lleva a cabo mediante un modelo de AA. Para entrenar dicho modelo de AA se ha utilizado 25 una base de datos, de creación propia, de fotografías con diferentes sujetos, de diferentes etnias, edades y sexos, a diferentes distancias, con distintas focales y en distintas poses. El

entrenamiento se llevó a cabo en dos fases. En la primera, se utilizó un conjunto de fotografías 30 faciales simuladas a partir de modelos faciales 3D, mientras que en la segunda se emplearon las fotografías reales. Como modelo de AA se pueden emplear redes neuronales artificiales. En la realización preferente de la invención se utiliza una red neuronal convolucional de regresión.

5. Filtrado basado en consistencia morfométricas entre cráneo y cara

El objetivo del sistema de filtrado es poder excluir candidatos sin tener que llevar a cabo un 35 SCC, con el consiguiente ahorro en tiempo de cálculo. En concreto, el sistema de filtrado tarda milésimas de segundo, mientras que una superposición necesita segundos.

El sistema de filtrado desarrollado es un modelo de AA que aprende dos relaciones de forma separada: 1) la relación entre índices 3D de un cráneo e índices 3D de la cara correspondiente; 2) la relación entre índices faciales 3D e índices faciales 2D. Finalmente, el método integra las dos relaciones, permitiendo la comparación de índices faciales 2D con índices craneales 3D, proporcionando un método de exclusión que permite descartar que el sujeto de un determinado cráneo sea la persona que aparece en una fotografía. Para el modelo de AA se pueden utilizar modelos de regresión como regresión lineal por mínimos cuadrados ordinarios, máquinas de vectores de soporte, random forest o redes neuronales artificiales. En la realización preferente de la invención se utiliza una red neuronal artificial.

10

5.1 Estimación de índices faciales 3D a partir de índices faciales 2D

Este método de estimación también se obtiene como resultado del diseño, desarrollo y entrenamiento de un modelo de AA. Para ello se utilizan modelos 3D faciales de distintos sujetos donde se han localizado los puntos cefalométricos. Sobre esos modelos se miden los índices faciales 3D. A continuación, para cada modelo facial se simulan fotos en diferentes poses. Sobre cada fotografía simulada se localizan los puntos cefalométricos, se miden los índices faciales 2D y se registra la focal de la cámara, la distancia cámara-sujeto y la pose de la cara. Esto proporciona el conjunto de datos para la tarea de estimación. A continuación, se utiliza un algoritmo de regresión para obtener un método de estimación de los índices faciales 3D a partir de los índices faciales 2D y la información sobre la fotografía. La estimación se lleva a cabo en forma de intervalo de predicción.

25

Este método de estimación también se obtiene como resultado del diseño, desarrollo y entrenamiento de un modelo de AA. Para ello se utiliza el conjunto de datos del paso 2, que incluye modelos 3D faciales y craneales de distintos sujetos, y se miden los correspondientes índices faciales y craneales 3D. Esto proporciona el conjunto de datos para la tarea de estimación. A continuación, se utiliza un algoritmo de regresión para obtener un método de estimación de los índices craneales 3D a partir de los índices faciales 3D. La estimación se lleva a cabo en forma de intervalo de predicción, en lugar de estimación puntual.

35

5.3 Estimación de índices craneales 3D a partir de índices faciales 2D

El algoritmo integra los dos modelos de AA anteriores. A partir de índices faciales 2D se estiman los índices faciales 3D, obteniendo una serie de intervalos delimitados por sus valores máximos y mínimos. A continuación, para cada índice se consideran los dos valores extremos y se aplica el método de estimación de índices craneales 3D, lo cual proporciona dos intervalos para cada índice facial. Finalmente, se unen los intervalos correspondientes a cada índice, de manera que al final del proceso tenemos una estimación (en forma de intervalo individual) de cada uno de los índices craneales 3D.

10

5.4 Algoritmo de descarte o filtrado

El algoritmo de filtrado tiene el objetivo de descartar a los sujetos cuyo cráneo no es compatible con la fotografía. Con ese fin, el algoritmo calcula los índices craneales del cráneo candidato y compara los intervalos estimados con los índices faciales 2D relativos a la fotografía encontrada. Si uno o más índices del cráneo caen fuera de los intervalos predichos con la estimación, el sujeto de la fotografía queda descartado.

6. Solapamiento cráneo-cara en múltiples fotografías

20

El sistema para el SCC sigue el cuarto enfoque mencionado en la introducción, es decir, reduciendo el problema al solapamiento de puntos craneométricos y faciales, y resolviendo este último como un problema de calibración de una cámara. A continuación, se divide la descripción del algoritmo utilizado en tres etapas que se llevan a cabo de forma consecutiva.

25

6.1 Modelado de la localización de los puntos cefalométricos teniendo en cuenta la incertidumbre sobre el tejido blando facial

En este paso se modelan las posibles posiciones de los puntos de cefalométricos 3D basándose en la posición de los puntos craneométricos 3D. En primer lugar se utiliza el algoritmo de estimación del grosor y dirección del tejido blando facial para obtener el grosor del tejido blando y la correspondiente dirección entre cada par de puntos anatómicos correspondientes. A continuación, el sistema define una región con forma aproximada de un cono truncado, cuyo ápice coincide con el punto craneométrico y cuyo eje D corresponde a la dirección estimada (figura 2). El ángulo del ápice del cono es A, el cono tiene altura L2 y la altura de la truncadura es L1. De forma equivalente, la región incluye a los puntos X con la

característica que el vector LM-X tiene longitud comprendida entre L1 y L2 y el ángulo entre LM-X y D es inferior a A/2.

Los valores de L1, L2 y A son específicos de cada tipo de punto anatómico y se establecen a

partir de los mismos datos utilizados para entrenar el modelo de AA que estima el grosor y la

5 dirección del tejido blando.

6.2 Calibración de la cámara basada en puntos de referencia

Para resolver el problema de calibración de la cámara basada en puntos de referencia, la

10 invención utiliza un algoritmo de optimización iterativo, que incluye el modelado de la

incertidumbre sobre el tejido blando y la localización de los puntos anatómicos, así como el

uso de información a priori sobre la fotografía (focal y estimación de la distancia cámara

sujeto). Estos tres elementos novedosos permiten mejorar tanto la precisión como la velocidad

del sistema. Dicho algoritmo es capaz de estimar la posición y orientación de la cámara junto

15 a su distancia focal, recibiendo como entrada un conjunto de puntos anatómicos localizados

tanto en el modelo 3D del cráneo como en la fotografía de la cara.

6.3 SCC sobre múltiples fotografías del mismo sujeto de manera simultánea

20 El sistema para el SCC realiza un proceso de optimización iterativo. En cada iteración, el

sistema lleva a cabo varias operaciones. Primero, se estima el tejido blando, eligiendo de

forma aleatoria un punto 3D dentro de la región estimada para cada punto craneométrico.

Segundo, se utiliza un algoritmo de calibración de la cámara que coge como entrada los

puntoscefalométricos 2D de cada fotografía y los puntoscefalométricos 3D resultado de la

25 estimación del tejido blando. El algoritmo devuelve, para cada fotografía, la posición,

orientación y distancia focal de la cámara. Tercero, utilizando la información de salida del

algoritmo de calibración, para cada fotografía se calcula la posición de los puntos

cefalométricos 3D estimados una vez proyectados en la fotografía. A continuación, para cada

30 fotografía se calcula el *error de superposición*, definido como la suma de las distancias

euclidianas entre los puntoscefalométricos 2D de la fotografía y los puntoscefalométricos 3D

estimados y proyectados en la fotografía. Una vez calculado el error de superposición para

cada fotografía, se calcula el valor promedio. Cuarto, el proceso termina si el error de

superposición promedio alcanzado es inferior a un umbral predeterminado, o alternativamente

se pasa a una nueva iteración. A cada iteración, el proceso de optimización favorece el

35 muestreo de puntos que producen un SCC cuyo error de superposición es más bajo. De esta

manera, iteración tras iteración el proceso consigue alcanzar superposiciones con menor error

de superposición, lo cual conlleva que los puntos cefalométricos 3D estimados van acercándose y finalmente solapándose con los puntos cefalométricos 2D de cada fotografía.

7. Toma de decisiones

5

El algoritmo de toma de decisiones calcula, para cada candidato, un grado de soporte a la identificación y una decisión de identificación, basado en múltiples fuentes de información:

- 10 a. la calidad de las fotografías disponibles, valorada en el paso 2
 - b. la consistencia morfométrica entre cráneo y cara, usando la información proporcionada por el paso 5
 - c. el error de superposición promedio sobre las fotografías del sujeto, proporcionado por el paso 6
 - d. la verosimilitud de la distancia entre pares de puntos anatómicos en cada una de los
- 15 SCC con respecto al estudio de tejido blando de la población de referencia

A continuación se detalla el cálculo de todas estas cantidades y su integración final en un único valor para cada sujeto.

20 7.1 Calidad de las fotografías

La calidad de cada fotografía CF se valora mediante (1) el número NL de puntos cefalométricos detectados como visibles por el paso 2 y (2) el área de la fotografía AF ocupada por puntos cefalométricos, concretamente el área del rectángulo más pequeño entre aquellos 25 que incluyen en su interior a todos los puntos cefalométricos detectados. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$CF = (NL + AF/1'000'000) / 100$$

30 7.2 Consistencia morfométrica entre cráneo y cara

Esta cantidad se calcula para cada fotografía estimando los índices faciales 2D a partir del cráneo y comparando los intervalos obtenidos con los índices faciales 2D relativos a la fotografía. Si para un índice el intervalo estimado es [A,B] y el valor asociado a la fotografía 35 es C, se valora la consistencia morfométrica con la cantidad:

- 0 si $C < A$ o $C > B$
- $2(C-A) / (B-A)$ si $C < (A+B)/2$
- $2(B-C) / (B-A)$

5

A continuación, los valores asociados a cada índice se multiplican entre ellos, dando origen al valor asociado a una fotografía. Finalmente, el valor asociado a un sujeto es el producto de los valores de sus fotografías.

10 **7.3 Error de superposición**

El error de superposición asociado a un sujeto es el error de superposición promedio sobre las fotografías de dicho sujeto tras el SCC automático.

15 **7.4 Verosimilitud del tejido blando**

Esta cantidad mide la verosimilitud del grosor del tejido blando facial asociado a cada par de puntos anatómicos. Para ello se emplea información derivada de un estudio poblacional propio, donde se modela la distribución estadística del grosor del tejido blando. El punto de partida es el conjunto de vectores estimados durante solapamiento cráneo-cara. Para cada vector se calcula su longitud y se compara con la distribución del grosor, calculando la probabilidad de dicha longitud dentro de la distribución. Finalmente, el valor de verosimilitud es el producto de dichas probabilidades.

25 **7.5 Grado de soporte a la identificación**

El grado de soporte a la identificación (GS) se calcula agregando la información de la calidad la fotografía (CF), consistencia morfométrica (CM), error de superposición (ES) y verosimilitud del tejido blando (VT), según la siguiente fórmula:

30

$$GS = CF * CM * VT / ES$$

El grado de soporte a la identificación es utilizado en escenarios de comparaciones múltiples, siendo el individuo con mayor grado de soporte el candidato propuesto por el sistema. Asimismo, el sistema devuelve un ranking de los candidatos, es decir una lista ordenada de los candidatos cuyo orden sigue el grado de soporte.

Las ventajas de la presente invención frente al estado de la técnica son fundamentalmente:

- posibilita llevar a cabo una identificación sin depender de la disponibilidad de un experto forense con experiencia específica en la aplicación de la técnica de superposición;
- proporciona una información precisa, objetiva, reproducible y de fácil explicación, evitando la valoración subjetiva de un experto;
- permite un ahorro de tiempo de horas a segundos;
- hace posible aplicar la técnica de superposición a escenario con un gran número de 5 víctimas, donde se necesita un número aún más grande de SCF, lo cual es completamente inviable con las técnicas no automáticas debido a su largo tiempo de ejecución.
- 10

7.6 Decisión de la identificación

15 En su paso final la invención toma la decisión de identificación utilizando el grado de soporte a la identificación. Concretamente, se establece una identificación positiva cuando se sobrepasa un valor de razón de verosimilitud de 10 considerando una cohorte de referencia.

20 A la vista de esta descripción y figuras, el experto en la materia podrá entender que la invención ha sido descrita según la realización preferente de la misma, pero que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dicha realización preferente sin exceder el objeto de la invención tal y como ha sido reivindicada.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de identificación de múltiples cráneos con distintos sujetos, cuando se dispone (i) de un modelo tridimensional de cada cráneo y (ii) de una o más fotografías faciales indubitadas de cada uno de los sujetos candidatos, caracterizado por los siguientes pasos:
 - detección de puntos craneométricos en los modelos tridimensionales de cada cráneo mediante:
 - o aplicación de una plantilla donde se han localizado los puntos craneométricos;
 - o adaptación en dimensiones de dicha plantilla al modelo tridimensional del cráneo;
 - o alineación de la plantilla con dicho modelo de forma que los dos queden superpuestos,
 - o transferencia de los puntos craneométricos al modelo tridimensional del cráneo;
 - o refinamiento de la posición de los puntos craneométricos según criterios específicos para cada punto utilizando información sobre ejes de simetría, contornos de fosas nasales y oculares, puntos extremos de los ejes anatómicos, posición de suturas;
 - estimación automática de grosor y dirección del tejido blando facial, mediante:
 - o estimación al mismo tiempo del grosor en mm y del vector direccional;
 - o uso de un modelo de aprendizaje automático previamente entrenado con datos reales de tejido blando, ascendencia, edad, género del sujeto e índice de masa corporal;
 - detección de puntos cefalométricos en las fotografías faciales, mediante
 - o uso de un modelo de aprendizaje automático previamente entrenado con miles de fotografías y sus respectivos puntos cefalométricos
 - solapamiento automático cráneo-cara con una o múltiples fotografías al mismo tiempo, mediante:
 - o uso de información a priori: focal, pose y estimación de la distancia cámara-sujeto;
 - o modelado del error de marcado de puntos cefalométricos y de la incertidumbre del grosor y la dirección del tejido blando;
 - o estimación del tejido blando compartida entre fotografías en los casos en los que se dispone de varias fotografías del mismo sujeto;
 - paso automático de toma de decisiones, que agrega información de:

- la calidad de las fotografías disponibles
- la consistencia morfométrica entre cráneo y cara
- el error de superposición promedio sobre las fotografías del sujeto
- la verosimilitud del tejido blando con respecto a la población humana.

5

2. Procedimiento de identificación de múltiples cráneos con distintos sujetos según la reivindicación 1, que comprende, antes del paso de solapamiento automático cráneo-cara, un paso automático de estimación de la distancia cámara-sujeto de la fotografía facial, caracterizado por qué:

- 10 ● se utilizan fotografías en las que la cara muestra cualquier pose, obtenidas con cualquier distancia focal;
- uso de un modelo de aprendizaje automático previamente entrenado con miles de fotografías cuya distancia cámara-sujeto es conocida

15 3. Procedimiento de identificación de múltiples cráneos con distintos sujetos según las reivindicaciones 1 o 2, que comprende, antes del paso de solapamiento automático cráneo-cara, un paso automático de descarte de candidatos cuyo cráneo no es compatible con la fotografía, que comprende los pasos de:

- 20 ● estimación de índices craneales 3D a partir de índices faciales 2D;
- uso de un modelo de aprendizaje automático previamente entrenado con miles de fotografías y modelos 3D de cráneos.

25

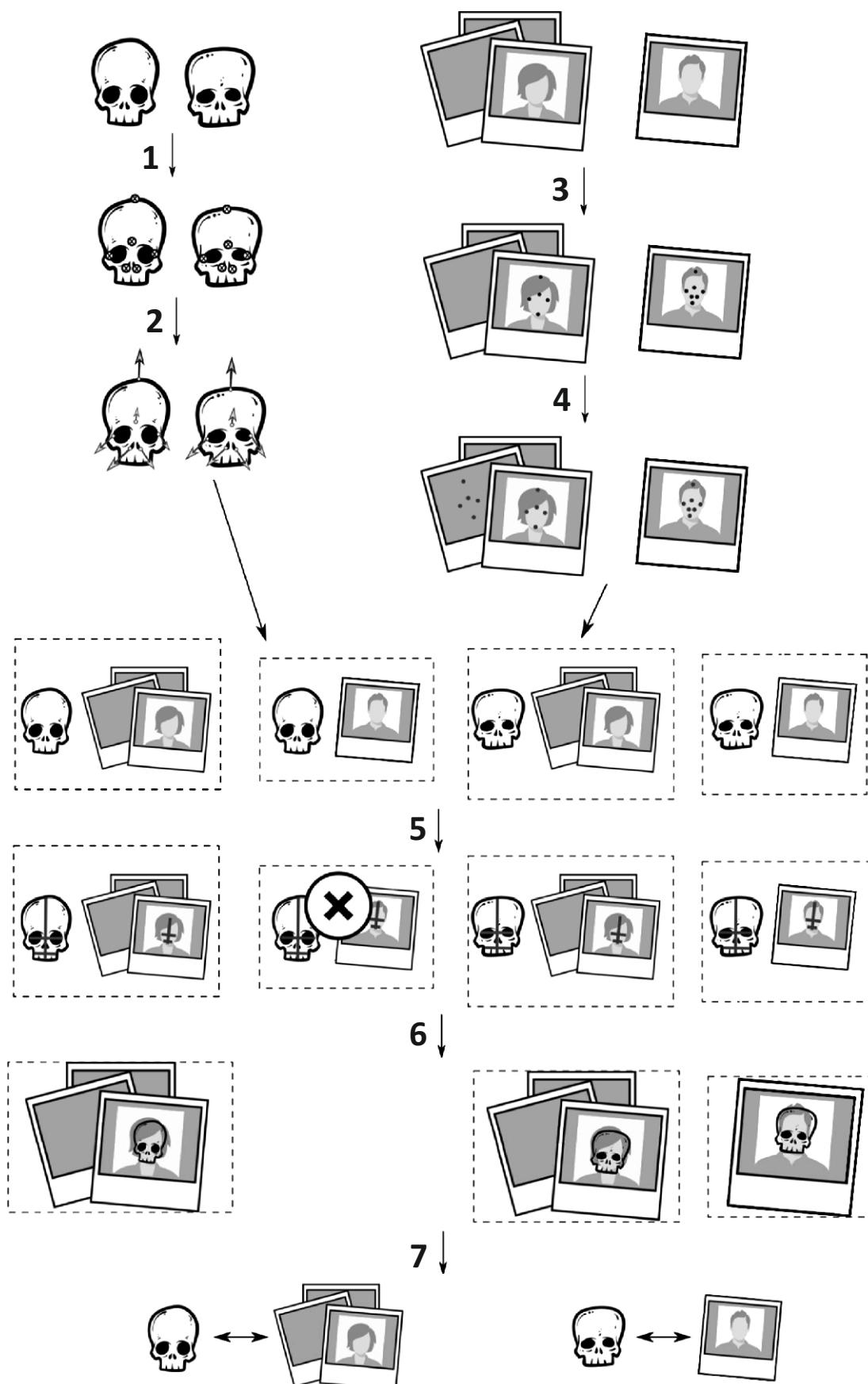


FIG. 1

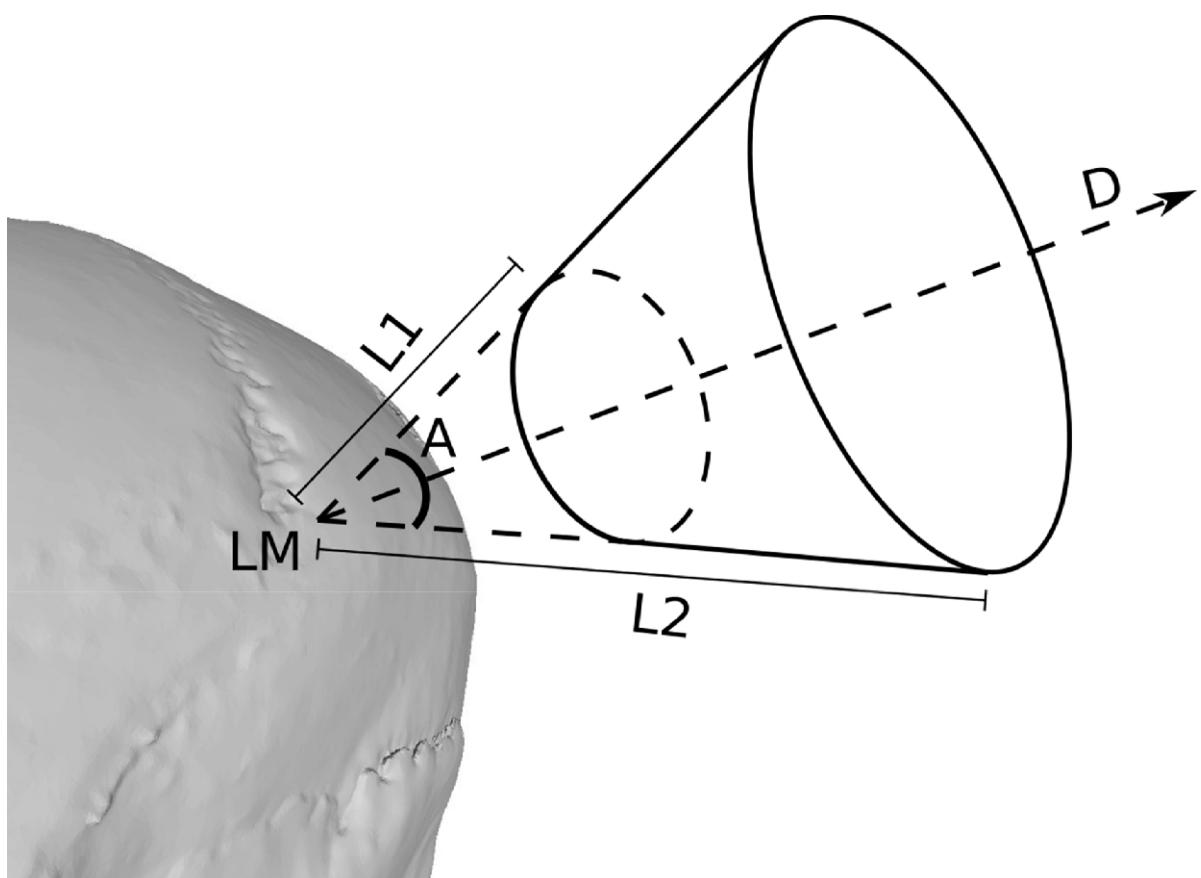


FIG. 2



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 202130618

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 02.07.2021

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) Int. Cl.: **G06T7/30** (2017.01)
G06T19/20 (2011.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	CAMPOMANES-ALVAREZ B ROSARIO et al. Modeling Facial Soft Tissue Thickness for Automatic Skull-Face Overlay. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 20151001 IEEE, USA., 01/10/2015, Vol. 10, Nº 10, Páginas 2057 - 2070, ISSN 1556-6013, <DOI: doi:10.1109/TIFS.2015.2441000>. Abstract. Secciones II y III		1-3
Y	GOOS M I M et al. 2D/3D image (facial) comparison using camera matching. FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL, 20061110 Elsevier B.V, AMSTERDAM, NL. 10/11/2006, Vol. 163, Nº 1-2, Páginas 10 - 17, ISSN 0379-0738. Abstract		1-3
A	EP 2461271 A2 (FUNDACION PARA PROGRESO DEL SOFT COMPUTING et al.) 06/06/2012, Todo el documento.		1-3
A	QIAN JIAHONG et al. CephaNet: An Improved Faster R-CNN for Cephalometric Landmark Detection. 2019 IEEE 16th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2019), 20190408 IEEE. 08/04/2019, Páginas 868 - 871, <DOI: doi:10.1109/ISBI.2019.8759437>. Todo el documento.		1-3

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 25.04.2022	Examinador M. Muñoz Sanchez	Página 1/3
--	--------------------------------	---------------



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 202130618

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 02.07.2021

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) Int. Cl.: **G06T7/30** (2017.01)
G06T19/20 (2011.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	VALSECCHI ANDREA et al. A Robust and Efficient Method for Skull-Face Overlay in Computerized Craniofacial Superimposition. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 20180801 IEEE, USA., 01/08/2018, Vol. 13, Nº 8, Páginas 1960 - 1974, ISSN 1556-6013, <DOI: doi:10.1109/TIFS.2018.2806939>. Todo el documento		1-3
A	OSCAR IBEZ et al. An advanced scatter search design for skull-face overlay in craniofacial superimposition. Expert Systems With Applications ELSEVIER, AMSTERDAM, NL. Yigitcanlar Tan, 30/11/0002, Vol. 39, Nº 1, Páginas 1459 - 1473, ISSN 0957-4174, <DOI: doi: 10.1016/j.eswa.2011.08.034>. Todo el documento		1-3
A	WO 2020206135 A1 (THE METHODIST HOSPITAL SYSTEM et al.) 08/10/2020, Todo el documento		1-3
A	CN 109146845 A (UNIV CENTRAL SOUTH) 04/01/2019, Todo el documento		1-3
A	WO 2015131091 A1 (UNIV NEVADA) 03/09/2015, Todo el documento.		1-3

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 25.04.2022	Examinador M. Muñoz Sanchez	Página 2/3
--	--------------------------------	---------------

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G06T

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, MEDLINE, BIOSIS, XPIEE, XPI3E, NPL