



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 353 099**

21 Número de solicitud: 200901732

51 Int. Cl.:
G06K 9/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación: **30.07.2009**

43 Fecha de publicación de la solicitud: **25.02.2011**

Fecha de la concesión: **21.12.2011**

45 Fecha de anuncio de la concesión: **02.01.2012**

45 Fecha de publicación del folleto de la patente:
02.01.2012

73 Titular/es:
**FUNDACION PARA PROGRESO SOFT
COMPUTING
GONZALO GUTIERREZ QUIROS, S/N
33600 MIERES, ASTURIAS, ES y
UNIVERSIDAD DE GRANADA**

72 Inventor/es:
**IBAÑEZ PANIZO, OSCAR;
DAMAS ARROYO, SERGIO;
CORDON GARCIA, OSCAR;
BOTELLA LOPEZ, MIGUEL CECILIO;
ALEMAN AGUILERA, INMACULADA y
SANTAMARIA LOPEZ, JOSE**

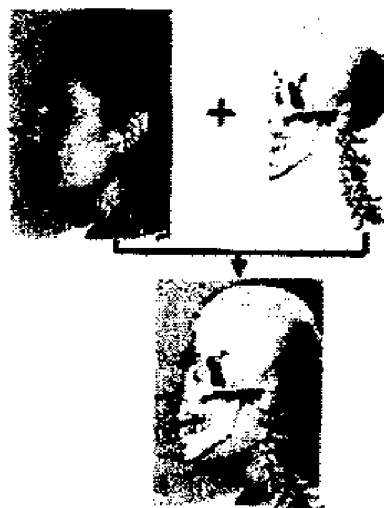
74 Agente: **Arias Sanz, Juan**

54 Título: **MÉTODO Y SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN FORENSE POR SUPERPOSICIÓN
CRANEOFACIAL BASADO EN SOFT COMPUTING.**

57 Resumen:

Sistema de identificación forense por superposición craneofacial basado en soft computing.

La presente invención viene dada por un método y un sistema automático que dan soporte al antropólogo forense en la tarea de identificación por superposición craneofacial. En primer lugar, el sistema construye de manera automática un modelo tridimensional a partir de un dispositivo que proporciona vistas parciales del cráneo. Posteriormente, se superpone dicho modelo sobre una fotografía de la persona desaparecida, modelando la incertidumbre inherente al emparejamiento de dos objetos distintos: un cráneo y una cara. Finalmente, el sistema emite una recomendación del resultado del proceso de identificación al antropólogo forense.



ES 2 353 099 B1

DESCRIPCIÓN

Sistema de identificación forense por superposición craneofacial basado en soft computing.

5 **Sector de la técnica**

La presente patente de invención se refiere a la resolución del problema de superposición craneofacial para la identificación forense. En términos generales tiene aplicación directa en el estudio de personas desaparecidas, grandes desastres de masas y catástrofes naturales. Como tal, puede ser de interés para los cuerpos y fuerzas de seguridad del estado (concretamente, la policía judicial y científica de la Policía Nacional y Guardia Civil, respectivamente) y los institutos de medicina legal y forense. Asimismo, tiene aplicación directa en dispositivos de adquisición y reconstrucción de modelos de objetos tridimensionales como los escáneres láser de rangos.

15 **Estado de la técnica**

Una de las tareas más importantes de la Antropología Forense es la identificación de seres humanos a partir de sus restos óseos. Este trabajo requiere la comparación de datos *ante-mortem* (los cuales se obtienen de material visual y de entrevistas con parientes y testigos) y *post-mortem*. Una de las técnicas de identificación forense de mayor éxito es la superposición craneofacial, en la que se comparan fotografías o fotogramas de vídeo de una persona desaparecida con el cráneo encontrado. Proyectando ambas fotografías una sobre otra (o, mejor, emparejando la foto con un modelo tridimensional del cráneo) se puede establecer si pertenecen a la misma persona. Este proceso se realiza de forma manual, empleando habitualmente el ordenador para representar las imágenes de ambos objetos. El procedimiento es iterativo y finaliza cuando el experto forense estima que se ha obtenido la mejor superposición posible desde una perspectiva global. Finalmente, a la vista de las características antropométricas específicas de la superposición obtenida, dicho experto proporciona una decisión del proceso de identificación en uno de los siguientes términos: positiva, negativa, probable positiva, probable negativa, incierta.

La presente invención viene dada por un nuevo método sistema automático que da soporte al antropólogo forense en la tarea de identificación por superposición craneofacial. Nótese que no existe ninguna metodología que proporcione una solución integral para abordar la resolución de dicho problema. Además, la presente invención permite la formulación de hipótesis sobre la posible relación entre el cráneo y la fotografía, considerando para ello la incertidumbre presente en el proceso. La precisión de los resultados proporcionados es tan alta que permite su uso en casos reales de identificación forense.

Es importante distinguir el problema que resuelve la presente invención de una serie de técnicas relacionadas, ya sea en cuanto a los principios que los fundamentan (estudios antropológicos que relacionan cráneo y cara) o en cuanto a la formulación del problema (emparejamiento de imágenes):

- 40 • Por un lado, la reconstrucción facial parte de los mismos principios que la superposición craneofacial pero tiene como objetivo el representar el posible aspecto de la cara de una persona a partir de su cráneo. Para ello se aplican una serie de marcas en los principales puntos craneométricos, que aportan el grosor de los tejidos blandos de la cara, y se modelan el resto de las estructuras faciales sobre ellos. La solicitud de patente americana US0111631 describe un sistema de reconstrucción facial. Uno de los principales problemas de esta técnica es que se ha comprobado que hay muchas variaciones de los diferentes rasgos morfológicos faciales que confieren singularidad a la cara. Por otro lado, también hay diferencias en los tejidos faciales que están en relación con la edad, cambios de peso, estados anímicos, etc. Destaca la utilidad de la reconstrucción facial para recreaciones de homínidos (Atapuerca/antecesor) o de personajes históricos (Galileo Galilei, Tutankamón), que tienen un gran valor desde el punto de vista divulgativo o didáctico. Sin embargo, desde el campo de la Antropología Forense la técnica tiene muchas limitaciones y sólo se utiliza para hacer aproximaciones que sirven para iniciar una investigación pero nunca para realizar una identificación.
- 55 • Por otro lado, existen varias propuestas automáticas de superposición de modelos 3D de la cara sobre fotografías 2D también de la cara [Patentes US0196000 o US7421097], Una revisión del estado del arte puede encontrarse en [K.W. Bowyer, K. Chang y P. Flynn, "A survey of approaches and challenges in 3D and multi-modal 3D + 2D face recognition" *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 101, pp. 1-15, 2006]. Sin embargo, se trata de un problema totalmente diferente, el reconocimiento facial, que conlleva la superposición de un objeto 3D (el modelo 3D de la cara) con una proyección 2D (la fotografía de la cara) del mismo objeto. Nótese que la superposición craneofacial es un problema mucho más complicado donde los dos objetos a emparejar son diferentes (un modelo 3D del cráneo y una fotografía 2D de la cara). En el reconocimiento facial no hay necesidad de abordar la incertidumbre presente en casos reales de superposición craneofacial, donde se tiene que tener en cuenta el grosor de los tejidos que recubren el cráneo. Además, al contrario que en los casos reales de identificación forense, en los problemas de reconocimiento facial, todos los datos relativos a la cámara son conocidos. En los casos de identificación forense, la familia de la persona desaparecida es la que suele proporcionar la/las fotografías sin información adicional y, en algunos casos, modificadas mediante algoritmos de preprocesado (recorte, reescalado, transformaciones en el color y en el contraste, etc.), lo que puede afectar negativamente a los resultados de la superposición.

No existe una metodología general para el proceso de identificación por superposición craneofacial. Esto se debe tanto a la complejidad del procedimiento de proyección (cráneo y cara son dos objetos diferentes cuya correlación no es directa debido a la presencia de carne y piel en el segundo) como a la incertidumbre inherente al proceso de decisión (con varios niveles de confianza dependiendo del grado de conservación de la muestra y de la calidad de las fotos disponibles del proceso analítico realizado por el forense).

Existen algunos métodos de superposición craneofacial que emplean ordenadores para ayudarse en el proceso de superposición y/o para la visualización del cráneo y la cara. Sin embargo, el tamaño y la orientación del cráneo se cambian manualmente para ajustarlo correctamente a la pose de la cabeza en la fotografía. Esto se hace bien moviendo físicamente el cráneo, empleando el ordenador solo para visualizarlo en el monitor, o bien moviendo una imagen digital por la pantalla hasta lograr un emparejamiento bueno (con ayuda de un software comercial). Estos métodos trabajan con imágenes digitales pero, como se ha dicho, no son para nada automáticos, ya que necesitan hacer manualmente las tareas de redimensionado, traslación y rotación mediante prueba y error, algo muy costoso en tiempo y que conlleva un proceso afectado por múltiples errores. Vale la pena comentar que los expertos forenses pueden emplear el orden de 24 horas para cada caso. Los trabajos de Ubelaker *et al.* [D.H. Ubelaker, E. Bubniak, G. O'Donnell, "Computer-assisted photographic superimposition", *Journal of Forensic Sciences* Vol. 37 (3), pp. 750-762, 1992], Yoshino *et al.* [M. Yoshino, H. Matsuda, S. Kubota, K. Imaizumi, S. Miyasaka, S. Seta, "Computer-assisted skull identification system using video superimposition", *Forensic Science International* Vol. 90, pp. 231-244, 1997] y Ricci *et al.* [A. Ricci, G.L. Marella, M.A. Apóstol, "A new experimental approach to computer-aided face/skull identification in forensic anthropology", *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* Vol. 27 (1), pp. 46-49, 2006] son ejemplos típicos de lo que consideramos superposiciones asistidas por ordenador.

Encontramos también un número limitado de métodos automáticos donde las dos primeras etapas del proceso de superposición craneofacial, el modelado tridimensional del cráneo y la proyección cráneo-cara, pueden formularse como un problema de registro de imágenes. En este caso, se trata de aprovechar la capacidad de cómputo del ordenador para hallar la transformación espacial que logre el mejor emparejamiento entre dos imágenes (Figura 1), ya sea para reconstruir el modelo 3D del cráneo o para encontrar automáticamente la superposición óptima entre dicho modelo y la fotografía 2D de la cara mediante algoritmos informáticos. Hasta la fecha, no se han usado métodos automáticos en aplicaciones reales a pesar del alto número de casos examinados [D.H. Ubelaker, "A history of Smithsonian-FBI collaboration in forensic anthropology, especially in regard to facial imagery", *Forensic Science Communications* Vol. 2 (4), 2000]. Sólo existen dos propuestas que realizan una superposición craneofacial de manera automática, basadas en redes neuronales [A. Ghosh, P. Sinha, "An economised craniofacial identification system", *Forensic Science International* Vol. 117 (1-2), pp. 109-119, 2001] y algoritmos genéticos [B.A. Nickerson, P.A. Fitzhorn, S.K. Koch, M. Charney, "A methodology for near-optimal computational superimposition of two-dimensional digital facial photographs and three-dimensional cranial surface meshes", *Journal of Forensic Sciences* Vol. 36 (2), pp. 480-500, 1991], respectivamente. El método propuesto por Ghosh y Sinha tiene dos importantes limitaciones (ya comentadas por los autores): no se lograba proyectar adecuadamente una zona del cráneo y requería disponer de imágenes frontales. Pero, sin duda, la mayor limitación del método es que realiza un emparejamiento 2D-2D al no considerar un modelo 3D del cráneo. Esto simplifica mucho la tarea de superposición, pero hace inviable su uso para la identificación forense en casos reales. Por otro lado, el método de Nickerson usaba un algoritmo genético [D.E. Goldberg, "Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning", *Addison-Wesley*, 1989]. para encontrar los parámetros óptimos de las transformaciones de similitud y perspectiva que superponen el modelo 3D del cráneo sobre la cara de la fotografía. Se consideraba el empleo de una cámara digital para digitalizar la fotografía y se partía de un modelo 3D del cráneo encontrado (del que no se detalla el método seguido para su obtención), así como de algoritmos clásicos de procesamiento de imágenes para mejorar éstas (filtro de mediana, equalización del histograma, filtro de Wiener). En ninguno de estos trabajos se formulan hipótesis sobre la posible relación de pertenencia entre el cráneo y la fotografía, y no se considera la incertidumbre presente en todas las etapas del proceso de superposición. En consecuencia, los resultados no son suficientemente precisos para su uso en la identificación forense. Además, no es un sistema automático de identificación ya que el método no incluye la digitalización del cráneo.

Descripción de la invención

Éstos y otros objetos de la presente invención se consiguen mediante un procedimiento automático, basado en el ordenador, según la reivindicación independiente 1, para ayudar al antropólogo forense en la tarea de identificación por superposición craneofacial. En dicha tarea consideramos tres etapas principales (Figura 2):

1. La primera etapa consiste en obtener un modelo digital preciso del cráneo de forma automática, requiriendo la menor interacción posible con el experto forense.
2. La segunda etapa, conocida como proyección cráneo-cara, tiene como objetivo la adecuada proyección del modelo 3D del cráneo sobre la fotografía. Para ello, el sistema de la presente invención toma como base dos conjuntos de marcadores (Figuras 3 y 4) seleccionados por el experto forense. Un conjunto sobre la fotografía de la cara (puntos cefalométricos, Figura 3) y otro conjunto en el modelo 3D del cráneo (puntos craneométricos, Figura 4). Se trata entonces de emparejar ambos conjuntos apropiadamente.
3. La última etapa se corresponde con la toma de una decisión de identificación en los mismos términos utilizados por los expertos forenses (positiva, negativa, probable positiva, probable negativa, incierta). Para la toma de esta decisión, se considera la calidad de los emparejamientos entre pares de marcadores.

La presente invención lleva a cabo la tarea de identificación por superposición craneofacial mediante el diseño de un sistema informático basado en el uso de técnicas de soft computing [P.P. Bonissone, "Soft computing: the convergence of emerging reasoning technologies". *Soft Computing* Vol. 1 (1), pp. 6-18, 1997], En concreto, en dicho sistema se modela la incertidumbre inherente a este método de identificación forense mediante el uso de lógica difusa [G. J. Klir, B. Yuan, Eds. "Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A. Zadeh". World Scientific Publishing, 1996]. Asimismo, el sistema propuesto incorpora una nueva metodología fundamentada en la explotación de la información derivada del emparejamiento de marcadores en cráneo y cara para lo cual se usan metaheurísticas [F. Glover, G. Kochenberger, Eds. "Handbook of Metaheuristics", Kluwer Academic Publishers, 2003] y otros algoritmos avanzados de optimización y búsqueda [T. Bäck, D. B. Fogel, Z. Michalewicz, Eds. "Handbook of Evolutionary Computation", *IOP Publishing Ltd and Oxford University Press*, 1997] como por ejemplo, Scatter Search [Laguna, M., Martí, R. "Scatter Search: Methodology and Implementations in C". *Kluwer Academic Publishers*, 2003], CHC [Eshelman, L. J. "The CHC adaptive search algorithm: How to have safe search when engaging in nontraditional genetic recombination". In G.J.E. Rawlins (Ed.), *Foundations of Genetic Algorithms-1*, pp. 265-283. Morgan Kaufman, 1991] o CMA-ES [N. Hansen, A. Ostermeier, "Completely derandomized self-adaptation in evolution strategies", *Evolutionary Computation* Vol. 9 (2), pp. 159-195, 2001],

De acuerdo a la metodología definida en la presente invención, las tres etapas del proceso de superposición se corresponden con los siguientes tres subsistemas:

1. *Subsistema de modelado 3D de cráneos*: cuyo objetivo es la construcción de modelos 3D de cráneos a partir de vistas parciales tomadas con el sistema de captura. Para ello se usan técnicas de registrado de imágenes basadas en algoritmos de optimización y búsqueda.
 2. *Subsistema de proyección cráneo-cara*: cuyo objetivo es la correcta proyección del modelo 3D del cráneo sobre la fotografía 2D de la cara de la persona desaparecida de manera automática. Se basa en algoritmos de optimización y búsqueda además de hacer uso de técnicas de lógica difusa para modelar la incertidumbre inherente al problema.
 3. *Subsistema de ayuda a la toma de decisiones*: sistema difuso de ayuda a la decisión para asistir al antropólogo forense en la identificación afrontando la asociación de los puntos craneométricos y cefalométricos como un proceso de emparejamiento parcial.
- Además de estos tres subsistemas hay otros dos, que si bien son opcionales, ayudan al subsistema de proyección a conseguir unos resultados más robustos y de una mayor calidad, en un menor tiempo.
4. *Subsistema de posicionamiento del modelo 3D del cráneo*: cuyo objetivo es el posicionamiento automático del modelo 3D del cráneo con una orientación inicial próxima a la orientación de la cara en la fotografía.
 5. *Subsistema de refinamiento manual de la superposición craneofacial*: herramienta de edición de imágenes para el refinamiento manual de la superposición craneofacial lograda mediante el subsistema de proyección cráneo-cara.

El uso del subsistema 4 conlleva la disminución del tiempo requerido para realizar una superposición automática debido a la reducción del espacio de búsqueda que supone tener el cráneo en una orientación próxima a la buscada. Además, este posicionamiento inicial dota de una mayor robustez a los resultados proporcionados. Por último, el subsistema 5 permite un refinamiento manual de la superposición lograda en la anterior etapa. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la superposición automática obtenida no precisará de ningún refinamiento manual y, por lo tanto, la etapa asociada a este subsistema es en muchos casos innecesaria.

Así, al contrario que otros sistemas y métodos comprendidos en el estado de la técnica, la presente invención aborda, globalmente y con un nuevo enfoque, cada una las tareas asociadas al proceso de superposición.

A continuación se detallan cada una de los cinco subsistemas que componen la presente invención, comentando las ventajas de la invención en relación al estado de la técnica mostrado en la sección anterior.

Subsistema de modelado 3D de cráneos

Con este subsistema se pretende obtener un modelo digital en tres dimensiones del cráneo. Para obtener dicho modelo se emplea un dispositivo de adquisición de imágenes. En el caso de que dicho dispositivo adquiriera imágenes parciales de la superficie del cráneo, se emplea un método encargado de la correcta alineación de las diferentes imágenes parciales.

Este subsistema se basa en un proceso de selección exhaustiva y automática de los puntos más representativos del cráneo presentes en cada una de las vistas. Estos puntos característicos facilitan el no tener que trabajar con el modelo completo, sintetizándolo de cara al posterior procesamiento. Una vez que se han seleccionado estos puntos, se lleva a cabo un proceso de optimización y búsqueda cuyo propósito es proporcionar la transformación geométrica

que consiga hacer coincidir un conjunto de imágenes de la forma más precisa posible. Al contrario que otros métodos vigentes, se integran las múltiples vistas del cráneo de manera simultánea. Este enfoque tiene la ventaja de reducir el error acumulado cuando la integración se lleva a cabo progresivamente entre imágenes adyacentes. Se consiguen así modelos 3D de cráneos más fidedignos.

5 Otra ventaja respecto a métodos del estado de la técnica es que permite que el grado de solapamiento entre dos vistas consecutivas sea mínimo. Esto se consigue gracias al tratamiento robusto de las distancias entre puntos de diferentes vistas que han sido emparejados. Esto es, para calcular la transformación geométrica que sitúa cada vista en la posición adecuada para obtener el modelo 3D del cráneo, sólo se considerarán aquellos emparejamientos entre puntos que no disten más de un umbral respecto a la distribución de distancias entre puntos emparejados.

10 Ocho vistas del cráneo serían suficientes para poder llevar a cabo la reconstrucción total del mismo. Esto supone un ahorro en espacio de almacenamiento muy significativo respecto a otras técnicas que únicamente son capaces de manejar una ligera desalineación entre vistas consecutivas.

15

Subsistema de proyección cráneo-cara

Este subsistema es el encargado de realizar la mejor proyección posible del cráneo sobre la fotografía de forma automática. Es, por lo tanto, un problema de registro de imágenes, donde se busca la transformación que sitúa a dos imágenes 3D/2D diferentes en un mismo sistema de coordenadas (rotación, traslación, cambio de escala, etc.).

En el caso de la presente invención, el problema consiste en encontrar la transformación de registro que sitúe al modelo 3D del cráneo en la misma pose que tenía en el momento en el que fue realizada la fotografía de la persona desaparecida.

25

La definición de la transformación geométrica objetivo depende de un número de incógnitas provenientes de dos fuentes diferentes: a) la configuración de la cámara, donde necesitamos conocer parámetros como la apertura del objetivo de la cámara o la distancia entre ésta y la persona desaparecida en el momento de realizar la fotografía; y b) el modelo del cráneo: que tendrá una orientación específica y una resolución y un tamaño dados por las características técnicas del sistema de captura de imágenes, así como por el proceso de modelado del cráneo.

30

Una vez hemos definido los parámetros que representan la transformación geométrica necesaria para llevar a cabo la tarea de superposición craneofacial, se trata de encontrar la combinación de valores, para las incógnitas del sistema de ecuaciones definido, que conlleven a la mejor proyección posible. Esto es, por tanto, un problema de optimización numérica, que en la presente invención se resuelve mediante algoritmos avanzados de optimización y búsqueda, como por ejemplo los mencionados anteriormente (Scatter Search, CHC o CMA-ES).

35

El método implementado realiza una búsqueda dentro de los límites establecidos para cada incógnita, con el objetivo de que la transformación resultante minimice la distancia entre los pares de marcadores emparejados (en el cráneo y en la cara).

40

Dado que buscamos el mejor solapamiento de los marcadores localizados en dos objetos diferentes (cara y cráneo), cuya distancia no es necesariamente nula, no es adecuado seguir un enfoque que se base en minimizar la distancia Euclídea entre cada par de marcadores. Esto se debe a que la correspondencia entre marcadores faciales y craneales no es siempre simétrica y perpendicular. Por ejemplo, algunos marcadores se localizan en una posición superior en la cara respecto al marcador correspondiente en el cráneo. Por lo tanto, una aproximación mucho más realista y compleja consiste en considerar la incertidumbre inherente al proceso de superposición craneofacial, lo cual no ha sido realizado hasta el momento por ningún otro trabajo del estado de la técnica. Desde este punto de vista se distinguen dos tipos de incertidumbre:

50

a) Por un lado, la incertidumbre en la localización se refiere a la gran dificultad inherente a la tarea de ubicar los marcadores en una localización invariable y con la precisión requerida para esta aplicación. De hecho, cada antropólogo forense tiende a situar estos puntos en diferentes localizaciones (aunque cercanas entre sí). Aunque los marcadores se seleccionan buscando que sean lo más invariables posibles, factores como los cambios en las expresiones faciales o cambios en la edad dificultan la localización precisa de estos puntos por el antropólogo. Además de la dificultad inherente a la hora de localizar los marcadores, la información de que disponemos no siempre está en las mejores condiciones. Por ejemplo, la ambigüedad para ubicar los puntos puede deberse en ocasiones a razones como la variación en la distribución de sombras debido a las condiciones de iluminación durante la toma de la fotografía, un enfoque inadecuado, una calidad de la imagen pobre, etc. De este modo, la causa de la ambigüedad, y por lo tanto su naturaleza, puede variar de una imagen a otra e incluso de una característica a otra en una misma imagen.

55

60

b) Por otro lado, la incertidumbre en el emparejamiento se refiere a la incertidumbre involucrada en la correspondencia entre marcadores asociados a diferentes objetos: la cara y el cráneo. Hay una cierta distancia entre cada punto craneométrico en el cráneo y su correspondiente punto cefalométrico en la fotografía. Esta distancia se debe a una cierta cantidad de tejido que separa los marcadores del hueso del cráneo de sus correspondientes en la cara. Además, los puntos craneométricos y cefalométricos se asocian a ubicaciones

65

significativas biológicamente. Si estudiamos el cráneo y la cara por separado, se puede observar cómo puntos significativos en el cráneo no siempre se localizan justo encima de los correspondientes puntos significativos en la cara. De este modo, nunca se dará una superposición perfecta de todos los marcadores, incluso logrando la posición óptima del cráneo con respecto a la fotografía. Algunos estarán muy cerca, mientras que otros estarán separados por una pequeña pero significativa distancia. Nótese que no todos los marcadores contribuirán de igual manera a la incertidumbre del emparejamiento: cuanto mayor sea la distancia entre un punto cefalométrico y otro craneométrico, más importante será la aportación de ese par de puntos a la incertidumbre total del emparejamiento.

La presente invención aborda el problema de la incertidumbre en el proceso de la superposición craneofacial considerando las dos fuentes de incertidumbre citadas:

a) Por un lado, mediante el uso de marcadores difusos por los que la comunidad de antropólogos físicos ya ha mostrado su interés. En particular el experto forense puede localizar marcadores del tamaño que desee según a la variabilidad espacial que considere que pudiera tener cada punto de referencia en una imagen o modelo de cráneo concreto. La implementación de marcadores difusos en la presente invención tiene las siguientes características:

- A cada punto de referencia difuso le corresponde un conjunto difuso bidimensional, cuyos límites vienen representados por los píxeles limítrofes al punto. Este conjunto difuso nos proporciona el grado de pertenencia de cada píxel del punto de referencia difuso según la función elegida (triangular, gaussiana, trapezoidal, etc.) y la localización del centroide (punto con mayor grado de pertenencia) realizada por el forense experto. Este grado de pertenencia se entiende como el nivel de posibilidad de que dicho píxel sea en realidad la localización exacta del marcador.
- Mediante este método se computan las distancias entre cada par de puntos contenidos en los marcadores difusos en cuestión. Luego se calcula una distancia difusa final teniendo en cuenta el grado de pertenencia de cada punto.

Los resultados de las superposiciones muestran que la aproximación difusa es capaz de modelar la incertidumbre involucrada en la localización de los marcadores, permitiendo el uso de marcadores del tamaño deseado por el experto forense. Esto posibilita que los forenses puedan localizar marcadores que no les sería posible posicionar mediante los sistemas vigentes, al no ser capaces de determinar su posición exacta con una confianza absoluta. El hecho de tener más marcadores mejora la calidad de las superposiciones realizadas por este método y, por lo tanto, el resultado final que el sistema proporcionará.

b) Por otro lado, en esta invención también se aborda la incertidumbre en el emparejamiento. Su implementación en la presente invención tiene las siguientes características:

- Según el conocimiento de expertos forenses, se definen unos conjuntos difusos que modelan la distancia real que puede existir entre cada punto craneométrico y su correspondiente cefalométrico. Por cada par de marcadores hay un conjunto difuso bidimensional que modela la distancia permitida entre éstos, es decir, la “tolerancia fisonómica” del emparejamiento. En particular, las distancias más probables según los antropólogos forenses se corresponden con los grados de confianza más elevados. Según difieren más esas distancias, menor será la confianza en ese emparejamiento.
- El cálculo de la distancia difusa anteriormente comentada varía mediante la inclusión de la incertidumbre en el emparejamiento. El algoritmo de búsqueda ya no trata de minimizar la distancia entre pares de puntos sino que intenta ajustar las distancias entre pares de marcadores a aquéllas con mayor grado de confianza, según los conjuntos difusos que modelan la distancia real.

Los resultados de las superposiciones muestran que la aproximación difusa es capaz de modelar la incertidumbre involucrada en el emparejamiento de los marcadores. Los sistemas vigentes tratan de minimizar la distancia absoluta entre cada par de marcadores. Por el contrario, en el funcionamiento de este sistema se incluye el conocimiento de los expertos forenses, los cuales han definido unos intervalos de confianza para cada distancia entre cada par de marcadores. Esto conlleva que el proceso de búsqueda no minimice distancias, sino que trate de que éstas sean lo más parecidas a las distancias reales que existen entre puntos craneométricos y cefalométricos. Dichas distancias son distintas para cada caso y para cada par de marcadores. La inclusión de este conocimiento experto en el subsistema de superposición craneofacial mejora mucho la calidad de las superposiciones y, por lo tanto, el resultado final que proporciona el sistema.

Finalmente, en este subsistema se obtiene una superposición craneofacial muy precisa que permite estudiar la posible correspondencia cráneo-cara. Además, el resultado del subsistema de proyección cráneo-cara puede (si el experto forense así lo prefiere) usarse como punto de partida para refinar manualmente y con ayuda del ordenador la superposición obtenida automáticamente. La ventaja en este caso con respecto al procedimiento habitual del forense es que se parte de una superposición de gran calidad, con el consecuente ahorro de tiempo.

Subsistema de ayuda a la toma de decisiones

Este subsistema es el encargado de asistir al antropólogo forense en la decisión final de la identificación a partir del emparejamiento de los marcadores encontrado en la superposición del subsistema previo.

5

Gracias al uso de la lógica difusa en el subsistema de proyección cráneo-cara, tanto la incertidumbre en la localización de los marcadores como la asociada al emparejamiento de los mismos, se traslada a este subsistema. El objetivo es poder dar una medida de confianza que sirva para evaluar la superposición realizada.

10

Para ello, en este subsistema se diseña un sistema de inferencia difuso con la colaboración de los expertos forenses. Las entradas del mismo son los grados de certeza en la localización de los marcadores y en el emparejamiento de cada par de estos puntos. Se usan operadores de agregación difusos para combinarlos y tomar la decisión final.

15

Mediante el mecanismo de inferencia difuso que modela el conocimiento de los antropólogos forenses, el sistema emite una recomendación al antropólogo forense del grado de correspondencia entre el modelo del cráneo encontrado y la fotografía de la cara de la persona desaparecida. Esta recomendación puede ser una de las cinco siguientes: positiva, negativa, probable positiva, probable negativa e incierta. Además, se proporciona el valor de certeza asociado a la recomendación.

20

Las ventajas que aporta la inclusión de este subsistema son muy importantes ya que, por un lado, ayuda al experto forense a emitir un juicio final sobre la correspondencia entre cráneo y cara y, por otro lado, también se puede utilizar de forma autónoma, sin la necesidad de la supervisión de un experto. Además, basándose en este último caso de funcionamiento, la presente invención permite la comparación de un mismo cráneo contra un repositorio de fotografías de personas desaparecidas, proporcionando como salida la fotografía con la que existe un mayor grado de correspondencia. En este caso, también se proporciona una recomendación al experto (positiva, negativa, probable positiva, probable negativa e incierta) y el valor de certeza asociado a la recomendación.

25

Subsistema de posicionamiento del modelo 3D del cráneo

30

El objetivo de este subsistema es orientar el cráneo hacia una pose próxima a la orientación de la cara en la fotografía. De esta manera, se disminuye notablemente el espacio de búsqueda al acotar los límites de las rotaciones permitidas por el subsistema de superposición craneofacial en cada uno de los tres ejes. Esta reducción del espacio de búsqueda conlleva una disminución en el tiempo necesario para realizar la tarea de proyección cráneo-cara a la vez que hace que los resultados del sistema sean más robustos.

35

Para realizar esta orientación inicial del cráneo se obtiene primero la posición de éste con respecto a la cámara. Esto se logra calculando el vector ortogonal al plano formado por tres marcadores craneales (puntos craneométricos) seleccionados *a priori*. A partir de este vector, se calculan (y aplican) los ángulos de las tres rotaciones necesarias para situar al cráneo frente a la cámara. Si bien no es una operación complicada, no hay trabajos en el estado de la técnica que realicen este posicionamiento inicial del cráneo frente a la cámara, algo que ayuda al proceso de superposición, haciéndolo más rápido y robusto.

40

Además, dado que la pose de la persona en la fotografía no tiene porque ser frontal a la cámara, se calcula la pose (tres ángulos de rotación: roll, pitch y yaw) de ésta para luego situar al cráneo en la misma pose, nuevamente mediante tres rotaciones. Si bien hay métodos en el estado de la técnica para calcular la pose inicial de la cara [Murphy-Chutorian, E., Manubhai Trivedi, M. "Head Pose Estimation in Computer Vision: a Survey", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* vol. 31, no. 4, 2009], se diseñó un método propio para esta invención, dado que ninguno de éstos es válido para nuestro problema. Hay enfoques de aprendizaje automático que tienen el inconveniente de que necesitan un amplio número de fotos de caras (con los 3 ángulos de la pose conocidos) para su entrenamiento. Además de no encontrar ninguna base de imágenes etiquetadas con los 3 ángulos de la pose (solo con dos), estos métodos no producen resultados satisfactorios sobre las imágenes con las que se trata en la identificación forense, si no que se utilizan imágenes en entornos (luminosidad, oclusiones de la cara, resolución de las imágenes, etc.). Otros trabajos, los que siguen un enfoque geométrico, no resultaron válidos por diversas razones, unos porque requerían conocer datos de la cámara, como la distancia focal, otros por limitarse a vistas frontales, otros por utilizar imágenes en 2.5D, y otros por que se enfocan hacia el tracking en vídeo.

55

El método utilizado para hallar la pose de la cara en la fotografía utiliza por un lado los puntos cefalométricos del eje vertical de la cara (el forense puede marcar hasta siete distintos, se interpola sobre los puntos de los que se disponga), para hallar dicho eje. Se utilizan dos de los puntos cefalométricos a la altura de los ojos (de los cuatro posibles) a partir de los cuales se traza un eje horizontal. Se sitúa la base de la nariz sobre el eje vertical a partir de alguno de los puntos cefalométricos en esta zona (hay tres, dos alares y un subnasal). A continuación, se detecta la punta de la nariz a partir de una "ventana" de píxeles, buscando en esta el punto de mayor intensidad. Una vez calculado el eje y los puntos base de la nariz y punta, ya se pueden calcular los tres ángulos que determinan la pose de la cara. El "roll" se calcula aparte, midiendo directamente la inclinación del eje horizontal de los ojos con respecto al eje horizontal del plano imagen. Para el cálculo del "pitch" y "yaw" se utilizan una serie de ecuaciones que establecen relaciones geométricas en el plano de la cara y su representación en 3D.

65

Aunque como resultado de este subsistema la precisión en la orientación del cráneo no es la deseada, se alcanza una orientación muy cercana a la óptima, por lo que la optimización de este parámetro en el subsistema de superposición estará restringida a un espacio de búsqueda menor, con el consiguiente ahorro de tiempo.

5

Subsistema de refinamiento manual de la superposición craneofacial

El subsistema de refinamiento manual de la superposición craneofacial es una herramienta de edición de imagen 3D/2D diseñada *ad-hoc*. El objetivo es dar al usuario de la invención la posibilidad de refinar manualmente la superposición obtenida de forma automática en la etapa anterior. En principio, no siempre sería necesaria porque la aproximación obtenida automáticamente es de una alta calidad. En caso de emplearse, dicha aproximación automática siempre sería una inicialización muy próxima al resultado final deseado por el experto forense. Esta herramienta permite:

- (a) manipular el modelo 3D del cráneo partiendo de una posición inicial,
- (b) rotar, escalar y trasladar el modelo 3D del cráneo,
- (c) ajustar la transformación perspectiva del modelo 3D del cráneo, y
- (d) guardar la superposición craneofacial lograda y el correspondiente valor de los parámetros de la transformación.

Al contrario que otras herramientas que pueden utilizarse para manipular objetos tridimensionales u otras orientadas al trabajo con imágenes bidimensionales, esta herramienta integra el uso de modelos 3D y fotografías 2D. Para ello, permite modificar la transformación perspectiva asociada a la superposición, algo sin lo cual no se pueden conseguir superposiciones adecuadas. Nótese que el presente subsistema añade valor a la invención al dar la posibilidad de un procesamiento manual de la superposición generada automáticamente.

30

Descripción de las figuras

Para complementar la descripción que seguidamente se va a realizar y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de figuras donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

35

La Figura 1 representa un esquema general del problema de registro de imágenes. En dicho problema se parte de una imagen 1 (“escena”), la cual se quiere poner en el mismo eje de coordenadas que otra imagen 2 (“modelo”). Para ello, se aplica 3 (transformación f) a la imagen escena y se evalúa si hay un buen emparejamiento mediante 4 (métrica de similitud). Si en 5, convergencia, el resultado es que sí (el método ha convergido) se obtiene 6, f final. Si no es así, se trata de optimizar iterativamente 7, nueva transformación f , hasta alcanzar un emparejamiento válido mediante 8, optimizador.

40

La Figura 2 representa esquemáticamente las tres etapas del proceso realizado por el sistema de identificación forense por superposición craneofacial. Primeramente en 1 se obtienen una foto y modelo del cráneo, localizando en ambos los marcadores oportunos. Luego se realiza una proyección cráneo-cara, 2. En base a la superposición obtenida de este modo se decide (3) si cráneo y fotografía corresponden al mismo individuo y con qué grado de certeza.

45

La Figura 3 representa esquemáticamente los diferentes marcadores que normalmente se utilizan en la cara (puntos cefalométricos) para la superposición craneofacial. Estos son: 1 Glabella, 2 Nasio, 3 Endocantio, 4 Ectocantio, 5 Subnasal, 6 Alar, 7 Labial superior, 8 Cigio, 9 Labial inferior, 10 Pogonio, 11 Gonio, 12 Gnatio, 13 Tragio, 14 Mentón.

50

La Figura 4 representa esquemáticamente los diferentes marcadores que normalmente se utilizan en el cráneo (puntos craneométricos) para la superposición craneofacial. Estos son: 1 Vertex, 2 Glabella, 3 Nasio, 4 Frontotemporal, 5 Dacrio, 6 Frontomolar temporal, 7 Orbital, 8 Alar, 9 Cigio, 10 Nasoespinal, 11 Prostio, 12 Gonio, 13 Pogonio, 14 Gnatio, 15 Porio.

55

La Figura 5 representa un diagrama de flujo, de una realización preferida del método proceso que realiza el sistema de la presente invención distinguiendo diferentes etapas: A, reconstrucción de un modelo tridimensional del cráneo; A.1, obtención de imágenes de diferentes vistas del cráneo encontrado mediante un escáner láser de rangos Konica-Minolta VI-910, A.2, obtención de las líneas de cresta de las diferentes vistas obtenidas en A.1; A.3, prealineamiento de las imágenes obtenidas en A.2 mediante el algoritmo de optimización Scatter Search; A.4, refinamiento del modelo 3D obtenido en A.3 mediante el algoritmo ICP; B, proyección cráneo-cara del modelo 3D del cráneo y de la cara de la fotografía; B.1, posicionamiento de los marcadores sobre el modelo de cráneo obtenido en A.4 y la fotografía de la persona desaparecida; B.2, reorientación del cráneo obtenido en A.4 a una pose próxima a la de la cara en la fotografía; B.3, proyección cráneo-cara mediante el algoritmo de optimización Scatter Search para el emparejamiento de marcadores, usando conjuntos difusos para el modelado de marcadores con incertidumbre; B.4, refinamiento manual de la superposición obtenida en B.3; C, ayuda a la toma de decisiones; C.1, propagación de la incertidumbre obtenida

60

65

en la etapa B.3 para cada emparejamiento y cálculo de una incertidumbre global; C.2, cálculo de los grados de los emparejamientos parciales de los marcadores; C.3, emisión de una recomendación tras la aplicación de un operador de agregación difusa.

5

Descripción de una realización preferida

En la Figura 5 se muestra un diagrama de flujo de una realización preferida del proceso realizado por el sistema de la presente invención. Se distinguen las siguientes características específicas:

10

1. en la etapa de obtención de imágenes de diferentes vistas del cráneo, A.1, el dispositivo de adquisición es un escáner láser de rangos Konica-Minolta VI-910. No se usa una mesa rotatoria para dicha adquisición,
- 15 2. como proceso de extracción de características de las diferentes vistas adquiridas, etapa A.2, se utiliza la extracción de líneas de cresta,
3. para llevar a cabo el prealineamiento de imágenes, etapa A.3, se sigue una metodología en la que se integran todas las vistas del modelo 3D al mismo tiempo, minimizando así el error,
- 20 4. la fase de refinamiento A.4, coge como entrada el modelo 3D resultante de la etapa anterior y realiza un refinamiento del emparejamiento de las vistas, mediante un algoritmo determinista basado en gradientes, ICP,
5. en la etapa B.1, se utilizaron elipses para localizar los puntos cefalométricos y puntos de un píxel para posicionar los craneométricos.
- 25 6. en la etapa B.2, se parte de los marcadores localizados en la etapa anterior para acometer el posicionamiento del cráneo. Concretamente, para situar el cráneo frontal a la cámara, se utilizaron los dos dacryons y el nasoespinal y, para obtener la pose de la cara en la fotografía, se utilizaron los dos ectocanthions para obtener el eje horizontal, el gnatio y la glabella para el eje vertical y el subnasal para obtener la punta de la nariz,
- 30 7. para llevar a cabo la proyección cráneo-cara, etapa B.3, se realiza la correspondencia entre el modelo 3D del cráneo y la fotografía de la cara mediante conjuntos de transformaciones de similitud y proyecciones perspectivas. Estas transformaciones consisten en lo siguiente:

35

- Rotación R. Transformación que busca situar al cráneo en la misma pose que la fotografía. Para definir la rotación necesitamos: la dirección del eje de rotación (dx, dy, dz), la localización del eje de rotación con respecto al centro de coordenadas (rx, ry, rz) y el ángulo θ .
- 40 • Escalado S. Transformación que busca adaptar uniformemente el tamaño del modelo del cráneo en base al tamaño de la persona desaparecida en la fotografía.
- Traslación T. Transformación (tx, ty, tz) que busca situar el origen de coordenadas enfrente de la cámara (reproduciendo las condiciones iniciales del momento en el que se realizó la fotografía).
- 45 • Proyección perspectiva P. Transformación que trata de determinar lo lejos que está la cámara del cráneo y tiene una fuerte relación con el ángulo de visión (Φ) de la cámara.

40

45

Todas estas transformaciones dan lugar a un sistema de ecuaciones con doce incógnitas (rx, ry, rz, dx, dy, dz, θ , S, tx, ty, tz, Φ) que representan la transformación geométrica que empareja cada marcador del modelo 3D del cráneo en su correspondiente marcador facial en la fotografía.

50

El sistema de ecuaciones resultante es el siguiente:

55

$$F = C \times S \times T \times P$$

donde:

60

$$R = A \times D_1 \times D_2 \times \Theta \times D_2^{-1} \times D_1^{-1} \times A^{-1}, F = \begin{bmatrix} x_{f_1} y_{f_1} 1 1 \\ x_{f_2} y_{f_2} 1 1 \\ \vdots \\ x_{f_n} y_{f_n} 1 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} x_{c_1} y_{c_1} z_{c_1} 1 \\ x_{c_2} y_{c_2} z_{c_2} 1 \\ \vdots \\ x_{c_n} y_{c_n} z_{c_n} 1 \end{bmatrix}$$

65

Como método de optimización se utiliza el algoritmo Scatter Search, que busca los valores para las doce incógnitas del sistema de ecuaciones antes descrito, de manera que la transformación resultante haga mínima la función objetivo (o función de error).

5 La función objetivo (o función de error) es la media de la suma de las distancias entre cada par de marcadores a emparejar (cada marcador del cráneo, punto craneométrico, tiene que emparejarse con un marcador de la cara, punto cefalométrico). La distancia considerada es una distancia “difusa” que tiene en cuenta la incertidumbre relativa a cada marcador (a mayor tamaño de la elipse que representa el marcador mayor incertidumbre).

10 Es muy importante destacar el tiempo necesario para realizar esta tarea por parte de la invención, que en el peor de los casos nunca supera los cinco minutos en un PC convencional. Comparando este tiempo con las 24 horas que puede llegar a tardar un antropólogo forense en hacer una superposición manual asistida por el ordenador, la mejora es muy significativa, más aún teniendo en cuenta que en muchos casos será necesario realizar la superposición de un mismo cráneo sobre las diferentes fotografías disponibles.

15 Por último, en base a la distancia existente (difusa) entre cada par de marcadores (craneométrico-cefalométrico) y su distancia teórica (difusa), se calcula un grado de incertidumbre global asociado a la superposición. Teniendo en cuenta esta incertidumbre y haciendo uso de un operador de agregación difuso, el sistema emite una recomendación sobre la correspondencia cráneo-fotografía dentro de las siguientes cinco posibilidades: positiva, negativa, probable
20 positiva, probable negativa e incierta.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema de identificación forense que realiza un proceso de superposición craneofacial de un cráneo y una fotografía en la que se incluye la cara de un individuo, **caracterizado** por:
- (a) un subsistema de modelado 3D de cráneos, que proporciona un modelo 3D del cráneo a partir de vistas parciales del mismo mediante un algoritmo de optimización y búsqueda
 - 10 (b) un subsistema de proyección cráneo-cara, que empareja el modelo 3D del cráneo con la cara de la fotografía mediante un algoritmo de optimización y búsqueda
 - (c) un subsistema de ayuda a la toma de decisiones, que emite una valoración sobre la relación de correspondencia entre el cráneo y la cara emparejados
 - 15 (d) un subsistema de posicionamiento inicial del modelo 3D del cráneo, que hace una primera estimación de la mejor posición del modelo del cráneo en la fotografía
 - 20 (e) un subsistema de refinamiento manual de la superposición craneofacial que modifica, según las preferencias del usuario, el emparejamiento cráneo-cara llevado a cabo por el sistema.
- 25 2. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicación 1, **caracterizado** porque el subsistema de modelado 3D de cráneos usa un dispositivo óptico que proporciona varias vistas parciales del cráneo y que comprende las siguientes fases:
- (a) adquisición de las diferentes vistas parciales del cráneo, donde cada vista es una imagen parcial de la superficie del cráneo,
 - 30 (b) síntesis de la información de cada vista parcial del cráneo mediante la extracción de características de la imagen invariantes a la transformación que relaciona cada par de vistas adyacentes,
 - (c) prealineamiento de las diferentes imágenes obtenidas mediante un algoritmo de optimización,
 - 35 (d) refinamiento del modelo 3D obtenido en la etapa anterior mediante un algoritmo de búsqueda local.
- 40 3. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicación 1, **caracterizado** porque el subsistema de proyección cráneo-cara comprende las siguientes fases:
- (a) codificación de la transformación proyectiva 3D-2D,
 - (b) establecimiento de los intervalos de posibles valores para cada una de las incógnitas de la transformación proyectiva elegida,
 - 45 (c) búsqueda de la transformación 3D-2D (combinación de valores para las incógnitas) que conlleve una adecuada superposición, mediante un algoritmo de optimización y búsqueda.
- 50 4. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicaciones 1 y 3, **caracterizado** porque se logra la superposición en la etapa (c) de la reivindicación 3, minimizando una de las siguientes funciones:
- 55 (a) la media de la suma de las distancias Euclídeas entre pares de puntos de referencia cefalométricos y sus correspondientes craneométricos una vez transformados a 2D, si no se tiene en cuenta la incertidumbre,
 - (b) las distancias difusas entre pares de puntos de referencia cefalométricos y sus correspondientes craneométricos una vez transformados a 2D, si sólo se tiene en cuenta la incertidumbre en la localización de los marcadores,
 - 60 (c) la diferencia entre las distancias fisonómicas aproximadas entre pares de puntos craneométricos-cefalométricos y las distancias entre pares de puntos cefalométricos y sus correspondientes craneométricos una vez transformados a 2D, si se tiene en cuenta la incertidumbre en la localización y emparejamiento de los marcadores.
 - 65

5. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicaciones 1 y 3, **caracterizado** porque el subsistema de proyección cráneo-cara muestra gráficamente el resultado de la superposición del modelo 3D del cráneo proyectado sobre la fotografía objetivo.
- 5 6. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicaciones 1 y 3, **caracterizado** porque el subsistema de proyección cráneo-cara presenta una interfaz que interactúa con el usuario para que éste pueda ajustar los parámetros que intervienen en el proceso de superposición para la obtención de superposiciones diferentes a las propuestas por dicho sistema.
- 10 7. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicación 1, **caracterizado** porque el subsistema de ayuda a la toma de decisiones comprende las siguientes etapas:
- (a) propagación de la incertidumbre obtenida en el subsistema de proyección cráneo-cara,
 - 15 (b) análisis del emparejamiento de la superposición obtenida en el subsistema de proyección cráneo-cara,
 - (c) emisión de una recomendación.
- 20 8. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicación 1, **caracterizado** porque en la etapa de propagación de la incertidumbre del subsistema de ayuda a la toma de decisiones, se propaga la incertidumbre relativa a la localización imprecisa de los puntos craneométricos y cefalométricos.
- 25 9. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicación 1, **caracterizado** porque en la etapa de propagación de la incertidumbre del subsistema de ayuda a la toma de decisiones, se propaga la incertidumbre relativa al emparejamiento impreciso entre pares de puntos cefalométricos y craneométricos.
- 30 10. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicación 1, **caracterizado** porque en la etapa de análisis del emparejamiento de la superposición obtenida del subsistema de ayuda a la toma de decisiones, se utiliza un sistema difuso que modela el conocimiento experto de los antropólogos forenses.
- 35 11. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicación 1, **caracterizado** porque en la etapa de emisión de una recomendación del subsistema de ayuda a la toma de decisiones, se emite una de las siguientes recomendaciones sobre la superposición craneofacial (correspondencia de fotografía de la cara-modelo 3D del cráneo) obtenida: identificación positiva, negativa, probable positiva, probable negativa o incierta, y se proporciona un grado de confianza asociado.
- 40 12. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicación 1, **caracterizado** porque el subsistema de posicionamiento inicial del modelo 3D del cráneo comprende las siguientes fases:
- (a) obtención de la posición del modelo 3D del cráneo respecto a la cámara mediante tres ángulos de Euler,
 - (b) aplicación de los tres ángulos de Euler calculados en (a) para el posicionamiento del cráneo en una posición frontal a la cámara,
 - 45 (c) obtención de la orientación de la cara en la fotografía mediante tres ángulos de Euler,
 - (d) aplicación de los tres ángulos de Euler calculados en (c) para el posicionamiento del cráneo en la misma pose que la estimada para la cara en la fotografía.
- 50 13. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicaciones 1 y 12, **caracterizado** porque la obtención de la posición del modelo 3D del cráneo respecto a la cámara comprende las siguientes fases:
- 55 (a) cálculo del plano facial del modelo 3D del cráneo a partir de los puntos craneométricos frontales,
 - (b) cálculo del vector normal al plano facial,
 - 60 (c) cálculo de las rotaciones necesarias para que el vector normal al plano facial esté orientado hacia el eje de la cámara.
- 65 14. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicaciones 1 y 12, **caracterizado** porque la obtención de la orientación de la cara en la fotografía comprende las siguientes fases:
- (a) cálculo del eje vertical central de la cara y del eje horizontal que pasa por el centro de los ojos,

(b) cálculo de la base y la punta de la nariz,

(c) cálculo de los tres ángulos de Euler que definen la orientación de la cara en la fotografía a partir de los puntos y ejes calculados en (a) y (b) además de las ecuaciones que definen las relaciones geométricas de una cara.

5

15. Sistema de identificación forense mediante superposición craneofacial según reivindicación 1, **caracterizado** porque el subsistema de refinamiento manual de la superposición craneofacial es una herramienta de edición de imágenes 3D/2D que permite:

10

(a) manipular el modelo 3D del cráneo partiendo de una posición inicial dada por el subsistema de proyección cráneo-cara de la reivindicación 1,

15

(b) rotar, escalar y trasladar el modelo 3D del cráneo,

(c) ajustar la transformación perspectiva del modelo 3D del cráneo,

20

(d) modificar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara,

(e) guardar la superposición craneofacial lograda y el correspondiente valor de los parámetros de la transformación.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

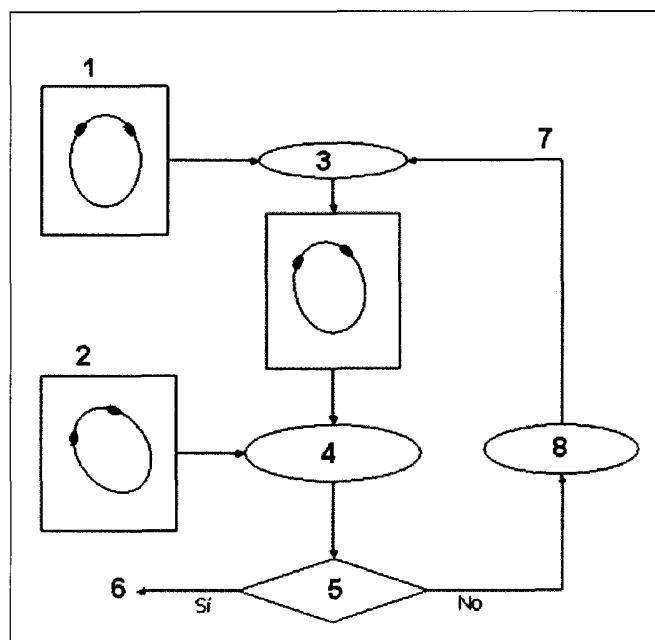


Figura 1

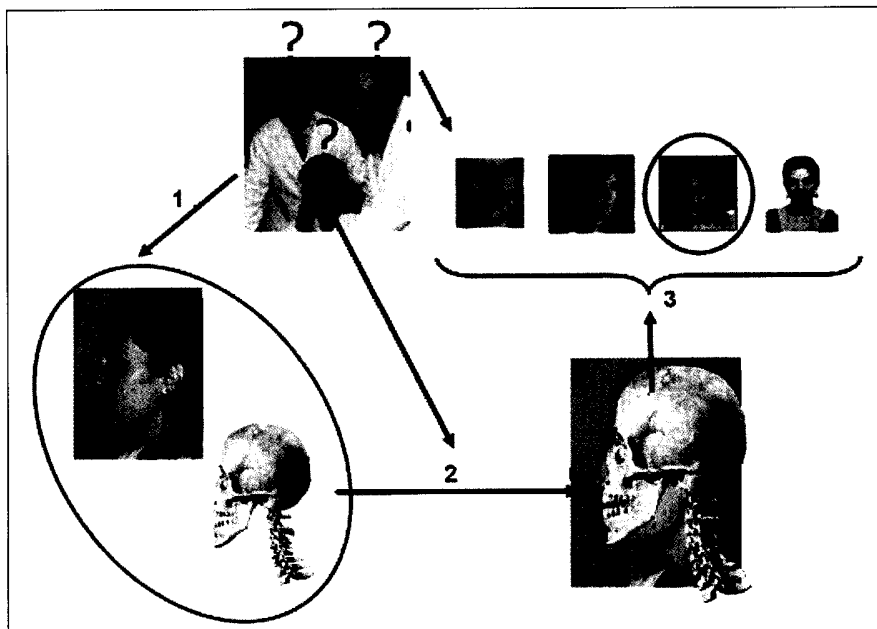


Figura 2

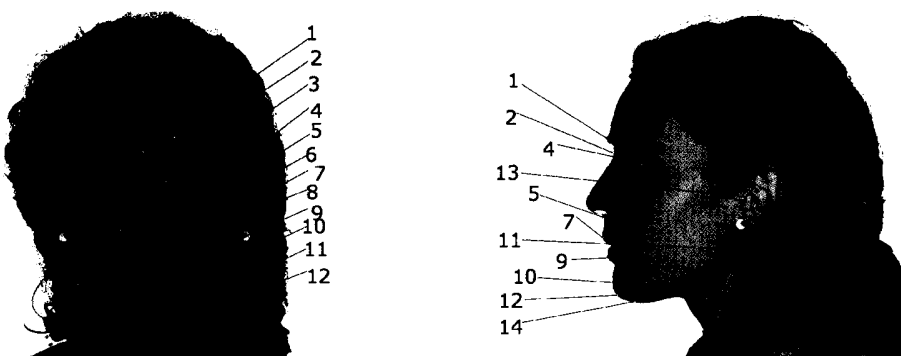
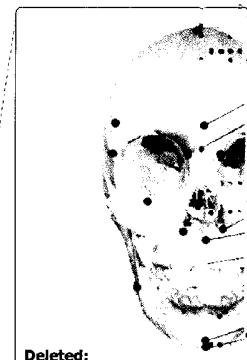
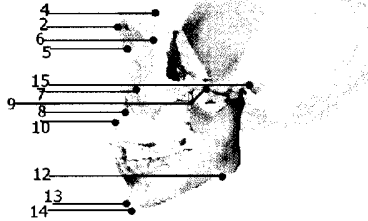
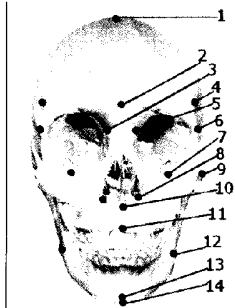


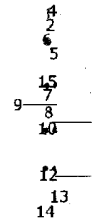
Figura 3



Deleted:

Formatted: Font: 12 pt

Figura 4



Deleted:

Formatted: Font: 12 pt

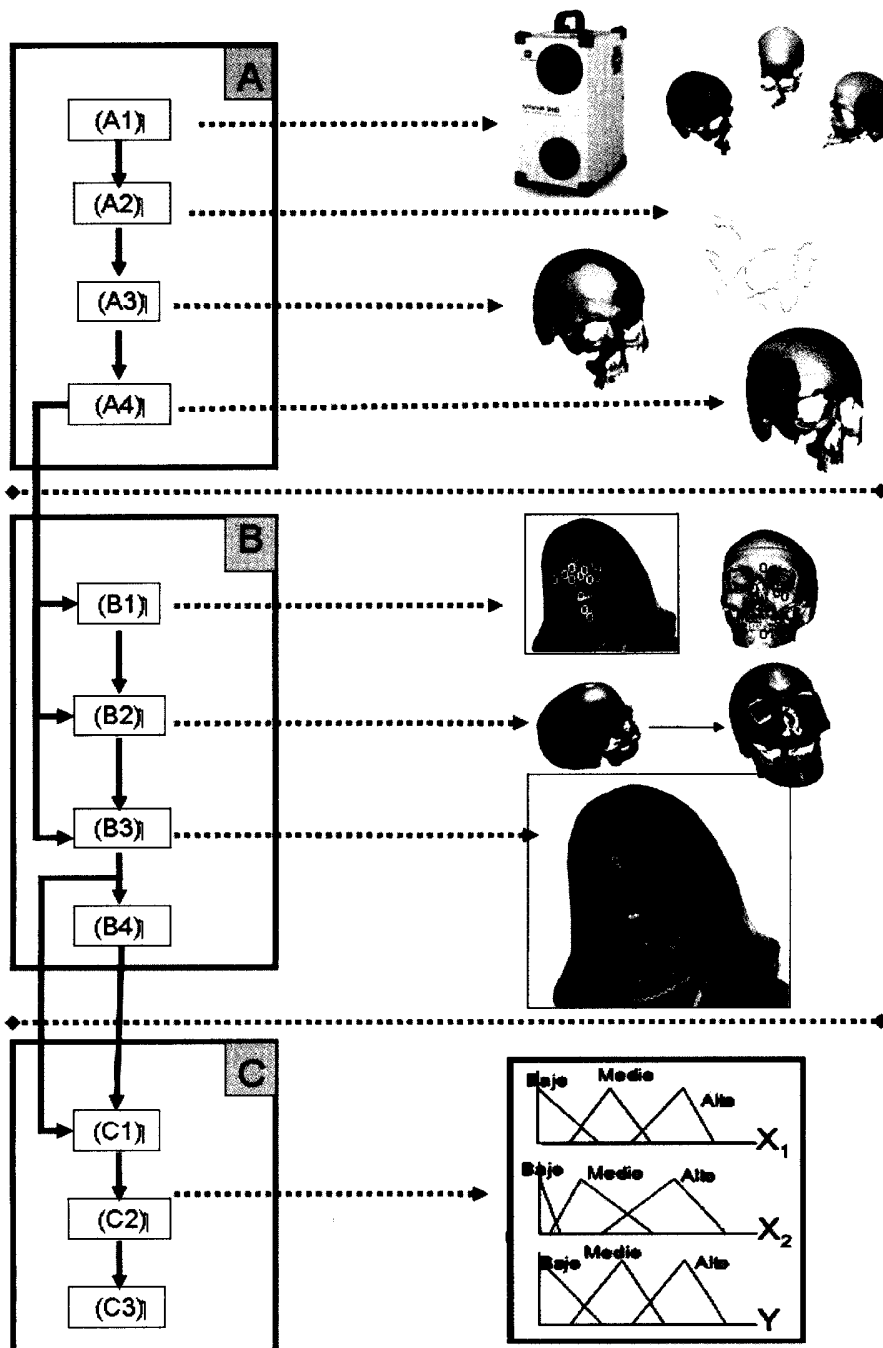


Figura 5



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

21 N.º solicitud: 200901732

22 Fecha de presentación de la solicitud: 30.07.2009

32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

5 Int. Cl. : **G06K9/00** (01.01.2006)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2007237365 A1 (MONRO DONALD M) 11.10.2007	1
A	US 2002176612 A1 (TUNCAY ORHAN C et al.) 28.11.2002	1
A	US 2006104489 A1 (BAILEY KENNETH S et al.) 18.05.2006	1
A	US 2007080967 A1 (MILLER MICHAEL I) 12.04.2007	1

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
14.02.2011

Examinador
M. González Vasserot

Página
1/4

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

G06K

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

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 14.02.2011

Declaración**Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-15
Reivindicaciones

SI
NO

Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)

Reivindicaciones 1-15
Reivindicaciones

SI
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 2007237365 A1 (MONRO DONALD M)	11.10.2007
D02	US 2002176612 A1 (TUNCAY ORHAN C et al.)	28.11.2002
D03	US 2006104489 A1 (BAILEY KENNETH S et al.)	18.05.2006
D04	US 2007080967 A1 (MILLER MICHAEL I)	12.04.2007

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. Así, la invención reivindicada se considera que cumple los requisitos de novedad, actividad inventiva y aplicación industrial.

1.- El objeto de la presente solicitud de patente consiste en realizar una identificación forense mediante la superposición cráneo-facial. Se construye un modelo tridimensional de manera automática a partir de un dispositivo que proporciona vistas parciales del cráneo, a continuación superpone dicho modelo sobre una fotografía de la persona desaparecida estimando la incertidumbre inherente al emparejamiento de dos objetos distintos: un cráneo y una cara y por último se emite una recomendación del resultado del proceso de identificación al antropólogo forense.

2.- El problema planteado por el solicitante es la superposición cráneo-facial para la identificación forense y establecer la relación entre el cráneo y la fotografía del mismo considerando la incertidumbre que hay en el proceso.

El documento D1 puede considerarse como el representante del estado de la técnica más cercano ya que en este documento confluyen la mayoría de las características técnicas reivindicadas.

Análisis de la reivindicación independiente 1

D1 se diferencia del documento de solicitud de patente en que no realiza la identificación con las vistas parciales de un cráneo.

D2 se diferencia del documento de solicitud de patente en que no empareja el modelo del cráneo con la fotografía de la persona desaparecida.

Por tanto, la reivindicación 1 es nueva (Art. 6.1 LP 11/1986) y tiene actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986).

Análisis del resto de los documentos

De este modo, ni el documento D1, ni D2, ni ninguno del resto de los documentos citados en el Informe del Estado de la Técnica, tomados solos o en combinación, revelan la invención en estudio tal y como es definida en las reivindicaciones independientes, de modo que los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. Además, en los documentos citados no hay sugerencias que dirijan al experto en la materia a una combinación que pudiera hacer evidente la invención definida por estas reivindicaciones y no se considera obvio para una persona experta en la materia aplicar las características incluidas en los documentos citados y llegar a la invención como se revela en la misma.