

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 753 645**

51 Int. Cl.:

G02C 13/00 (2006.01)

G06Q 30/06 (2012.01)

G06T 19/20 (2011.01)

G06T 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2017** **E 17180008 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019** **EP 3425447**

54 Título: **Procedimiento, dispositivo y programa informático para la adaptación virtual de una montura de gafas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.04.2020

73 Titular/es:
**CARL ZEISS VISION INTERNATIONAL GMBH
(100.0%)
Turnstrasse 27
73430 Aalen, DE**

72 Inventor/es:
**SCHWARZ, OLIVER y
BREUNINGER, TOBIAS**

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 753 645 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento, dispositivo y programa informático para la adaptación virtual de una montura de gafas

5 La presente solicitud se refiere a procedimientos, dispositivos y programas informáticos para la adaptación virtual de monturas de gafas.

10 A este respecto, según las normas DIN ESO 77998:2006-01 y DIN ESO 8624:2015-12 se entiende por montura de gafas una estructura o un soporte, por medio de la/del cual es posible llevar lentes de gafas en la cabeza. El término, tal como se utiliza en este caso, incluye en particular también monturas de gafas sin borde. Las monturas de gafas se denominan coloquialmente también estructuras para gafas. Una colocación virtual de una montura de gafas designa en el marco de la presente solicitud una adaptación de un modelo de una montura de gafas a un modelo de una cabeza en una unidad informática, habitualmente junto con una representación gráfica de la adaptación de la montura de gafas sobre la cabeza de una persona en un dispositivo de visualización, por ejemplo la pantalla de un ordenador.

15 Una colocación virtual de una montura de gafas sobre una cabeza se conoce por ejemplo por el documento US 2003/0123026 A1 o US 2002/015530 A1. En estos documentos, la colocación virtual de la montura de gafas sirve principalmente para facilitarle a un usuario la elección entre diferentes monturas de gafas, visualizándose una representación gráfica de la cabeza del usuario junto con la montura de gafas.

20 También el documento US 9.286.715 B2 da a conocer un procedimiento para probarse unas gafas virtualmente. A este respecto, se definen varios puntos tanto sobre una montura de gafas como sobre una cabeza. Se produce un posicionamiento de la montura de gafas en la cabeza haciendo coincidir puntos seleccionados sobre la montura de gafas con puntos seleccionados sobre la cabeza. Cambiando los puntos seleccionados se produce un cambio de posición. Esto permite un posicionamiento con una precisión suficiente para la finalidad del documento US 9.286.715 B2 de proporcionar una prueba virtual para conseguir una impresión visual. De manera similar el documento US 2005/162419 A describe una colocación virtual de una montura de gafas con ayuda de puntos de características. En este documento, en primer lugar se ajusta a escala una montura y a continuación se posiciona en diferentes direcciones. Finalmente se rotan las patillas de la montura de gafas sobre dos ejes espaciales.

25 La empresa Volumental ha puesto a disposición un vídeo de demostración del software "Vacker" en "<https://www.volumental.com/face-scanning/>", estado a 5 de marzo de 2017, en el que se representa una cabeza con unas gafas puestas y pueden modificarse parámetros de las gafas por medio de reguladores deslizantes, por ejemplo el ajuste de las gafas sobre el puente de la nariz o también otros parámetros como el ángulo del plano de la montura. También puede seleccionarse un color de la montura de gafas o un color de las bisagras de la montura de gafas. Entonces se emiten los parámetros seleccionados. En este vídeo también se adaptan diferentes parámetros de un modelo paramétrico de una montura de gafas.

30 Por el documento US 2015/0055085 A1 se conoce otro sistema para la adaptación virtual de unas gafas. En este caso se lleva a cabo una adaptación automática de las gafas, adaptando el tamaño y ajuste de las gafas a la cabeza de una persona. Además pueden seleccionarse la forma, el estilo y color de las gafas.

35 Por el documento DE 10 2016 824 A1 se conoce un procedimiento y un dispositivo para construir unas gafas a medida, es decir, unas gafas adaptadas a la cabeza de una persona. En este procedimiento se registran datos de imagen de la cabeza en dos o tres dimensiones, se seleccionan unas gafas de muestra y se representan las gafas de muestra en función de parámetros de construcción de las gafas de muestra. Los parámetros de construcción se determinan basándose en los datos de imagen de la cabeza.

40 El documento US 2015/0277155 A1 da a conocer una individualización de montura de una montura de gafas, en la que se miden las distancias en la cara de una persona y se crea la montura de gafas por medio de impresión 3D basándose en las distancias medidas.

45 El documento US 2013/0088490 A1 da a conocer un procedimiento iterativo para adaptar una montura de gafas, llevándose a cabo un posicionamiento de la montura de gafas en pequeñas etapas y produciéndose la adaptación basándose en una detección de choque, en la que se comprueba si la montura de gafas se solapa con la cabeza de la persona.

50 El documento US 2015/0293382 A1 da a conocer una determinación de parámetros para una prueba de gafas virtual tomando una imagen de una persona con la montura de ejemplo colocada. Los parámetros, determinados por medio de esta montura de ejemplo, se modifican de manera correspondiente para una prueba virtual de una montura virtual. Como la persona durante la toma de la imagen ya lleva una montura de gafas, en este caso no se utiliza un modelo tridimensional de la cabeza sin montura de gafas.

55 Niswar, Kahn y Farbiz describen en el artículo "Virtual Try-On of Eyeglasses using 3D-Model of the Head", Institute for Infocomm Research, diciembre de 2011, DOI:10.1145/2087756.2087838 un procedimiento para la prueba virtual

de gafas. Éste se basa en cuatro puntos de referencia, situándose dos puntos en la nariz y dos puntos en las orejas. A este respecto, se adapta un modelo de cabeza en 3D mediante deformación de un modelo de cabeza genérico basándose en algunos puntos de características.

5 El documento US 2016/0327811 A1 describe un procedimiento según el preámbulo de la reivindicación 1. En este procedimiento se parte de un modelo virtual de una montura. Éste se adapta mediante deformación a una cabeza. A este respecto, para la adaptación de la montura de gafas pueden establecerse criterios de adaptación, por ejemplo una maximización de una superficie de contacto de protectores nasales con la nariz de la persona, una maximización de una superficie de contacto de patillas de gafas, un centrado de un borde de montura de la montura
10 de gafas con los ojos, una orientación de la montura de gafas o una minimización de la superficie de contacto del borde de montura con los pómulos de la persona y con las cejas de la persona.

Como posible ampliación de estos criterios se indica la determinación de valores objetivo. Este tipo de valores objetivo pueden hacer referencia por ejemplo a una distancia entre las dos patillas de gafas de la montura de gafas, una inclinación anterior de la montura, una distancia de protectores de la montura entre sí, una distancia de un ojo con respecto al borde de montura, una distancia del borde de montura con respecto a las cejas y los pómulos, una inclinación anterior de la montura de gafas o un ángulo del plano de la montura de la montura de gafas. Estos parámetros y valores objetivos pasan a una función de costes, y por medio de un proceso de optimización convencional, por ejemplo un algoritmo de Levenberg-Marquardt, se lleva a cabo una optimización. Entonces
15 todavía puede deformarse la montura.

En este proceso resulta problemático que con un proceso de optimización de este tipo no se alcanza obligatoriamente un óptimo global, porque con los procedimientos de optimización como el algoritmo de Levenberg-Marquardt en general sólo se halla un mínimo local de la función de costes. Con ondulaciones de superficie de modelos 3D utilizados para monturas de gafas o cabeza puede ocurrir que la optimización en una onda de superficie de este tipo “se quede estancada” muy lejos del óptimo y así no se consiga una adaptación óptima.
25

Además, una optimización por medio de un procedimiento de optimización de este tipo con el uso de muchos parámetros requiere mucho cálculo. Esto dificulta el uso de modelos de montura paramétricos, en los que debe optimizarse un mayor número de parámetros.
30

En general, en los procedimientos descritos en este documento así como en los procedimientos descritos en los demás documentos mencionados anteriormente existe el problema de que los fabricantes a menudo establecen determinadas directrices de adaptación para la adaptación de monturas de gafas, que sobre todo definen criterios
35 estéticos para el ajuste de las gafas, por ejemplo un posicionamiento del borde de montura con respecto a rasgos faciales como ojos o cejas. La consideración de las directrices de adaptación asociadas a la respectiva montura de gafas no es posible de manera sencilla con los planteamientos descritos anteriormente. Por otro lado, estas directrices de adaptación relativas a la montura contribuyen a alcanzar un ajuste de la montura de gafas a la cabeza, buscado para la respectiva montura de gafas.

40 De manera similar al documento US 2016/0327811 A1, el documento WO 2016/164859 A1 describe un procedimiento implementado por ordenador para la adaptación de unas gafas (*eyewear*), en particular de una montura de gafas, a un modelo 3D de la cabeza de una persona. A este respecto, se produce una modificación de parámetros de un modelo paramétrico de la montura de gafas para la adaptación anatómica a una cabeza según criterios generales, válidos para todas las monturas de gafas.
45

El documento WO 2013/177456 A1 y el documento WO 01/88654 A2 se refieren en cada caso a la adaptación de un modelo de gafas rígido, es decir, de un modelo no paramétrico, a una cabeza. A este respecto, pueden estar determinados unos puntos en una patilla de gafas, que sirven para la adaptación a la cabeza. A continuación puede mejorarse el posicionamiento llevado a cabo mediante estos puntos.
50

Por tanto, partiendo del documento US 2016/0327811 A1 o el documento US 2016/0327811 A1, un objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento, un dispositivo y un programa informático para la adaptación virtual de una montura de gafas a la cabeza de una persona, con el que sea posible considerar de manera sencilla este tipo de directrices de adaptación específicas para la montura, que adaptan una montura de gafas a una cabeza en particular teniendo en cuenta aspectos estéticos. Además, se proporcionará un programa informático correspondiente y un dispositivo correspondiente.
55

Este objetivo se alcanza mediante un procedimiento según la reivindicación 1, un programa informático según la reivindicación 11 así como un dispositivo según la reivindicación 12. Las reivindicaciones dependientes definen formas de realización adicionales.
60

Según la invención se proporciona un procedimiento implementado por ordenador para la adaptación virtual de gafas, que comprende una adaptación virtual de un modelo de montura paramétrico de una montura de gafas a un modelo 3D de la cabeza de una persona. El procedimiento se caracteriza por que la adaptación virtual comprende las etapas de procedimiento siguientes: una primera operación de adaptación del modelo de montura paramétrico al
65

modelo 3D de la cabeza para cumplir con las directrices de adaptación específicas para el modelo de montura paramétrico, indicando las directrices de adaptación valores objetivo o intervalos objetivo para distancias entre características de la montura de gafas y características en la cabeza, y una segunda operación de adaptación del modelo de montura paramétrico al modelo 3D de la cabeza para la adaptación anatómica.

Mediante la división de la adaptación en la primera operación de adaptación y la segunda operación de adaptación de manera sencilla y genérica en la primera operación de adaptación pueden considerarse directrices de adaptación específicas, que como se explicó anteriormente pueden establecerse por los fabricantes de monturas. Entonces, en la segunda operación de adaptación puede llevarse a cabo una adaptación anatómica restante a la forma de la cabeza.

A continuación se explicarán los términos utilizados en el procedimiento mencionado anteriormente y en el procedimiento descrito más adelante:

La adaptación es “virtual” porque la operación tiene lugar en una unidad informática, por ejemplo un ordenador personal (PC) y la montura de gafas real no se coloca sobre la cabeza real.

Por modelo, en particular modelo 3D, se entenderá una representación tridimensional de objetos reales, disponibles como conjunto de datos en un medio de almacenamiento, por ejemplo una memoria de un ordenador o un soporte de datos. Una representación tridimensional de este tipo puede ser por ejemplo una malla 3D (en inglés *3D mesh*), compuesta por un conjunto de puntos 3D, también denominados vértices, y uniones entre los puntos, que también se denominan bordes. Esta unión forma en el caso más sencillo una malla triangular (en inglés *triangle mesh*). En una representación de este tipo como malla 3D sólo se describe la superficie de un objeto, no el volumen. La malla no tiene que estar obligatoriamente cerrada. Por tanto, si por ejemplo se describe la cabeza en forma de malla, entonces aparecerá como una máscara. En Rau J-Y, Yeh P-C. “A Semi-Automatic Image-Based Close Range 3D Modeling Pipeline Using a Multi-Camera Configuration”. *Sensors* (Basilea, Suiza). 2012; 12(8):11271-11293. doi:10.3390/s120811271; en particular página 11289, imagen “figura 16”.) se encuentran más detalles con respecto a este tipo de modelos 3D.

Otra posibilidad de la representación de un modelo 3D es una rejilla de vóxeles (en inglés *voxel grid*), que constituye una representación de volumen. A este respecto, el espacio se divide en pequeños cubos o cuboides que se denominan vóxeles. Para cada voxel, en el caso más sencillo, se almacena la presencia o ausencia del objeto a representar en forma de valor binario (1 o 0). Así, con una longitud de canto de los vóxeles de 1 mm y un volumen de 300 mm x 300 mm x 300 mm, un volumen típico para una cabeza, se obtienen en total 27 millones de vóxeles de este tipo. Este tipo de rejillas de vóxeles se describen por ejemplo en M. Nießner, M. Zollhöfer, S. Izadi, and M. Stamminger. “Real-time 3D reconstruction at scale using voxel hashing”. *ACM Trans. Graph.* 32, 6, Article 169 (noviembre de 2013),. DOI: <https://doi.org/10.1145/2508363.2508374>.

El modelo 3D de la cabeza y/o el modelo 3D de la montura de gafas puede ser en particular un modelo 3D con textura. Por modelo 3D con textura se entiende un modelo 3D, en el que adicionalmente está contenida información de color de los puntos de superficie del objeto real. Mediante el uso de un modelo 3D con textura es posible una representación de la cabeza y de la montura de gafas con un color realista.

A este respecto, la información de color puede estar contenida directamente en los vértices como atributo, por ejemplo como valor de color RGB (rojo verde azul) o con cada vértice como atributo se relacionan un par de coordenadas de textura. Entonces, estas coordenadas se entenderán como coordenadas de imagen (posiciones de píxel) en una imagen de textura adicional. La textura por ejemplo de los triángulos mencionados anteriormente de la malla triangular se obtiene entonces mediante interpolación a partir de los píxeles de la imagen de textura.

A este respecto, un atributo designa en general una característica, un rasgo o similar, que se asocia a un objeto, en este caso a un respectivo vértice (véase también el artículo de Wikipedia “Atributo (objeto)”, estado a 5 de julio de 2017).

Un modelo paramétrico es un modelo 3D, que presenta uno o varios parámetros variables. Entonces, cambiando el parámetro o los parámetros cambia la geometría del objeto descrito mediante el modelo 3D, en este caso de la montura de gafas, por ejemplo con respecto al tamaño o forma. Ejemplos de este tipo de parámetros son por ejemplo un ancho de puente o una longitud de patilla de la montura de gafas, o también una forma de un borde de montura de la montura de gafas. El tipo y el número de estos parámetros dependen de la montura de gafas representada por el modelo de montura paramétrico. Un fabricante de la montura de gafas puede determinar en particular intervalos de valores para los parámetros que entonces, de manera correspondiente, describen monturas de gafas acabadas. Por parámetro de montura libre se entiende un parámetro del modelo de montura paramétrico que todavía no se ha determinado en el procedimiento, es decir, que todavía tiene que adaptarse y determinarse.

Las directrices de adaptación son especificaciones de cómo debe posicionarse la montura de gafas con respecto a zonas o puntos de la cabeza como ojos, pupilas, cejas o nariz. Estas directrices de adaptación específicas para el modelo de montura paramétrico se utilizan en particular para garantizar una impresión estética deseada por el

fabricante de la montura de gafas. Las directrices de adaptación específicas pueden proporcionarse junto con el modelo de montura paramétrico por un respectivo fabricante de forma electrónica, por ejemplo como archivos correspondientes.

5 Por el contrario, la adaptación anatómica se refiere a una adaptación que garantizará un ajuste correcto y cómodo de la montura de gafas en la cabeza. Para ello se utilizan criterios que no son específicos para la respectiva montura de gafas, sino que en general son válidos para una pluralidad de diferentes monturas de gafas. Estos criterios pueden establecerlos un fabricante de un dispositivo, con los que se realiza el procedimiento descrito anteriormente. También puede establecerlos y/o ajustarlos una persona que realiza el procedimiento, por ejemplo un óptico, o
 10 también un médico. También es posible una especificación de este tipo de criterios por un fabricante de monturas o también mediante varios fabricantes de monturas en conjunto, no refiriéndose los criterios tampoco en este caso específicamente a una montura, sino que pueden aplicarse a diferentes tipos de monturas. Ejemplos de este tipo de criterios se refieren a un ajuste correcto de la patilla de gafas a las orejas o un ajuste correcto de los protectores nasales de las gafas. La adaptación anatómica también puede comprender garantizar distancias mínimas con respecto a zonas de la cabeza, por ejemplo garantizar una distancia mínima de los bordes de montura de la montura de gafas con respecto a los pómulos y/o a una parte de las cejas de la cabeza y/o una distancia mínima con respecto a las pestañas. Otro ejemplo de una adaptación anatómica es el ajuste de una distancia teórica o un intervalo teórico para la distancia entre lente de la gafa y ojo, es decir, la distancia al vértice (HSA). La distancia al vértice es la distancia entre la superficie anterior de la córnea del ojo y la superficie de la lente de la gafa dirigida
 20 hacia el ojo. Por ejemplo, en la adaptación anatómica puede garantizarse que se mantenga una distancia al vértice teórica de 12 mm o una distancia al vértice entre 12 mm y 17 mm. El fondo es que la lente de la gafa no debe colocarse demasiado cerca del ojo para evitar que choque con las pestañas y para evitar una condensación en la lente (sudor). Además algunos ópticos pretenden evitar una desviación de la distancia al vértice con respecto a la distancia al vértice ajustada previamente en un foróptero utilizado para la medición de la refracción esferocilíndrica. Como una mayor distancia al vértice cambia el efecto óptico en la dirección de valores de dioptrías positivos, dado el caso, cuando existe hipermetropía, es decir, cuando son necesarias las denominadas lentes de aumento, puede preferirse una mayor distancia al vértice. Por tanto, puede emplearse ventajosamente una distancia al vértice teórica basada en el resultado de la medición de refracción. A este respecto, las directrices de adaptación se encuentran preferiblemente en forma de texto, por ejemplo como archivo .xml- o JSON, lo que facilita el procesamiento.

30 Las directrices de adaptación pueden estar cifradas, por ejemplo por medio de un sistema de cifrado asimétrico (véase el artículo de Wikipedia "Sistema de cifrado asimétrico", estado a 8 de junio de 2017 o "Procedimiento de criptografía de clave pública", estado a 8 de junio de 2017) y así estar protegidas con firma frente a un cambio no autorizado y mediante cifrado frente a un acceso de lectura por personas no autorizadas. A este respecto, un fabricante de monturas puede cifrar las directrices de adaptación específicas para la montura por medio de una clave pública del fabricante del sistema y adicionalmente firmarlas con ayuda de su propia clave y así hacer visible la procedencia e integridad de la directriz de adaptación para el fabricante del sistema. De otro modo, un segundo fabricante de monturas no podrá ver las directrices específicas para la montura de un primer fabricante.

40 Con "persona" se designa en el marco de la presente solicitud a aquella persona a cuya cabeza se adaptará finalmente la montura de gafas. "Usuario" designa a una persona que utiliza y realiza el dispositivo o el procedimiento para la adaptación de las gafas. Puede tratarse de la propia persona, aunque también puede ser otra, por ejemplo un óptico.

45 Preferiblemente el procedimiento comprende además una conversión del modelo de montura paramétrico y/o de las directrices de adaptación en un formato establecido. En particular el modelo de borde de montura paramétrico puede proporcionarlo un fabricante de monturas de gafas en diferentes formatos, por ejemplo en formatos propietarios de un respectivo programa CAD (*Computer Aided Design*) utilizado. Mediante la conversión y de manera uniforme puede producirse un procesamiento posterior, en particular la primera y la segunda operación de adaptación, para
 50 modelos de monturas o directrices de adaptación de diferentes fabricantes, que inicialmente existían en diferentes formatos.

En un ejemplo de realización preferido el modelo de montura paramétrico presenta varios parámetros. Entonces una primera parte de los parámetros se determina en la primera operación de adaptación, y una segunda parte restante de los parámetros se determina en la segunda operación de adaptación. De este modo, en particular en la segunda operación de adaptación de la adaptación anatómica tienen que determinarse menos parámetros libres restantes, lo que facilita encontrar un óptimo con el uso de los algoritmos de optimización convencionales.

60 Este tipo de parámetros pueden comprender en particular un ancho de la montura de gafas, un ancho de puente de la montura de gafas, el ángulo pantoscópico de la montura de gafas (véase la norma DIN EN ISO 8624:2015-12, página 12, párrafo 14) de la montura de gafas, una longitud de patilla de las patillas de gafas de la montura de gafas, una posición de los protectores nasales de la montura de gafas, dado el caso por separado para protectores nasales izquierdos y derechos, ángulos de inclinación verticales y/u horizontales de los protectores nasales, dado el caso por separado para protectores nasales izquierdos y derechos (indicando el término protectores nasales en este caso en modelos sin protectores nasales el apoyo nasal, es decir, la superficie de contacto con la nariz), un radio de una curva de base de la montura y/o un ángulo del plano de la montura. La curva de base o curva principal se define en
 65

5 la norma DIN EN ISO 13666:2013-10 para lentes de gafas, véase al respecto la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, página 58, 11.4. Para monturas de gafas no se indica explícitamente en la norma, véase al respecto sin embargo el dibujo en la norma DIN EN ISO 8624:2015-12, página 7, imagen 4 y página 9, párrafo 13. Con curva de base se hace referencia al radio de la flexión de la montura en la vista en planta desde arriba. Estos parámetros se definen en parte en las normas definidas al principio. Mediante estos parámetros pueden describirse bien las monturas de gafas.

10 En la primera operación de adaptación, para cumplir con las directrices de adaptación en particular puede ajustarse el ancho de la montura según una escala total, la inclinación y/o una forma del borde de montura, en caso de que se mantenga variable por el fabricante. Estos parámetros son relevantes en particular también para el efecto estético de la montura de gafas que se lleva en la cabeza, de modo que así puede conseguirse una impresión estética deseada por el fabricante de gafas. Entonces, en la segunda operación de adaptación pueden ajustarse otros de los parámetros mencionados anteriormente, por ejemplo ancho de puente y longitud de patilla.

15 Las directrices de adaptación específicas indican valores objetivo o intervalos objetivo (valor objetivo, valor mínimo, valor máximo) para distancias entre características de la montura de gafas y características en la cabeza. A este respecto, las características de la montura pueden contener características físicas de la montura como por ejemplo el borde de montura o partes del mismo (borde de montura superior, borde de montura inferior) o también características virtuales, por ejemplo un centro de caja de una caja según el sistema de cajas definido en la norma
20 DIN ESO 13666, representando la caja un rectángulo que rodea el borde de montura, en un plano de lente. El centro u otras características de esta caja también son características de la montura de gafas en el sentido indicado anteriormente.

25 De manera correspondiente también las características de la cabeza pueden ser características físicas como por ejemplo posición, orientación y dimensión de la nariz, posición, orientación y dimensión de las cejas, posición del mentón, posición media de la pupila de los ojos o también posición y dimensión de los ojos. Sin embargo, a partir de estas características físicas también pueden derivarse características auxiliares, por ejemplo relacionando varias de estas características mediante cálculos.

30 Entonces, mediante el uso de este tipo de características puede realizarse la primera operación de adaptación de manera sencilla y automatizada.

35 La primera operación de adaptación puede llevarse a cabo con ayuda de un árbol sintáctico, tal como se describe por ejemplo en el artículo de Wikipedia "Árbol sintáctico" estado a 18 de mayo de 2017. De este modo es posible una adaptación eficiente. Por árbol sintáctico se entiende de manera abstracta en general una representación en forma de árbol de una derivación, es decir, de una operación, de cómo por medio de una gramática formal se obtienen palabras (en el sentido de la informática tal como se explica en el artículo de Wikipedia anterior). En el caso concreto de la primera operación de adaptación, estas reglas proporcionan características auxiliares, valores objetivo o intervalos objetivo (y normas de cálculo para ello) para características o características auxiliares, una
40 buena adaptabilidad, que indica en qué medida se cumple con las directrices de adaptación específicas (por ejemplo como suma cuadrada ponderada de la desviación de valores objetivo o intervalos objetivo) o fórmulas de cálculo para parámetros de montura, que se adaptarán en la primera operación de adaptación.

45 A este respecto, en la primera operación de adaptación puede utilizarse una desviación de los valores objetivo o intervalos objetivo como término de penalización en la operación de adaptación, que deberá mantenerse lo menor posible, según el uso con los procedimientos de optimización convencionales. Término de penalización designa por tanto a un término que caracteriza una desviación de los valores objetivo o intervalos objetivo y que se mantendrá lo menor posible mediante un procedimiento de optimización, lo que entonces corresponde a una desviación reducida de los valores objetivo o intervalos objetivo.

50 Por lo demás, la desviación de los valores objetivo dentro de los intervalos objetivo puede considerarse una desviación cuadrática.

55 Este tipo de usos de términos de penalización y procedimientos de optimización se describen en el artículo de Wikipedia "Optimización", aquí en el capítulo "Métodos de la optimización no lineal local con limitaciones", estado a 18 de mayo de 2017.

60 El modelo de montura paramétrico y/o las directrices de adaptación específicas para el modelo de montura paramétrico también pueden encontrarse en forma cifrada para que este tipo de datos específicos del fabricante no sean accesibles para terceros. Para ello pueden emplearse las técnicas de cifrado convencionales, por ejemplo por medio de claves públicas y privadas. Por ejemplo, en el artículo de Wikipedia "Procedimiento de cifrado", estado a 18 de mayo de 2017 también se encuentra información al respecto.

65 La primera operación de adaptación puede producirse en particular como bucle de optimización basándose en las características y el árbol sintáctico. Un bucle de optimización de este tipo puede comprender una colocación virtual de la montura de gafas, una evaluación de términos en los árboles sintácticos de los valores objetivo y dado el caso

una función objetivo, que se calcula por medio de la desviación cuadrática mencionada anteriormente y dado el caso el término de penalización. Por medio de un bucle de optimización de este tipo puede producirse una operación de adaptación general para casi cualquier descripción de las directrices de adaptación. Dicho de otro modo, con un planteamiento de este tipo pueden cubrirse una pluralidad de diferentes directrices de adaptación.

5 A este respecto, en la colocación virtual puede considerarse en particular un peso de lentes de gafas. El peso de las lentes de gafas puede influir por ejemplo en que se claven las gafas o los protectores nasales en la piel o resbalen las gafas sobre el puente de la nariz, véase J. Eber, "Anatomische Brillenanpassung", Verlag Optische Fachveröffentlichung GmbH, página 24 y ss. Considerando el peso de las lentes de gafas puede considerarse un efecto de este tipo para cumplir con las directrices de adaptación también cuando se claven o resbalen de este modo.

15 La segunda operación de adaptación puede realizarse de una manera en sí conocida, por ejemplo como se describe en el estado de la técnica explicado al principio con respecto a los documentos US 2013/0088490 A1 o US 2015/0293382 A1. En particular, en este caso, pueden calcularse zonas de choque, como se describe en el documento US 2016/0327811 A1 comentado al principio. También pueden emplearse procedimientos como se describe en la solicitud de patente europea 17 173 929.5.

20 El procedimiento puede comprender además un cálculo de una medida de calidad para la adaptación virtual, es decir, el resultado de la primera y/o segunda operación de adaptación. A este respecto, la medida de calidad indica en qué medida se cumplen las directrices de adaptación específicas y/o los requisitos para la adaptación anatómica. Puede calcularse por ejemplo basándose en valores de distancia de la montura de gafas adaptada con respecto a zonas de la cabeza de la persona, dado el caso de manera ponderada. Por medio de la medida de calidad puede indicarse a la persona y/o al usuario cómo de buena es la adaptación de la montura de gafas. Así, por ejemplo mediante comparación de la medida de calidad con un valor umbral puede reconocerse que la adaptación no es lo suficientemente buena para garantizar un ajuste cómodo de la montura de gafas.

30 El procedimiento descrito anteriormente puede realizarse por medio de un dispositivo para la adaptación virtual de gafas, que presenta uno o varios procesadores y un dispositivo de visualización, ejecutándose en el procesador o los procesadores un programa informático correspondiente con un código de programa para la realización del procedimiento. El programa informático puede estar almacenado en una memoria del dispositivo o también ponerse a disposición a través de una nube. A este respecto, cabe indicar que el dispositivo también puede implementarse por medio de un sistema distribuido, que presenta diferentes componentes separados espacialmente. Por ejemplo, para ello, una parte de las operaciones de adaptación y cálculos pueden realizarse en un ordenador de potencia comparable, por ejemplo un servidor externo, mientras que la interacción con un usuario se produce en un ordenador local.

40 A continuación se explicará la invención en más detalle mediante ejemplos de realización preferidos haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Muestran:

- la figura 1, un dispositivo para la adaptación virtual de gafas según un ejemplo de realización,
- la figura 2, un ejemplo para una implementación de una unidad de cámara de la figura 1,
- 45 la figura 3, un diagrama de flujo, que proporciona una visión global de un procedimiento para la adaptación de gafas según un ejemplo de realización,
- la figura 4, un diagrama de flujo de un procedimiento según un ejemplo de realización, que puede emplearse en el procedimiento de la figura 3,
- 50 la figura 5, un diagrama de flujo de un procedimiento según un ejemplo de realización, que puede emplearse en el marco del procedimiento de la figura 3,
- la figura 6, una vista para ilustrar características de una cabeza, a las que puede hacerse referencia en las directrices de adaptación,
- 55 la figura 7, una implementación detallada de la etapa de procedimiento 40 de la figura 4 o de la etapa 54 de la figura 5,
- 60 la figura 8, un diagrama para explicar características auxiliares,
- la figura 9, vistas esquemáticas de una cabeza para ilustrar una adaptación,
- la figura 10, vistas esquemáticas adicionales de una cabeza para ilustrar una adaptación basándose en directrices de adaptación,
- 65

la figura 11, un diagrama de flujo de un procedimiento según un ejemplo de realización, que puede emplearse en el marco del procedimiento de la figura 3,

la figura 12, un diagrama de flujo de una implementación detallada del procedimiento de la figura 11,

las figuras 13A - 13D y 14, representaciones para ilustrar modelos de cabeza,

la figura 15, un diagrama para ilustrar una etapa parcial de una adaptación de unas gafas en el procedimiento de la figura 12 y

la figura 16, una vista de un modelo de montura para ilustrar un ancho de puente.

La figura 1 muestra un ejemplo de realización de un dispositivo para la adaptación virtual de gafas según un ejemplo de realización. El dispositivo de la figura 1 comprende una unidad informática 11, que presenta un procesador 12 así como una memoria 13. La memoria 13 sirve para almacenar datos y en el ejemplo de realización de la figura 1 comprende una memoria con acceso aleatorio (*Random Access Memory*, RAM), una memoria de sólo lectura (*Read Only Memory*, ROM) así como uno o varios medios de almacenamiento masivo (disco duro, disco de estado sólido, unidad óptica etc.). En la memoria 13 está almacenado un programa, por medio del cual cuando se ejecuta en el procesador 12, se realiza un procedimiento como ya se describió anteriormente o como todavía se explicará en más detalle más abajo para una adaptación virtual de gafas.

El dispositivo de la figura 1 dispone además de un dispositivo de visualización 16, en el que se visualiza la cabeza de una persona junto con una montura de gafas cuando se ejecuta el programa informático en el procesador 12. A través de uno o varios aparatos de entrada 17, por ejemplo teclado y ratón, pueden llevarse a cabo entradas de usuario. Adicional o alternativamente el dispositivo de visualización 16 puede ser una pantalla táctil (*Touchscreen*) para poder llevar a cabo entradas.

El dispositivo de la figura 1 comprende además una interfaz 14 a una red 18, a través de la que pueden recibirse datos. En particular, en este caso, pueden recibirse modelos de montura paramétricos de monturas de gafas y directrices de adaptación asociadas de fabricantes de gafas. En algunos ejemplos de realización, a través de la interfaz 14 también se envían datos a una unidad informática adicional para aquí, por ejemplo, realizar una parte del cálculo necesario para la adaptación de gafas. Para diseñar un modelo 3D de la cabeza de una persona, a la que se adaptarán las gafas, el dispositivo de la figura 1 comprende opcionalmente una unidad de cámara 15, a través de la cual pueden tomarse varias imágenes de la persona desde diferentes direcciones y puede determinarse el modelo 3D. Por ejemplo, en H. Hirschmüller "Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information" en *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 30, n.º 2, págs. 328-341, febrero de 2008. doi: 10.1109/TPAMI.2007.1166) se encuentra información con respecto a una determinación de este tipo de modelos 3D basándose en imágenes.

La figura 2 muestra una forma de realización para la unidad de cámara 15 de la figura 1. En el ejemplo de realización de la figura 2 una disposición semicircular 110 de cámaras está fijada a una columna 19. Entonces una persona puede colocarse de tal modo que la cabeza 111 de la persona como se muestra en la figura 2 se posicione en la disposición semicircular 110 y puedan tomarse imágenes desde diferentes direcciones. Entonces, a partir de aquí puede obtenerse un modelo 3D de la cabeza 111. A partir de las imágenes también se obtiene una textura, es decir, información con respecto a los colores (como se explicó anteriormente) del modelo. Un dispositivo de este tipo puede utilizarse además para mediciones de centrado, tal como se describe en la solicitud de patente europea 17 153 556.0.

La figura 3 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento completo para la adaptación virtual de gafas según un ejemplo de realización. La presente solicitud se refiere en particular a etapas parciales de este procedimiento.

El procedimiento comienza en la etapa 30. En la etapa 31 se carga un modelo 3D de la cabeza incluyendo metadatos de modelo de cabeza desde una memoria. El modelo 3D puede diseñarse como se explicó anteriormente haciendo referencia a las figuras 1 y 2 con ayuda de imágenes o puede ser un modelo 3D ya existente, por ejemplo de una adaptación de gafas anterior para una determinada persona.

Los metadatos de modelo de cabeza son datos que contienen información sobre características del modelo 3D, aunque no el modelo en sí mismo. En particular, los metadatos pueden proporcionar información adicional con respecto al modelo 3D de la cabeza y/o contener determinados puntos, curvas o zonas sobre el modelo 3D de la cabeza. En la solicitud de patente europea 17 173 929.5 también se encuentran más detalles sobre el uso de este tipo de metadatos.

En la etapa 32 se selecciona un modelo de base de una montura de gafas, que se describe mediante un modelo de montura paramétrico. El modelo de montura paramétrico presenta parámetros libres, es decir, a determinar. Ejemplos de este tipo de parámetros libres ya se han indicado más arriba en la descripción del modelo de montura

paramétrico, concretamente el ancho de puente o longitud de patilla de la montura de gafas, o también una forma de un borde de montura de la montura de gafas.

5 Entonces en la etapa 312 se calculan al menos algunos de los parámetros basándose en una directriz de adaptación asociada al modelo de montura, como se describió anteriormente y como se explicará en más detalle más abajo. Se determinan otros parámetros basándose en una adaptación anatómica, como también se ha explicado ya.

10 Entonces en las etapas 33 a 310 se produce una colocación virtual de las gafas con una adaptación anatómica avanzada. Para ello, en la etapa 33 se produce un posicionamiento aproximado mediante un punto de colocación y un apoyo para el puente de la nariz, tal como ya se ha descrito en la solicitud de patente europea 17 173 929.5. En las etapas 34 y 35 se produce una apertura de las patillas de gafas hacia las orejas de la cabeza y un posicionamiento de las patillas, pudiendo producirse una rotación sobre un eje x de las gafas. A este respecto, el eje x corresponde a una dirección, que une los ojos de la cabeza, la dirección z corresponde esencialmente a la dirección de las patillas y la dirección y es perpendicular a la misma. En la etapa 36 se produce una optimización de las superficies de contacto de las gafas por medio de un posicionamiento fino en el plano xy. Además, en este caso, en la etapa 312 pueden adaptarse adicionalmente parámetros todavía no determinados. A este respecto, las etapas 34-36 corresponden a las etapas correspondientes descritas en la solicitud de patente europea 17 173 929.5. En esta adaptación, en particular es posible deformar y posicionar el modelo de gafas paramétrico, después de haber determinado los parámetros en la etapa 312.

20 Entonces en la etapa 37 se produce una reproducción de la montura y de la cabeza, es decir, una representación correspondiente en el dispositivo de visualización 16 de la figura 1. También esta reproducción se describe en la solicitud de patente europea 17 173 929.5. A este respecto, por reproducción, también denominada *rendering* o síntesis de imágenes, se entiende la obtención de una imagen (por ejemplo para su visualización en la pantalla de un ordenador) basándose en datos sin procesar, en este caso a partir de los respectivos modelos.

25 Entonces sigue una interacción del usuario con el modelo en la etapa 38, que como se representa en la etapa 39 puede tener diferentes consecuencias. Así, simplemente puede producirse una navegación, por ejemplo para observar la cabeza desde otra dirección. En este caso se produce una nueva reproducción en la etapa 37.

30 Mediante la interacción en la etapa 39 también puede adaptarse manualmente la rotación de la montura sobre el eje x. En este caso el procedimiento vuelve a la etapa 35, para por ejemplo determinar las patillas de manera correspondiente a la posición nueva de la montura.

35 Además, mediante la interacción del usuario con el modelo también puede adaptarse la posición de la montura de gafas sobre el puente de la nariz del modelo de cabeza por un usuario del dispositivo. Esto cambia esencialmente la posición determinada en la etapa 33 de la montura de gafas. Por tanto, en este caso el procedimiento vuelve a la etapa 33.

40 Estos tipos de interacción descritos hasta ahora, en particular la navegación por ejemplo para cambiar el ángulo de observación, adaptación de la rotación y adaptación de la posición de las gafas dispuestas sobre el puente de la nariz, también se explican en detalle en la solicitud de patente europea 17 173 929.5.

45 Además, en la interacción también puede determinarse uno de los parámetros de montura del modelo de montura paramétrico por el usuario. Por ejemplo, en este caso, el usuario puede cambiar la determinación de parámetros realizada por el cálculo automático en la etapa 312. En este caso, en la etapa 310 esto reduce el número de parámetros de montura libres, y el procedimiento continúa en la etapa 36. Cuando tras la interacción el usuario finalmente está satisfecho con la adaptación, en la etapa 311 termina el procedimiento. A este respecto, todavía puede tener lugar un control final. En el control final el usuario (por ejemplo un óptico) comprueba los datos del pedido. A este respecto, en una pantalla de resumen se le muestran los datos del pedido así como representaciones gráficas correspondientes. Las representaciones muestran los parámetros de la montura de gafas y/o de la cabeza como ancho de puente y ángulo del flanco de la nariz, etc. determinados en el marco del procedimiento y también los parámetros de la montura pedida, dado el caso también indicaciones relativas a desviaciones con respecto a una forma ideal, que por ejemplo establecen las directrices de adaptación. La determinación de este tipo de parámetros se explicará más adelante. Entonces pueden transferirse los parámetros determinados a un sistema de pedidos del respectivo fabricante para pedir una montura de gafas real con los parámetros correspondientes.

60 A continuación se explicarán en más detalle aspectos individuales del procedimiento de la figura 3 haciendo referencia a las figuras 4-15.

La figura 4 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento según un ejemplo de realización. La figura 4 muestra una división de la adaptación de gafas en una adaptación basándose en directrices de adaptación asociadas a un respectivo modelo de montura paramétrico seguido de una adaptación a una anatomía de la cabeza.

65 En el procedimiento de la figura 4, en la etapa 40 se produce una adaptación del modelo de montura paramétrico, a un modelo 3D de la cabeza de la persona basándose en directrices de adaptación, establecidas por el fabricante de

monturas de gafas de la respectiva montura de gafas específicamente para la montura de gafas. Estas directrices de adaptación pueden hacer referencia a especificaciones estéticas, como también se explicará en más detalle más abajo. Más abajo se explicarán en más detalle ejemplos de implementación para esta etapa. La etapa 40 puede realizarse por ejemplo en el marco de la etapa 312 de la figura 3.

5 Mediante la adaptación en la etapa 40 puede determinarse una primera parte de parámetros del modelo de montura paramétrico.

10 Entonces en la etapa 41 se lleva a cabo una adaptación general a la anatomía de la cabeza de la persona, es decir, la adaptación en la etapa 41 se produce independientemente de las directrices de adaptación específicas. Esta adaptación puede producirse como se describe en el estado de la técnica citado al principio, y también puede producirse en la etapa 312 o dado el caso también en la adaptación en las etapas 34 y 35. Entonces la adaptación anatómica de las gafas también puede ocurrir directamente basándose en los metadatos del modelo de cabeza, o también como se explica en Johannes Eber, "Anatomische Brillenanpassung", Verlag Optische Fachveröffentlichung GmbH, 1987, página 23 y ss. La figura 5 muestra un diagrama de flujo detallado de una implementación del procedimiento de la figura 4.

20 En las etapas 50-53 de la figura 5 se proporcionan los datos de entrada para el procedimiento. En la etapa 51 un fabricante de monturas crea un modelo de montura paramétrico para una montura de gafas. A este respecto, el modelo de montura paramétrico de la etapa 51 puede pasarse a un formato normalizado uniforme que se utiliza en el procedimiento según la invención cuando el fabricante de gafas proporciona los datos en un formato CAD (*Computer Aided Design*) propietario.

25 Además puede producirse una reducción de datos (por ejemplo una reducción del número de triángulos o véxeles en el modelo 3D) o una compresión de datos con ayuda de los procedimientos de compresión convencionales.

30 En la etapa 50, el fabricante de monturas establece directrices de adaptación específicas para este modelo de montura paramétrico que, como se ha explicado, puede considerar aspectos estéticos en la adaptación de la montura.

35 En las etapas 52 y 53 se crea y analiza un modelo 3D de la cabeza de la persona. A este respecto, en la etapa 52 en primer lugar se crea el modelo con un sistema de medición 3D, en particular con la unidad de cámara mostrada en la figura 2. También pueden utilizarse otros sistemas de medición, como escáner de cabeza 3D. Ejemplos de escáner de cabeza de este tipo se encuentran en <http://cyberware.com/products/scanners/ps.html> o http://www.3d-shape.com/produkte/face_d.php, estado a 8 de junio de 2017 en cada caso. Entonces en la etapa 53 se identifican puntos o zonas como características en este modelo de cabeza, por ejemplo puntos y características, como se utilizan también en el estado de la técnica explicado al principio.

40 Entonces en la etapa 54 se produce la adaptación de la montura según las directrices de adaptación específicas, según la etapa 40 de la figura 4. Como valor inicial para la adaptación en la etapa 54 también puede determinarse una posición y orientación teórica de la montura de gafas. De posición teórica y orientación teórica, que pueden servir de valor inicial para la adaptación, puede servir una posición por medio de metadatos como en la solicitud de patente europea 17 173 929.5 con parámetros estándar establecidos para el modelo de montura paramétrico. Alternativamente en algunos casos la posición teórica puede calcularse a partir de las directrices de adaptación específicas. Las directrices de adaptación específicas definen por ejemplo la posición preferida del borde de montura con respecto a los centros de las pupilas en el plano xz; la distancia al vértice teórica (por ejemplo 12 mm) define la posición en la dirección del eje y. También la inclinación anterior como parte de la orientación de la montura en el espacio, es decir, el ángulo sobre el eje x, puede ponerse en un valor teórico por ejemplo de 9 grados. Esto también puede formar parte de las directrices de adaptación específicas.

50 Entonces en la etapa 55 se produce una adaptación de la montura a las características anatómicas de la cabeza. En este sentido, los parámetros, que todavía no se han adaptado en la etapa 54, es decir, los parámetros todavía libres, se adaptan adicionalmente.

55 En la etapa 56 se produce una colocación y reproducción virtual, y en la etapa 57 una adaptación manual. A este respecto, la colocación virtual y la adaptación manual se producen como ya se describió haciendo referencia a la figura 3, números de referencia 33 a 310.

60 En la etapa 58 se produce una transferencia a un sistema de pedidos del fabricante de monturas, según la etapa 311 de la figura 3.

Ahora se explicarán en más detalle el uso de directrices de adaptación específicas para la montura y la adaptación correspondiente todavía con referencia a las figuras 6-10.

65 La figura 6 muestra diferentes rasgos faciales, que son adecuados como características y puntos en la cara para este tipo de directrices de adaptación específicas. Dicho de otro modo, en las directrices de adaptación en un

ejemplo de realización de este tipo se da una posición objetivo o una zona objetivo de características de la montura de gafas con respecto a este tipo de puntos de la cara. Este tipo de rasgos faciales también se explican en Johannes Eber, "Anatomische Brillenanpassung", Verlag Optische Fachveröffentlichung GmbH, 1987, página 17 y ss. Ejemplos son:

- 5 1. Posición de los ojos, en particular los centros de las pupilas (punto de cruce de la línea L2 con las líneas LB en la figura 6). La línea L2 designa además el eje pupilar.
- 10 2. Medidas de la caja de los ojos, es decir, medidas de un rectángulo que se coloca alrededor de los ojos - posición de cada rectángulo, ancho y altura de los rectángulos.
- 15 3. Posición de la nariz según las líneas LA y L3 en la figura 6.
4. Ancho de la cara y posición de las sienes según las líneas LD de la figura 6.
5. Altura de la cara entre las líneas L1 y L5 de la figura 6 así como la línea del mentón (línea L5) de la figura 6.
6. El radio de curvatura de la zona del mentón, es decir, de la parte del mentón que toca la línea L5.
- 20 7. Posición de las cejas, representando la línea L1 de la figura 6 un eje central de las cejas y representando las líneas LC una limitación exterior de las cejas.
8. Posición de la boca según la línea L4 de la figura 6.

25 Las características anteriores pueden identificarse mediante un planteamiento como se describirá más abajo por medio de un modelo de cabeza parametrizado o también mediante procedimientos de análisis de imágenes (reconocimiento de imágenes) y/o mediante aprendizaje a máquina en imágenes tomadas mediante la unidad de cámara de la figura 2 y así determinarse su posición en el modelo 3D de la cabeza. En V. Kazemi, J. Sullivan, "One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees." Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014 también se describe una posibilidad para el reconocimiento automático de este tipo de características.

35 En la siguiente descripción se entenderán indicaciones como ojo izquierdo, ojo derecho, mitad izquierda de la cara o mitad derecha de la cara desde el punto de vista de la persona a la que se adaptarán las gafas.

La figura 7 muestra un procedimiento detallado para la adaptación de la montura de gafas basándose en las directrices de adaptación, es decir, un ejemplo detallado para la etapa 40 de la figura 4 o la etapa 54 de la figura 5, junto con el suministro de los datos.

40 En la etapa 70 en la figura 7 se proporcionan directrices de adaptación para un modelo de montura paramétrico, que en la etapa 73 se importan a una unidad informática, para poder utilizarlas en el procedimiento representado. A este respecto, las directrices de adaptación están almacenadas por ejemplo como archivo de texto como un archivo xml o archivo JSON.

45 En la etapa 71 se proporciona un modelo de montura paramétrico al que se asocian las directrices de adaptación en la etapa 70. Al modelo de montura paramétrico pueden estar asociados metadatos, que por ejemplo designan determinadas zonas o puntos del modelo de montura. Este tipo de metadatos de un modelo de montura también se describen en la solicitud de patente europea 17 173 929.5. Este modelo de montura paramétrico se importa en la etapa 74. En la etapa 77 se proporcionan los parámetros del modelo de montura paramétrico obtenidos de la importación en la etapa 74 y sus intervalos de valores para una optimización posterior. Finalmente, en la etapa 72 se proporciona un modelo 3D de la cabeza de una persona, a la que se adaptará una montura de gafas, con metadatos correspondientes, que se importa en la etapa 75.

55 En la etapa 76 se produce un análisis sintáctico de las directrices de adaptación. Por análisis sintáctico se entiende una descomposición y conversión de datos de entrada en un formato más adecuado para su procesamiento adicional. Un analizador sintáctico es una unidad correspondiente (habitualmente implementada mediante un programa informático), que realiza un análisis sintáctico de este tipo. En el artículo de Wikipedia "Analizador sintáctico", estado a 19 de mayo de 2017 se encuentran detalles más concretos al respecto.

60 En este caso, las directrices de adaptación se convierten en particular en un formato adecuado para el proceso de optimización siguiente. A este respecto, las directrices de adaptación pueden contener, como se ha explicado, magnitudes objetivo y/o intervalos permitidos, en particular para distancias entre características de la montura de gafas y características en la cabeza, por ejemplo una distancia entre el borde de montura superior y las cejas, una distancia entre el borde de montura superior de la montura con respecto a un canto superior de los ojos, una distancia del borde de montura inferior con respecto a un canto inferior de los ojos o una posición relativa de la pupila con respecto a los bordes de montura. Además también pueden utilizarse distancias con respecto a

características derivadas calculadas, es decir, puntos o zonas, derivados a partir de varias características de la cabeza y/o de la montura. Este tipo de características derivadas también se denominan características auxiliares.

Un ejemplo de una característica auxiliar de este tipo se representa en la figura 8. La figura 8 muestra una cabeza 80 con una montura de gafas 81. Con 80 se indica un círculo imaginario con un radio que es la mitad del ancho de la cara y un centro en el canto inferior de la nariz. yUN designa en la figura 8 el canto inferior de la nariz, yUK un canto inferior del mentón e yJOD un canto inferior de los ojos. yG designa el ancho de la cara, es decir, la distancia de las líneas D de la figura 6. Un ejemplo de una característica auxiliar derivada yH, que se define con ayuda de un término en las directrices de adaptación 70, que se registra en el análisis sintáctico en la etapa 76, es

$$yH = (yUK - (yUN - 0.5 \cdot xG)) / 0.5 \cdot xG$$

Este valor yH representa una desviación de un canto inferior calculado del mentón de una cara ideal con respecto a un canto inferior real del mentón como relación con la mitad del ancho de la cara y es una medida para la longitud vertical de la cara por debajo de la nariz. Una característica auxiliar de este tipo puede utilizarse para determinar las proporciones de los bordes de montura inferiores de la montura de gafas. De este modo puede considerarse que también la longitud de la cara en la dirección vertical puede influir en la impresión estética, que produce la montura de gafas, y así que las directrices de adaptación específicas pueden establecer una relación del tamaño y/o la forma de la montura de gafas con respecto al parámetro yH.

Otro ejemplo para una directriz de adaptación es una posición de la pupila dentro de una caja que circunscribe la montura. Esto se representa en la figura 10D. La figura 10D muestra la montura de gafas 81 con una caja 102 que circunscribe la montura, en este caso para el ojo derecho.

La altura de visión de la pupila (altura de la pupila por encima del borde inferior de la montura) se designa con y, la posición horizontal de la pupila con x. El ancho de la caja 102 asciende a Δa y la altura de la caja a Δb . Entonces la directriz de adaptación puede prever por ejemplo que la pupila debe encontrarse en la dirección horizontal entre el centro de la caja y la sección áurea nasal, es decir, $\Delta a \cdot 3,82 < x < \Delta a \cdot 0,5$. A este respecto, sección áurea significa que la relación de x a $\Delta a - x$ es igual a la relación de $\Delta a - x$ a Δa , que es el caso para $x = \Delta a \cdot 3,82$. En general, las posiciones de los ojos, que están más cerca del lado interno del borde de montura que esta sección áurea, se consideran poco estéticas.

Una directriz similar puede determinar la posición de los ojos en la dirección vertical, concretamente que la pupila se encuentre en la dirección vertical precisamente entre el centro de la caja de la caja 102 y el valor para la sección áurea por encima del centro, es decir $\Delta b \cdot 0,5 < y < \Delta b \cdot 0,618$.

Las directrices de adaptación también pueden proporcionarse directamente como fórmula de cálculo, siendo entonces las variables de la fórmula de cálculo las características descritas anteriormente. Dicho de otro modo, los parámetros de montura en la directriz de adaptación específica pueden indicarse directamente como término, o pueden determinarse iterativamente mediante un bucle de optimización. En el último caso se optimiza una buena adaptabilidad que se define con ayuda de los términos; los términos determinan objetivos; sin embargo, en general, estos objetivos no se alcanzan; por tanto, por ejemplo una expresión de tipo "magnitud objetivo=término" sólo contribuiría en el sentido de una optimización, por ejemplo en el sentido del método de los mínimos cuadrados, a la buena adaptabilidad, pero no se cumpliría directamente.

El análisis sintáctico en la etapa 76 se produce en particular para las características auxiliares indicadas, para magnitudes objetivo y normas de cálculo para ello y opcionalmente para un valor cualitativo como magnitud escalar, que por ejemplo se encuentra en forma de suma cuadrada ponderada de la desviación de las magnitudes objetivo y dado el caso puede presentar un término de penalización adicional, como ya se describió más arriba.

Entonces en la etapa 79 se crea una lista de árboles sintácticos para los términos de la etapa 76.

De manera correspondiente en la etapa 78 para el modelo de cabeza se determina la posición, orientación y dimensión para valores como posición del centro de la pupila, posición y dimensión del ojo (por ejemplo de un rectángulo que describe el ojo), posición, orientación y dimensión de la nariz, posición, orientación y posición de las cejas y/o posición del mentón.

En la etapa 710 se evalúan los términos del árbol para características auxiliares, es decir, se determinan las características auxiliares que existen, y en la etapa 711 se determinan valores para estas características auxiliares, por ejemplo para el valor yH explicado anteriormente. Entonces en la etapa 712 se produce una etapa de optimización. En este caso se varían los parámetros de montura del modelo de montura paramétrico y se evalúan los términos, hasta que en la etapa 713 se alcanzan las magnitudes objetivo. A partir de aquí, en 714 se obtiene un conjunto de parámetros para una parte de los parámetros de montura, que se han adaptado basándose en las directrices de adaptación. Estos parámetros son, en particular, parámetros que tienen un efecto estético, por ejemplo ajuste a escala de la montura de gafas, inclinación anterior de la montura de gafas y/o una forma del borde de

montura en el caso de un borde de montura variable. Otros parámetros como por ejemplo ángulo de protectores nasales o una longitud de patillas de gafas o un ancho de puente se dejan inicialmente en valores estándar establecidos por el fabricante. Entonces éstos se adaptan en la adaptación anatómica (por ejemplo la etapa 41 de la figura 4).

5 El bucle de optimización también puede comprender una colocación virtual por ejemplo como se describe en la solicitud de patente europea 17 173 929.5. Mediante las etapas anteriores incluyendo la adaptación de los parámetros del modelo de montura paramétrico se garantiza una convergencia de la optimización para una adaptación óptima de las gafas. Con la colocación virtual se obtienen como resultado, por un lado, los parámetros del movimiento matemático (6 grados de libertad, véase el artículo de Wikipedia “Movimiento (matemáticas)”, estado a 22 de mayo de 2017), que pueden representarse por ejemplo como matriz de rotación y vector de traslación, y por otro lado los parámetros de la flexión de la montura. Esto último es por regla general un único parámetro para el ángulo, que recorre el punto de apoyo en las orejas en la flexión. Esto corresponde a la colocación virtual tal como se describe en la solicitud de patente europea 17 173 929.5. El resultado de la colocación virtual aquí descrita son la rotación y traslación de la montura y los parámetros de la deformación de las patillas.

Tras la colocación, todas las características específicas para la montura están disponibles en el sistema de coordenadas de la cabeza. Para ello se aplica el movimiento matemático a las características. Por ejemplo se calcula la posición y orientación del protector nasal derecho e izquierdo de la montura individualizada, es decir, de la montura según el modelo de montura paramétrico con los parámetros adaptados. En el caso ideal esta posición y orientación debería coincidir con la posición calculada anteriormente en la etapa de la adaptación de los parámetros específicos para la montura, en la que se hizo coincidir la característica correspondiente del flanco de la nariz con la característica en la montura, como se explicará más adelante de manera más concreta. Sin embargo, puede ocurrir que el proceso de la colocación virtual, debido a limitaciones de la individualización en la zona de la nariz, no dé lugar al mismo resultado en la determinación de la posición de la montura como con la operación de adaptación. Esto puede deberse por ejemplo a asimetrías de la nariz real en relación con un apoyo de la nariz simétrico de la montura. Sin embargo, por regla general las posiciones sólo deberían diferenciarse muy poco. Con pequeñas diferencias (por ejemplo distancia de los centros del protector nasal menor de 1 mm) esto puede ignorarse. Con diferencias más grandes, la nueva posición tras la colocación virtual puede desencadenar una nueva operación de adaptación de los parámetros a determinar basándose en las directrices de adaptación específicas para la montura. También es posible una retroalimentación en forma de indicación para el usuario con respecto a una posible incompatibilidad del modelo de montura.

Las figuras 10A a 10C ilustran este posicionamiento del ojo dentro de la caja 102 para diferentes distancias pupilares PD_1 (figura 10A), PD_2 (figura 10B) y PD_3 (figura 10C) en la cabeza 80, siendo PD_1 una distancia pupilar relativamente pequeña, PD_2 una distancia pupilar media y PD_3 una distancia pupilar relativamente grande. Para la adaptación estética, en el caso de la figura 10A se engrosa un borde externo de la forma de montura 100 y se forma con espigas dominantes para, por ejemplo, satisfacer la condición de la sección áurea. Las espigas son la parte externa de la parte central de la montura de gafas, la parte interna se denomina puente. En este caso, por tanto, el parámetro cambiado es la forma de la montura. En el caso de la figura 10C se elige una zona dominante o un puente dominante dado el caso en relación con un ancho de puente mayor, para obtener una impresión estética deseada.

La figura 9 muestra ejemplos de la adaptación de los parámetros basándose en directrices de adaptación para la obtención de un efecto estético deseado. Las figuras 9A a 9C muestran a este respecto un efecto de un ajuste a escala de la montura de gafas 81. En la figura 9A a la persona se le coloca virtualmente una montura muy pequeña, que desde el punto de vista estético y de la moda es demasiado pequeña. En la figura 9C la montura es demasiado grande. En la figura 9B la montura presenta un tamaño medio. Para garantizar un tamaño de gafas estéticamente adecuado, las directrices de adaptación pueden establecer en este caso distancias del borde de montura con respecto al borde de la cara y/o las cejas.

Las figuras 9D a 9F muestran la influencia del ancho de puente. En el ejemplo de realización descrito en este caso, el ancho de puente se ajusta con la adaptación anatómica para garantizar un ajuste anatómicamente correcto de la montura de gafas en la nariz, lo que se explicará en más detalle más abajo. Sin embargo, también puede cambiar la impresión estética, algo que puede considerarse adicionalmente en la adaptación anatómica. En la figura 9D se ha seleccionado un ancho de puente b_1 pequeño. En este caso la montura se dispone muy arriba porque choca con el puente de la nariz. En la figura 9E se ha aumentado algo el ancho de puente hasta un ancho de puente b_2 . De este modo la montura de gafas está algo más abajo y es más armónica. En el caso de la figura 9F el ancho de puente se ha reducido adicionalmente hasta un valor b_3 . En este caso, en la adaptación anatómica puede tenerse en cuenta que las pupilas se encuentran dentro de una zona establecida con respecto a los bordes de montura, por ejemplo basándose en la sección áurea.

De este modo, con ayuda de las directrices de adaptación y mediante la división en una adaptación basándose en las directrices de adaptación seguido de una adaptación a la anatomía de la cabeza puede garantizarse el cumplimiento de las especificaciones de un fabricante de gafas, en particular de naturaleza estética.

En el procedimiento mencionado anteriormente y también en otros procedimientos para la adaptación de gafas, por ejemplo el procedimiento descrito en la solicitud de patente europea 17 173 929.5 o en algunos de los procedimientos explicados al principio como estado de la técnica, es necesaria la posición de determinados puntos en el modelo 3D de la cabeza y/o son necesarios metadatos que caracterizan determinadas zonas para la adaptación de gafas como un punto de apoyo o una zona de apoyo de las orejas. Una posibilidad es determinar este tipo de puntos o zonas manualmente o por medio de procedimientos de reconocimiento de patrones. Ahora se explicará otra posibilidad haciendo referencia a las figuras 11-15.

La figura 11 muestra un procedimiento para la determinación de puntos de medición en el modelo 3D de la cabeza de la persona según un ejemplo de realización. A este respecto, se entenderá por puntos de medición puntos que pueden utilizarse para los procedimientos descritos anteriormente, como por ejemplo puntos, que describen rasgos faciales como orejas, ojos, cejas y similares.

En la etapa 110 se proporciona un modelo de cabeza paramétrico con puntos de medición. A este respecto, un modelo de cabeza paramétrico es un modelo paramétrico que describe una cabeza. Cambiando los parámetros del modelo paramétrico cambia la forma de cabeza descrita por el modelo de cabeza. El término modelo de cabeza paramétrico, como se utiliza en este caso, también incluye modelos que sólo describen una parte de la cabeza, por ejemplo sólo las partes necesarias para una adaptación de gafas (en particular la parte de los ojos, nariz y orejas). Más abajo se explicará un ejemplo de un modelo de cabeza paramétrico haciendo referencia a las figuras 13A y 13C. En este modelo de cabeza paramétrico se determinan puntos de medición, por ejemplo mediante elección manual. Ejemplos de este tipo de puntos de medición también se explicarán más abajo haciendo referencia a las figuras 13A y 13C.

Entonces en la etapa 111 se adapta el modelo de cabeza paramétrico al modelo 3D de la cabeza de la persona. Para ello puede utilizarse cualquier procedimiento de optimización convencional que adapte los parámetros del modelo de cabeza paramétrico de tal modo que exista una desviación lo más reducida posible entre el modelo de cabeza paramétrico y el modelo 3D de la cabeza de la persona (por ejemplo por medio del procedimiento de los mínimos cuadrados o los procedimientos del artículo citado anteriormente de J. Booth *et al.*) Entonces en la etapa 112 se transfieren los puntos de medición basándose en la adaptación al modelo 3D de la cabeza de la persona. Dicho de otro modo se utiliza la posición de los puntos de medición en el modelo de cabeza paramétrico adaptado para determinar los puntos de medición correspondientes en el modelo 3D de la cabeza. Esto puede producirse mediante una proyección del modelo de cabeza paramétrico en el modelo 3D de la cabeza, por ejemplo utilizando una intersección de un vector normal, es decir, de un vector perpendicular en el punto de medición en el modelo de cabeza paramétrico, con el modelo 3D de la cabeza. En modelos exactos también puede utilizarse directamente la posición del punto de medición en el modelo de cabeza paramétrico como posición en el modelo 3D de la cabeza.

De este modo pueden determinarse puntos de medición para esencialmente cualquier modelo 3D de cualquier cabeza, debiendo determinarse los puntos de medición sólo una vez en el modelo de cabeza paramétrico.

La figura 12 muestra un procedimiento detallado, que utiliza un modelo de cabeza paramétrico para la determinación de puntos de medición en un modelo 3D de la cabeza de una persona, incluido en un procedimiento para la adaptación virtual de gafas. En lugar del procedimiento para la adaptación virtual de gafas de la figura 12 también pueden servir los procedimientos explicados anteriormente haciendo referencia a las figuras 1-10 como posibilidad de aplicación para el procedimiento de la figura 11.

En la figura 12, en la etapa 120 se proporciona un modelo de montura paramétrico con parámetros libres. En el ejemplo de realización de la figura 12, los parámetros libres sirven para la adaptación anatómica. En otros ejemplos de realización adicionalmente puede producirse una adaptación por medio de directrices de adaptación específicas para la montura como se explicó anteriormente.

En la etapa 121 se proporciona un modelo de cabeza paramétrico. El modelo de cabeza paramétrico puede ser un modelo de cara o modelo de cabeza determinado con un análisis de componentes principales (PCA), como se describe por ejemplo en A. Brunton, A. Salazar, T. Bolkart, S. Wuhler, "Review of Statistical Shape Spaces for 3D Data with Comparative Analysis for Human Faces", *Computer Vision and Image Understanding*, 128:1-17, 2014, o también un modelo de cabeza como se describe en J. Booth, A. Roussos, S. Zafeiriou, A. Ponniah y D. Dunaway "A 3D Morphable Model learnt from 10,000 faces", 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV 2016 páginas 5543-5552 doi:10.1109/CVPR.2016.598. En la etapa 122 se proporciona un modelo 3D de la cabeza de la persona, que puede crearse por ejemplo con la unidad de cámara de la figura 2.

En la etapa 123 se determinan puntos de medición en el modelo de cabeza paramétrico. Un ejemplo de un modelo 3D de este tipo de al menos una parte de la cara se representa junto con los ejes de coordenadas en la figura 14.

En la etapa 123 se determinan puntos de medición en el modelo de cabeza paramétrico. Para ello se proporciona una denominada cabeza estándar del modelo de cabeza paramétrico. Una cabeza estándar es una cabeza en la que los parámetros del modelo de cabeza paramétrico asumen valores estándar establecidos. En el caso de un

modelo de cabeza basado en un análisis de componentes principales puede ser por ejemplo una cabeza promedio, que corresponde a una primera componente del análisis de componentes principales.

En la etapa 123 se determinan puntos de medición en el modelo de cabeza paramétrico. Esto puede ocurrir manualmente mediante determinación de puntos. Un ejemplo de una determinación de este tipo se muestra en la figura 13A. En este caso, en una cabeza estándar 130 del modelo de cabeza paramétrico se determinan una pluralidad de puntos, por ejemplo comisura de la boca, punta de la nariz, puntos en una línea de la frente, puntos de los ojos, raíz nasal y puntos en los flancos de la nariz. En la figura 13C se muestra otro ejemplo. En este caso se ha marcado un triángulo 132, es decir tres puntos, en un flanco de la nariz del modelo de cabeza 130.

En la etapa 124 se adapta el modelo de cabeza paramétrico al modelo 3D de la cabeza de la persona mediante un proceso de ajuste. Un proceso de ajuste es un proceso en el que los parámetros del modelo de cabeza paramétrico se determinan de tal modo que el modelo de cabeza paramétrico se adapta con la mayor precisión posible al modelo 3D de la cabeza de la persona, por ejemplo según el criterio de los mínimos cuadrados. Las etapas 123 y 124 pueden producirse en cualquier orden. La etapa 123 sólo tiene que realizarse una vez antes de la realización del procedimiento, de modo que pueden utilizarse los puntos de medición determinados con cada realización del procedimiento para diferentes modelos 3D de cabezas de diferentes personas y diferentes modelos de montura paramétricos.

Entonces en la etapa 125 se transfieren los puntos de medición al modelo de cabeza paramétrico ajustado. Dicho de otro modo se determina la posición de los puntos de medición en el modelo de cabeza ajustado. Para ello, esencialmente se aplica la misma transformación, utilizada para llegar del modelo de cabeza estándar, en el que en la etapa 123 se determinaron los puntos de medición, al modelo de cabeza paramétrico ajustado, a los puntos de medición, por ejemplo como se describe en el artículo mencionado anteriormente de J. Booth *et al.* En la etapa 126, opcionalmente se transfieren los puntos de medición al modelo 3D de la cabeza. El que se utilice la etapa 126 depende de la precisión del modelo utilizado, es decir, de la precisión con la que corresponde el modelo de cabeza paramétrico ajustado al modelo 3D de la cabeza de la persona. Cuando por ejemplo la desviación cuadrática media está por debajo de un valor umbral, puede prescindirse de la etapa 126. La transferencia de los puntos de medición del modelo de cabeza paramétrico ajustado al modelo 3D de la cabeza de la persona puede producirse mediante una proyección, en la que se determina un vector normal a través del respectivo punto de medición en el modelo de cabeza ajustado y entonces se utiliza la intersección de este vector normal con el modelo 3D de la cabeza de la persona como punto de medición correspondiente en el modelo 3D de la cabeza de la persona. En las figuras 13B y 13D se muestran ejemplos. En la figura 13B los puntos de la figura 13A se han proyectado sobre un modelo 3D 131 de la cabeza de la persona y en la figura 13D se ha proyectado el triángulo 132 de la figura 13C como triángulo 132' sobre el modelo 3D 131.

Esta proyección funciona en muchos modelos de cara de manera fiable porque los modelos paramétricos a menudo presentan una elevada lisura, en particular una mayor lisura que en el caso de un modelo 3D típico de la cabeza como se representa en la figura 14. A este respecto, la lisura de las superficies puede definirse como medida de la desviación local de los vectores normales. Alternativamente puede definirse como medida también la desviación local de la nube de puntos del modelo 3D de la cabeza con respecto a una superficie polinómica aproximada, por ejemplo en cada caso en zonas locales de 5 mm de diámetro. A menudo las superficies polinómicas son infinitamente diferenciables y por tanto, en geometría diferencial se denominan como "lisas". En <http://pointclouds.org/documentation/tutorials/resampling.php>, estado a 8 de junio de 2017 se describe una lisura local por medio de los "mínimos cuadrados móviles" (*moving least squares* (MLS)), que puede aplicarse en los ejemplos de realización.

Además (no se representa en la figura 12) puede utilizarse una etapa manual para marcar puntos de medición adicionales en el modelo 3D de la cabeza. En particular pueden ser puntos no detectados automáticamente con el modelo 3D, por ejemplo partes de la persona tapadas por pelos. Éste puede ser el caso en particular en las orejas. Por tanto, entonces estos puntos no pueden identificarse exactamente en el modelo 3D de la cabeza de la persona y pueden añadirse manualmente. Un ejemplo de un punto de medición de este tipo es un punto de apoyo de la patilla de gafas en la base de la oreja.

Entonces en la etapa 127, basándose en los puntos de medición (los puntos de medición en el modelo de cabeza ajustado, cuando se prescinde de la etapa 126 o los puntos de medición transferidos, cuando se realiza la etapa 126) se calculan las características. Estas características, también denominadas características de medición, se basan en grupos de puntos de medición y definen por ejemplo una zona de la cabeza.

Las características pueden determinarse por medio de cálculo directo (por ejemplo 3 puntos no colineales en el espacio definen claramente un plano cuyo vector normal puede calcularse por medio del producto cruzado a partir de los vectores diferenciales normalizados; 4 puntos no coplanarios definen una esfera, 5 puntos no coplanarios un cilindro) o por medio de aproximación de una primitiva geométrica (puntos, líneas o superficies) como de un plano o esfera o un cilindro en determinados puntos de medición. Entonces la característica se determina por los parámetros de la primitiva geométrica adaptada, en el caso de un plano por ejemplo por el vector normal y punto de interés del

plano, en el caso de una esfera por el centro y el radio de la esfera, etc. A continuación se indican ejemplos de este tipo de características, que se calculan en la etapa 127:

- Flanco de la nariz izquierdo o derecho

5 Para el flanco de la nariz izquierdo o derecho de la nariz puede utilizarse un plano (por ejemplo según el triángulo 132' de la figura 13D) definido mediante la aproximación a una zona pequeña del modelo en la zona del apoyo para la nariz o las zonas para los protectores nasales (por ejemplo con un diámetro de 6 mm) como característica. A partir de la posición del plano se obtienen el ángulo del flanco de la nariz horizontal y vertical. A este respecto, se corta el plano en el centro de la zona del apoyo para la nariz con los ejes de coordenadas y en cada caso se mide el ángulo obtenido. Cuando por ejemplo se han marcado tres puntos según el triángulo 132 en cada flanco de la nariz en la figura 13C, puede calcularse el plano a partir de los tres puntos. Con más de tres puntos el plano puede calcularse mediante un proceso de adaptación, por ejemplo por medio de descomposición de componentes principales en el conjunto de puntos, o mediante una adaptación con ayuda del procedimiento de los mínimos cuadrados. Un único plano puede representarse como se mencionó anteriormente mediante un punto (x, y y z) en el plano y un vector normal (nx, ny, nz) a través de estos puntos, siendo x, y y z coordenadas cartesianas. Por tanto, los dos flancos de la nariz en conjunto pueden representarse como tupla de 12, es decir con 12 valores (2 puntos y 2 vectores normales), por ejemplo como

20 $(x_{[N,OD]}, y_{[N,OD]}, z_{[N,OD]}, n_{x[N,OD]}, n_{y[N,OD]}, n_{z[N,OD]}, x_{[N,OS]}, y_{[N,OS]}, z_{[P,OS]}, n_{x[N,OS]}, n_{y[N,OS]}, n_{z[N,OS]})$

A este respecto el índice N designa la nariz, el índice OD el ojo derecho (Oculus Dexter) y el índice OS el ojo izquierdo (Oculus Sinister).

- Curvatura de la frente

30 En este caso puede adaptarse un fragmento de una curva circular en el espacio en puntos de medición en la frente como se representa en las figuras 13A y 13C. Parámetros de esta adaptación son centro, radio y vector normal de un plano, situado en el círculo. Esta adaptación puede producirse en dos etapas. En primer lugar se realiza una adaptación de un plano como se describió anteriormente para los flancos de la nariz, y entonces en el plano se adapta otro círculo más. Esta adaptación del círculo puede ocurrir por ejemplo con el procedimiento de los mínimos cuadrados o algún otro procedimiento de adaptación convencional.

- Cejas y/o pómulos

40 En este caso, en un área alrededor de las cejas y/o en un área alrededor de los pómulos se adapta una superficie de *spline* S (véase el artículo de Wikipedia "Spline", estado a 23 de mayo de 2017) o un polinomio bivariable (véase por ejemplo <https://en.wikipedia.org/wiki/Polynomial#Definition> → "bivariate polynomial", estado a 8 de junio de 2017) a los puntos de medición en el área de las cejas y en el área de los pómulos. A este respecto, en una representación de *spline*

$$S_{(c1,...,cn)}: (x,z) \rightarrow y$$

45 se determinan los coeficientes (c1..., cn) de la función de *spline* S de tal modo que para un conjunto de puntos de medición { (x1,y1,z1),..., (xm,ym,zm) } en el área correspondiente (cejas o pómulos) un error F en el cuadrado-promedio se vuelve mínimo, es decir, el error F tiene la siguiente forma

$$F(c1,...,cn) = \sum_{i=1...m} (y_i - S_{(c1,...,cn)}(x_i, z_i))^2$$

50 En esta representación se supone que posteriormente el proceso de la colocación de la montura se produce mediante movimiento en paralelo a un plano xy con en cada caso un valor y mantenido en el sistema de coordenadas de la figura 14. Cuando debe realizarse una distancia mínima de un borde de montura posterior del modelo 3D de la cabeza a través del proceso de adaptación, este valor de distancia puede darse de antemano como desviación en la superficie de *spline*. Entonces puede detectarse un contacto mediante coincidencia en los valores y (porque el valor y se ha almacenado anteriormente como desviación). Entonces, para ello en la adaptación posterior de la montura de gafas puede analizarse cada vértice del borde de montura posterior, y se analiza un vértice respectivo dado por las coordenadas (x, y, z) con respecto a la diferencia $\Delta y = y - S_{(c1,...,cn)}(x, z)$. Entonces, con la detección de un contacto o introducción del vértice en el modelo puede adaptarse una posición de la montura de gafas o modificarse el borde de montura de la montura de gafas.

- Punto de base de la oreja, que sirve de punto de apoyo para la patilla de las gafas

65 Para ello puede utilizarse un único punto sobre el modelo de cabeza, es decir, en este caso no tienen que juntarse puntos de medición. En otras formas de realización puede determinarse una curva de apoyo para la oreja, como se

describe en la solicitud de patente europea 17 173 929.5. En caso de que se utilice un modelo sin modelado de las orejas (véase más arriba), por ejemplo un modelo de cara puro, o se tapen las orejas al crear el modelo 3D de la cabeza de la persona, este punto de base de la oreja puede generarse de otro modo, por ejemplo mediante aprendizaje a máquina con imágenes, utilizadas para la creación del modelo 3D de la cabeza, pudiendo utilizar para ello un detector de características entrenado para detectar el punto de base de la oreja en las imágenes. Estos puntos detectados en la imagen 2D se proyectan en una etapa adicional en el modelo 3D de la cabeza. Existe información sobre este tipo de proyecciones en la literatura básica sobre geometría proyectiva y calibración de cámaras, por ejemplo en Hartley y Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision", 2000, a partir de la página 7 para la representación de píxeles de imagen como rectas en el espacio; proyección en un modelo 3D en el espacio como cálculo de la intersección más anterior de la malla triangular con la recta, también denominado "Ray-Casting", véase también por ejemplo la librería de software "vtk", función "vtkModifiedBSPTree::IntersectWithLine". Alternativamente un punto de este tipo también puede determinarse manualmente como se explicó anteriormente.

En algunos ejemplos de realización también pueden determinarse determinados puntos como posición de los ojos o posición de las pupilas con un procedimiento por separado, por ejemplo por medio de la detección de las pupilas y la detección de la córnea con imágenes tomadas con la cámara de la figura 2. Este tipo de determinaciones se describen en las solicitudes de patente europea 17 153 558.3 y 17 153 559.4.

Basándose en las características calculadas de este modo en la etapa 127, entonces en la etapa 128 se calculan parámetros de montura del modelo de montura paramétrico. A continuación se proporciona un ejemplo de este cálculo. Sin embargo, las características también pueden utilizarse para la adaptación de montura descrita anteriormente basándose en directrices de adaptación específicas o para la colocación virtual como se describe en la solicitud de patente europea 17 173 929.5.

En general, para la adaptación se evalúan las características en combinación con respecto a la posición relativa y/u otras propiedades como ángulo o curvatura. A continuación se describen algunos ejemplos para el cálculo de los parámetros de montura en la etapa 128. Éstos también pueden servir de ejemplo para la adaptación anatómica de la etapa 41 de la figura 4.

- Ancho de puente

El ancho de puente se define en la norma DIN EN ISO 8624:2015-12, apéndice A y se obtiene a partir de la posición relativa de los protectores nasales, porque con un ancho de puente mayor los protectores nasales están más separados y con un ancho de puente menor, los protectores nasales están más próximos. Con una montura de gafas sin protectores nasales los protectores nasales generales se definen como zonas especiales del apoyo para la nariz, previstas como zonas de contacto con la nariz. El ancho de puente se obtiene como distancia de los centros de estos protectores nasales generales. Así, el ancho de puente puede corresponder a una distancia de centros de triángulos en ambos flancos de la nariz según el triángulo 132' de la figura 13D. A este respecto, puede considerarse centro del triángulo el centro geométrico, es decir, el centro de la bisectriz.

La figura 16 muestra como ilustración una vista en perspectiva de un modelo de montura paramétrico con protectores nasales 160 (en este sentido) y el ancho de puente 161.

- Posición relativa y ángulo de los protectores nasales

Esta adaptación se explica en la figura 15. En este caso los flancos de la nariz se representan como sección transversal. Ésta se representa mediante una curva 150, y se adapta un protector nasal 151.

Entonces, cada uno de los dos protectores nasales puede adaptarse mediante un plano que toca el respectivo protector nasal (plano tangencial). Este plano del protector nasal, como se ha descrito anteriormente para otros planos, puede aproximarse mediante un punto de interés (X_P , y_P , z_P) y un vector normal (n_x , n_y , n_z). El punto de interés puede ser en particular un centro del protector nasal. En el caso de los protectores nasales clásicos, es decir, en el caso de monturas metálicas, este centro se define por ejemplo por una proyección del centro del protector nasal en el lado externo, es decir, la superficie de contacto del protector con la nariz, pudiendo ser también el centro del protector como punto predefinido parte del modelo de montura paramétrico, es decir, este punto se proporciona junto con el modelo. Con monturas de plástico sin protectores, la parte de la montura, pensada como superficie de contacto para la nariz (160 en la figura 16) se denomina apoyo para la nariz o en este caso en general protector nasal. Así, los dos protectores nasales también pueden representarse como tupla de 12, produciéndose la representación en el presente ejemplo de realización en el sistema de coordenadas local de la montura:

$(X_{[P,OD]}, Y_{[P,OD]}, Z_{[P,OD]}, N_{X[P,OD]}, N_{Y[P,OD]}, N_{Z[P,OD]}, X_{[P,OS]}, Y_{[P,OS]}, Z_{[P,OS]}, N_{X[P,OS]}, N_{Y[P,OS]}, N_{Z[P,OS]})$

significando el índice P protector nasal.

Entonces como se explicó anteriormente la posición de los protectores nasales también implica el ancho de puente.

En esta representación de los protectores nasales, el origen de coordenadas y la orientación del sistema de coordenadas puede elegirse libremente porque la tupla de 12 puede transferirse mediante una imagen de traslación común a los puntos de interés y una imagen de rotación común a los puntos de interés y vectores normales en cualquier sistema de coordenadas. La condición previa es que en el modelo de montura paramétrico efectivamente puedan elegirse libremente todos los parámetros de la tupla de 12 anterior. En la práctica, con un modelo de montura paramétrico los parámetros están limitados y existen valores máximos y mínimos para los parámetros individuales del modelo de montura paramétrico (por ejemplo una montura no puede fabricarse con cualquier tamaño o con un ancho de puente de cualquier tamaño). En cualquier caso tanto los protectores nasales como los flancos de la nariz pueden representarse como tupla de 12, como se indicó anteriormente.

Los vectores normales pueden representarse en lugar de como arriba en coordenadas cartesianas en cada caso por dos ángulos theta y phi en el espacio (esencialmente una representación en coordenadas polares, eligiéndose como longitud (radio) del vector normal 1:

$$(n_x, n_y, n_z) = (\sin(\phi) \cdot \sin(\theta), \cos(\phi) \cdot \sin(\theta), \cos(\theta)).$$

Entonces, así se obtienen en conjunto 10 grados de libertad para los protectores y con ello también para el puente nasal) en conjunto, se obtiene una representación como tupla de 10:

$$(x_{[P,OD]}, y_{[P,OD]}, z_{[P,OD]}, \theta_{OD}, \phi_{OD}, x_{[P,OS]}, y_{[P,OS]}, z_{[P,OS]}, \theta_{OS}, \phi_{OS})$$

$$= Z_{[P,OS]}$$

La relación entre ancho de puente nasal y posición de los protectores nasales resulta visible por la figura 15: si se ensancha el puente nasal, aumenta la distancia entre los puntos de interés de los planos de los protectores izquierdo y derecho de manera correspondiente, y al revés.

Se produce una disminución del número de parámetros cuando se supone que el puente y los protectores nasales son simétricos entre sí. Con el plano yz de la figura 14 como plano de simetría se aplica que:

$$i. x_{[P,OS]} = -x_{[P,OD]}$$

$$ii. y_{[P,OD]} = y_{[P,OS]} \text{ y } z_{[P,OD]} = z_{[P,OS]}$$

$$iii. \theta = \theta \text{ y } \phi = -\phi_{[P,OS]}$$

Entonces se obtienen como parámetros libres ($w, y_P, z_P, \theta, \phi$) con $\theta = \theta_{[P,OD]} = \theta_{[P,OS]}$ y $\phi = \phi_{[P,OD]} = -\phi_{[P,OS]}$. A este respecto w es el ancho de puente, aplicándose que $x_{[P,OD]} = w/2$ y $x_{[P,OS]} = -w/2$. Así, en el caso simétrico hay 5 parámetros libres con los que puede adaptarse el modelo de montura paramétrico. En función de la montura puede haber menos grados de libertad o los grados de libertad pueden limitarse por medio de directrices de adaptación específicas como se explicó anteriormente.

Para adaptar el modelo de montura paramétrico al modelo 3D de la cabeza, los planos de los protectores nasales pueden elegirse de tal modo que coincidan con los planos de los flancos de la nariz, es decir, en el caso general la tupla de 12 para los protectores nasales coincide con la tupla de 12 para los flancos de la nariz.

Como limitación puede mantenerse por ejemplo la posición del puente o de los protectores nasales en el sistema de coordenadas local de la montura (es decir, los valores y_P, z_P son fijos), o para theta y phi puede elegirse una relación fija, por ejemplo, lineal, de modo que theta y phi no puedan elegirse independientemente entre sí.

Con un conjunto reducido de parámetros de montura por ejemplo en el caso simétrico mencionado anteriormente puede utilizarse un promediado. Si, por ejemplo, se distinguen los ángulos correspondientes $\theta_{[P,OD]}$ y $\theta_{[P,OS]}$ para los flancos de la nariz, puede utilizarse un valor promedio. En caso de que los ángulos se distinguen más que un valor umbral puede emitirse un aviso de modo que en este caso la forma de montura simétrica dé lugar a propiedades de uso muy poco favorables. Para valorar lo poco favorables que son las propiedades de uso puede utilizarse una medida de calidad que designa la calidad de adaptación anatómica. Una medida de calidad de este tipo puede calcularse basándose en las distancias mencionadas anteriormente de la montura de gafas con respecto a zonas de la cabeza, pudiendo influir diferentes distancias con diferente peso en la medida de calidad.

En función del tipo de montura paramétrica es posible reducir adicionalmente el número de parámetros libres, por ejemplo a dos parámetros en la zona del apoyo para la nariz, concretamente el ancho de puente y un parámetro para el ángulo de varilla. El ángulo de varilla se explica por ejemplo en Johannes Eber, "Anatomische Brillenanpassung", Verlag Optische Fachveröffentlichung GmbH, 1987 página 26, imagen 24 con respecto al ángulo de varilla.

- Ángulo pantoscópico de la montura

5 Además, por medio de las características puede calcularse o adaptarse el ángulo pantoscópico de la montura (también denominado ángulo de inclinación anterior). En ejemplos de realización en los que se utilizan directrices de adaptación específicas para la montura como se explicó anteriormente es posible ajustar el ángulo pantoscópico ya en esta adaptación (etapa 40 en la figura 4). Entonces puede adaptarse adicionalmente en la etapa 128 de la figura 12. Para ello se calcula una distancia del borde de montura (por ejemplo del canto posterior del borde inferior del borde de montura, esquina inferior izquierda o derecha en una vista frontal de la montura) con respecto a las superficies de los pómulos mencionadas anteriormente, que pueden representarse mediante una superficie de *spline*. Entonces se cambia el ángulo pantoscópico de tal modo que se garantiza una distancia mínima establecida, por ejemplo 2 mm.

- Longitud de patilla

15 La longitud de patilla se calcula en la etapa 128 cuando se ha determinado el ajuste de la montura en la nariz, por ejemplo mediante los protectores nasales mencionados anteriormente. Para ajustar la longitud de patilla de la montura (siempre que sea un parámetro libre del modelo de montura paramétrico) se hace coincidir un punto de apoyo anterior de las patillas con los puntos de base de la oreja mencionados anteriormente.

20 Entonces en la etapa 129 se aplican los parámetros de montura calculados en la etapa 128 al modelo de montura paramétrico. Entonces en la etapa 1210 se produce una colocación virtual y una reproducción como se describió haciendo referencia a la etapa 56 de la figura 5. En la etapa 1211, opcionalmente puede tener lugar una optimización adicional, por ejemplo una optimización como se describe en el documento US 2016/0327811 A1 mencionado al principio o producirse una adaptación manual como se describe en la etapa 57 de la figura 5.

25 Entonces en la etapa 1212 se produce una transferencia al sistema de pedidos. También pueden seleccionarse otros parámetros de montura, por ejemplo un color de la parte central de la montura de gafas, un color de las patillas de gafas de la montura de gafas, el material y color de las bisagras de la montura de gafas, grabados en las patillas de gafas de la montura de gafas, elementos de diseño, aplicaciones sobre patillas de gafas o parte central de la montura de gafas.

30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento implementado por ordenador para la adaptación de gafas, que comprende:
- 5 adaptar virtualmente un modelo de montura paramétrico (81) a un modelo 3D (72) de la cabeza de una persona, caracterizado por que la adaptación virtual comprende:
- 10 una primera operación de adaptación (40) del modelo de montura paramétrico (71) al modelo 3D de la cabeza (72) para cumplir con directrices de adaptación (70) específicas para el modelo de montura paramétrico (71), indicando las directrices de adaptación valores objetivo o intervalos objetivo para distancias entre características de la montura de gafas y características en la cabeza, y
- 15 una segunda operación de adaptación (41) del modelo de montura paramétrico (71) al modelo 3D (72) de la cabeza para la adaptación anatómica.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por una conversión de las directrices de adaptación y/o del modelo de montura paramétrico en un formato establecido.
- 20 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el modelo de montura paramétrico comprende una pluralidad de parámetros, determinándose en la primera operación de adaptación una primera parte de los parámetros y determinándose en la segunda operación de adaptación una segunda parte de los parámetros diferente de la primera parte.
- 25 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que la primera parte de los parámetros comprende un ajuste a escala de la montura de gafas, una inclinación anterior y/o una forma de un borde de montura de la montura de gafas.
- 30 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-4, caracterizado por que las directrices de adaptación específicas comprenden especificaciones para características derivadas de características de la montura y/o características de la cabeza.
- 35 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-5, caracterizado por que la primera operación de adaptación comprende un uso de un árbol sintáctico.
- 40 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-6, caracterizado por que la primera operación de adaptación comprende un proceso de optimización en una función objetivo basándose en una desviación de valores objetivo de las directrices de adaptación específicas y/o basándose en un término de penalización al superar los intervalos objetivo.
- 45 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-7, caracterizado por que la primera operación de adaptación comprende pasar de manera repetida por un bucle de optimización.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-8, caracterizado por que la primera operación de adaptación comprende considerar un peso de lentes de gafas.
- 50 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-9, caracterizado por que el modelo de montura paramétrico y/o las directrices de adaptación específicas están presentes en forma cifrada.
- 55 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1-10, que comprende además calcular una medida de calidad para la adaptación virtual.
12. Programa informático con un código de programa que hace que, cuando el código de programa se ejecuta en un procesador, se realice el procedimiento según una de las reivindicaciones 1-11.
13. Dispositivo para la adaptación virtual de gafas que comprende un procesador y una memoria en la que está almacenado el programa informático según la reivindicación 12 para su ejecución en el procesador.

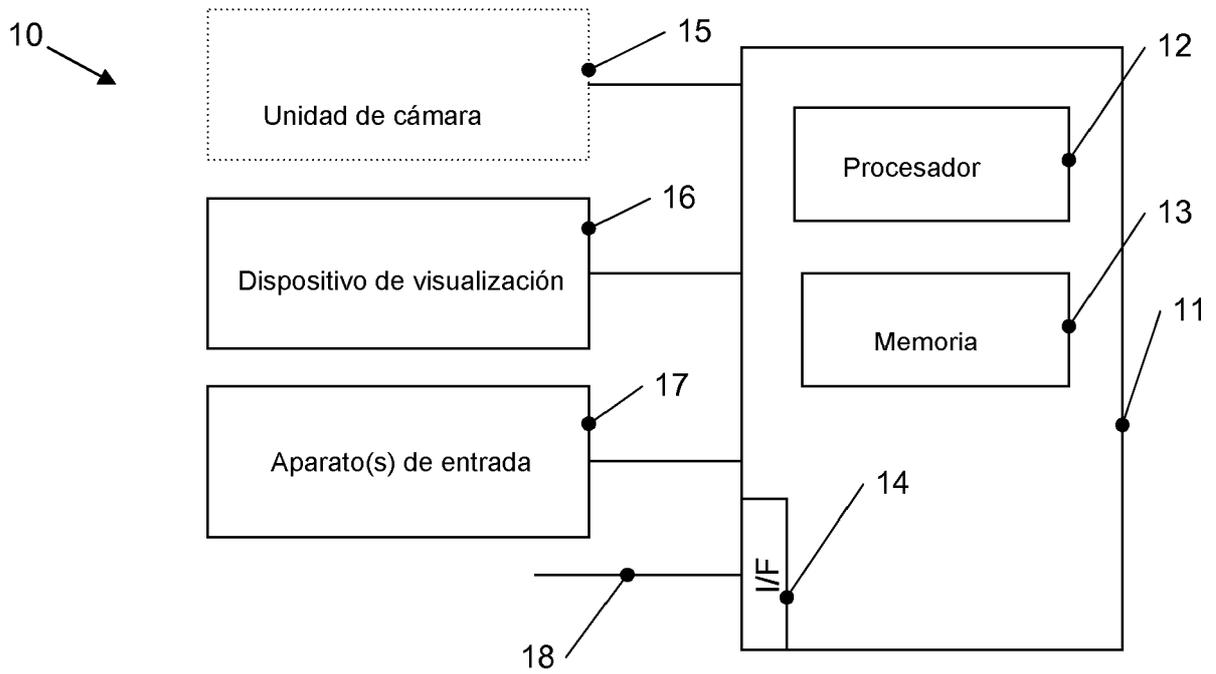


Fig. 1

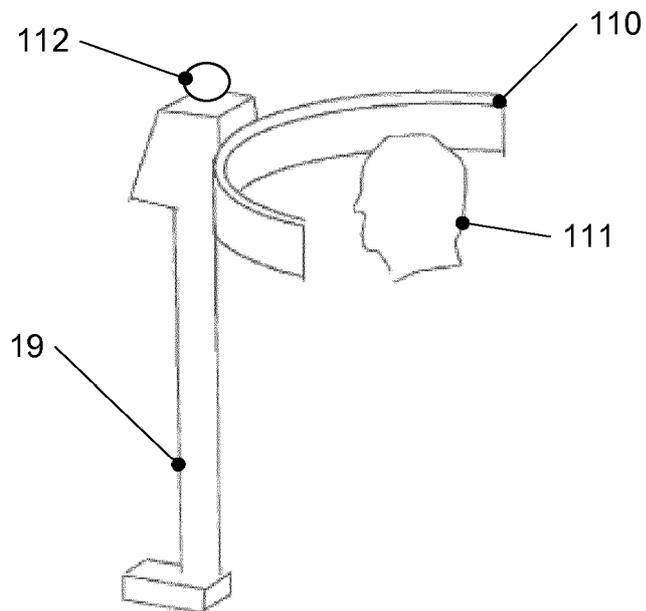


Fig. 2

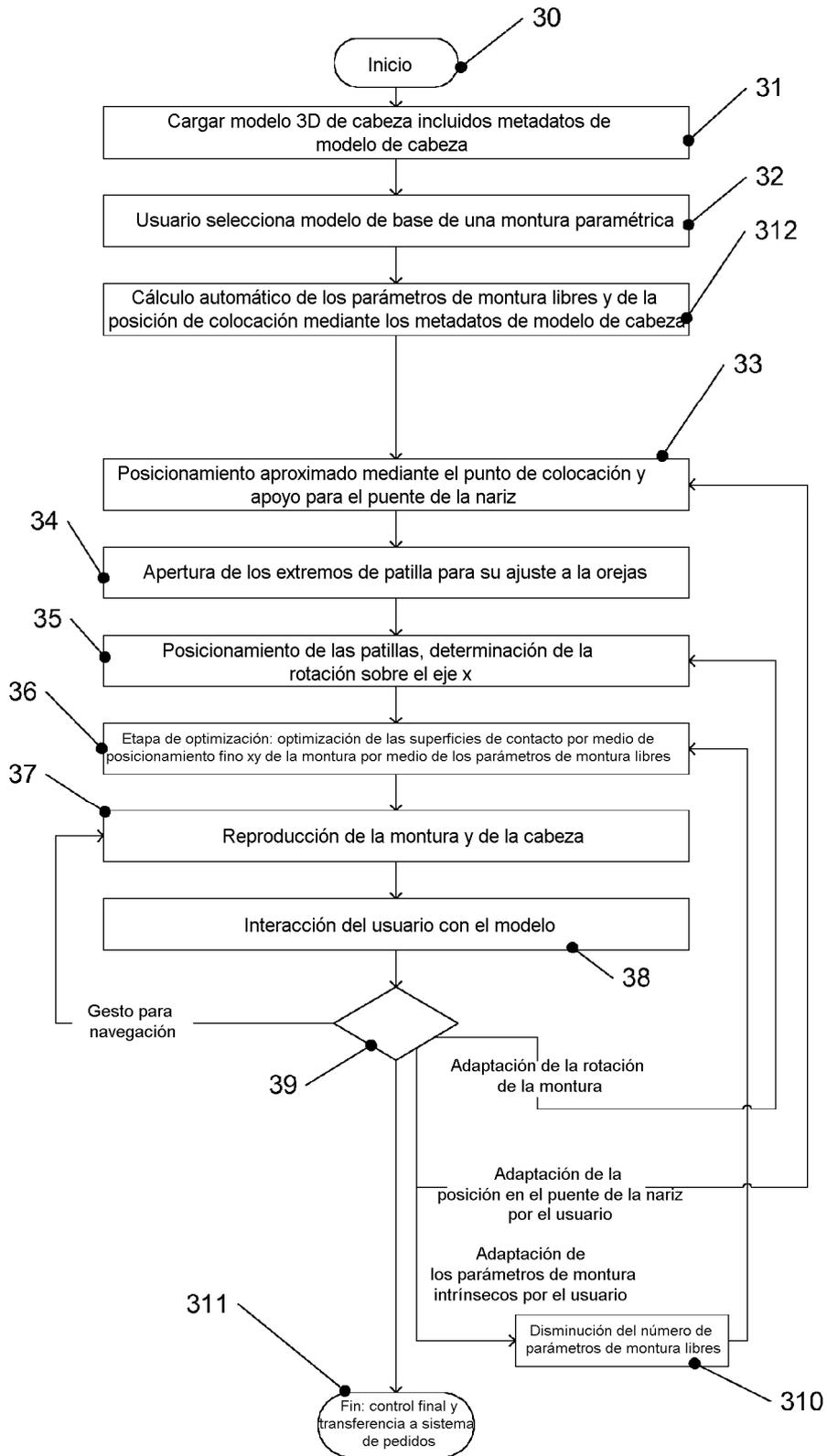


Fig. 3

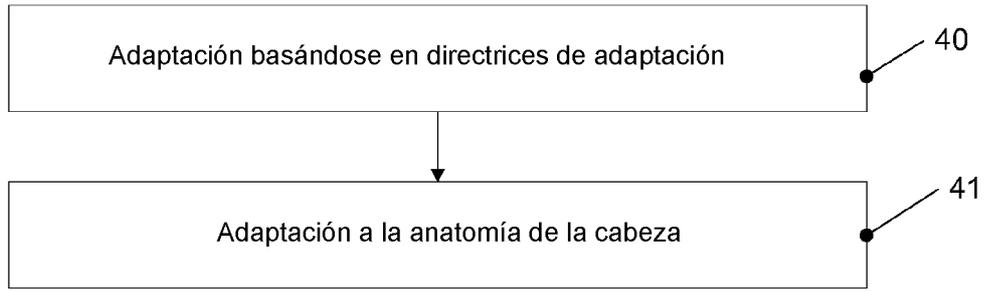


Fig. 4

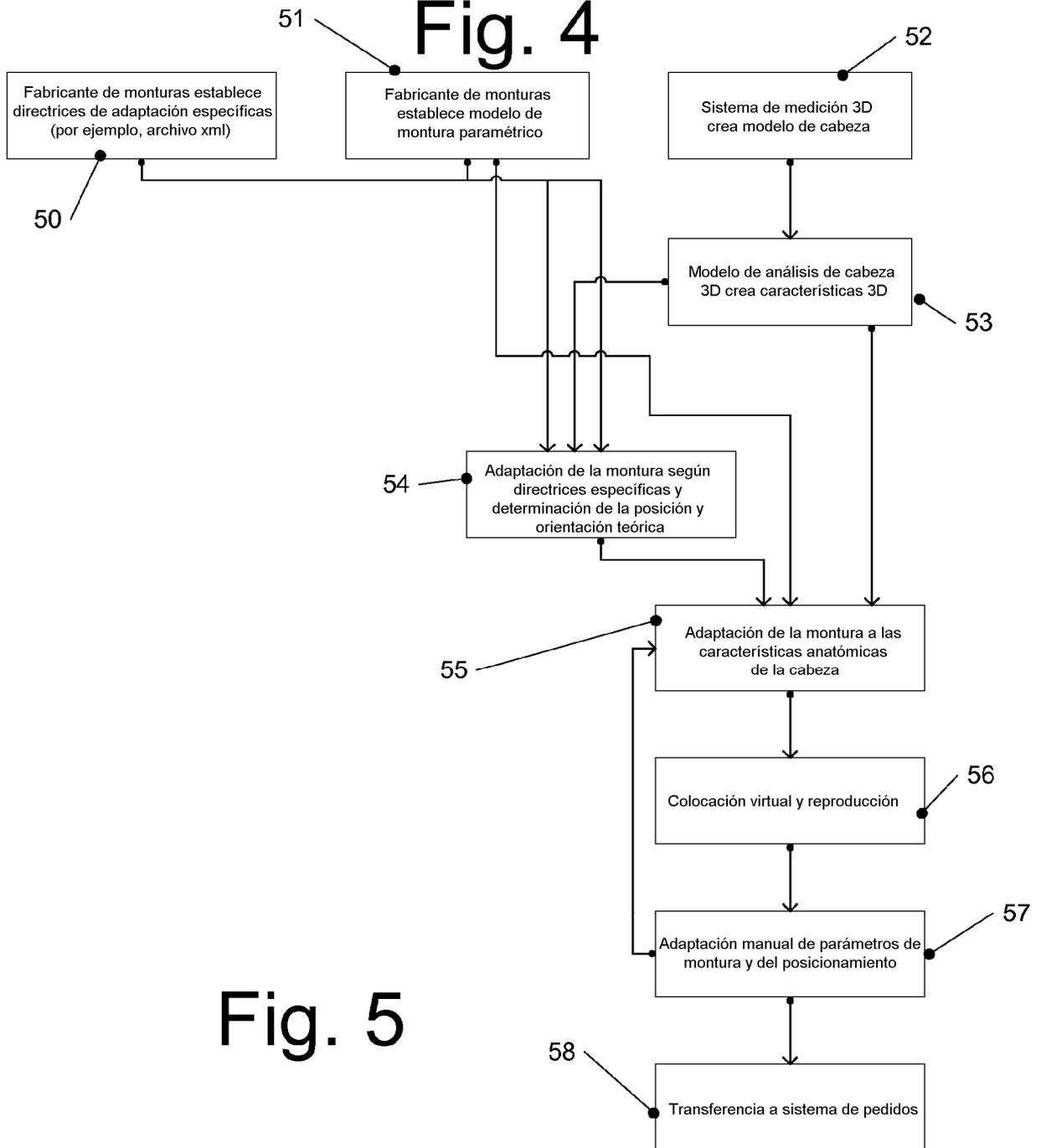


Fig. 5

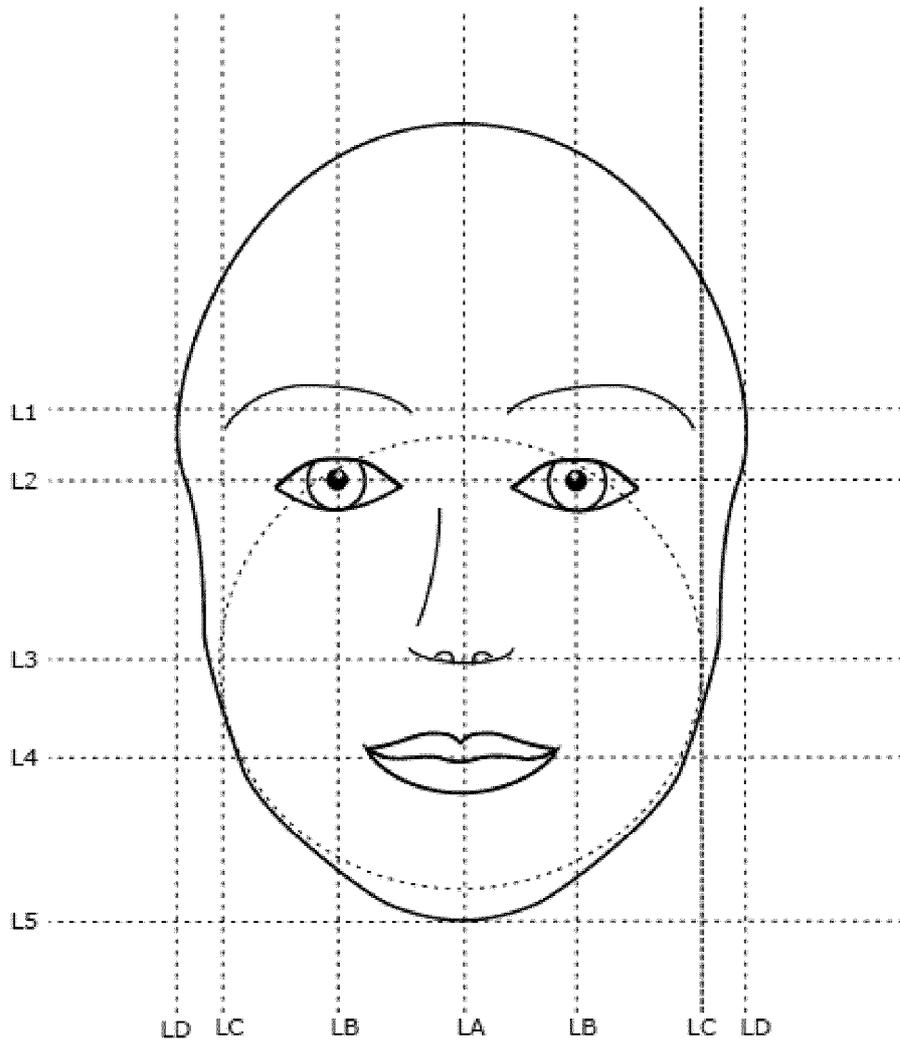


Fig. 6

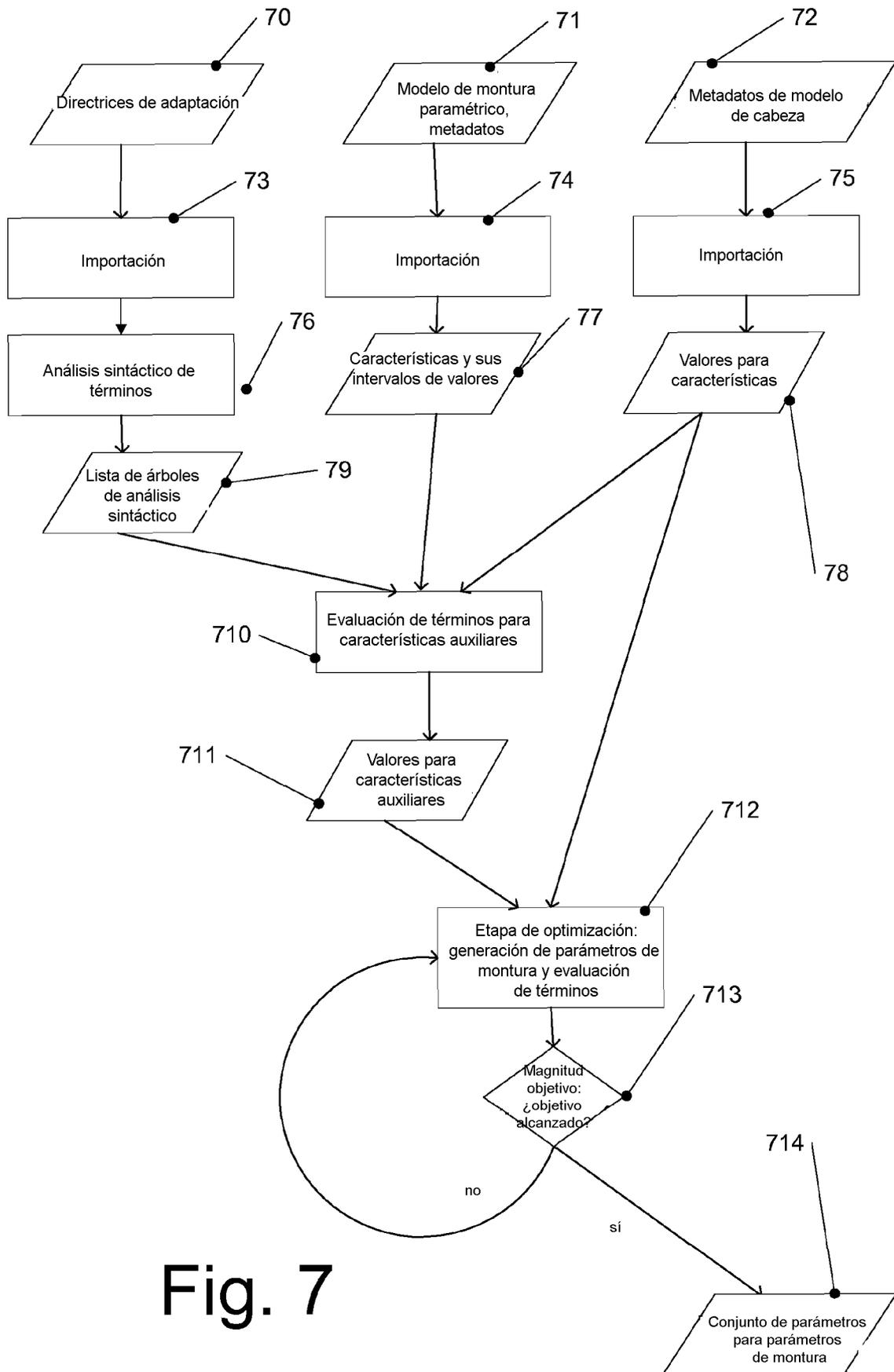


Fig. 7

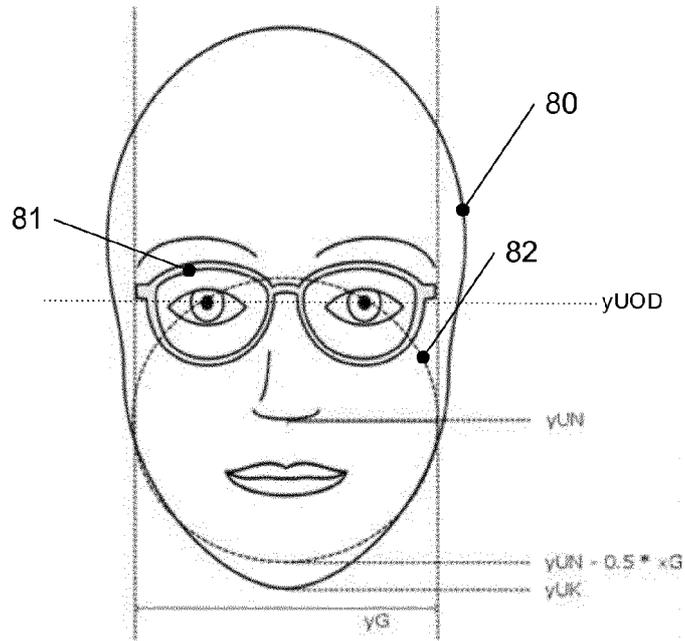


Fig. 8

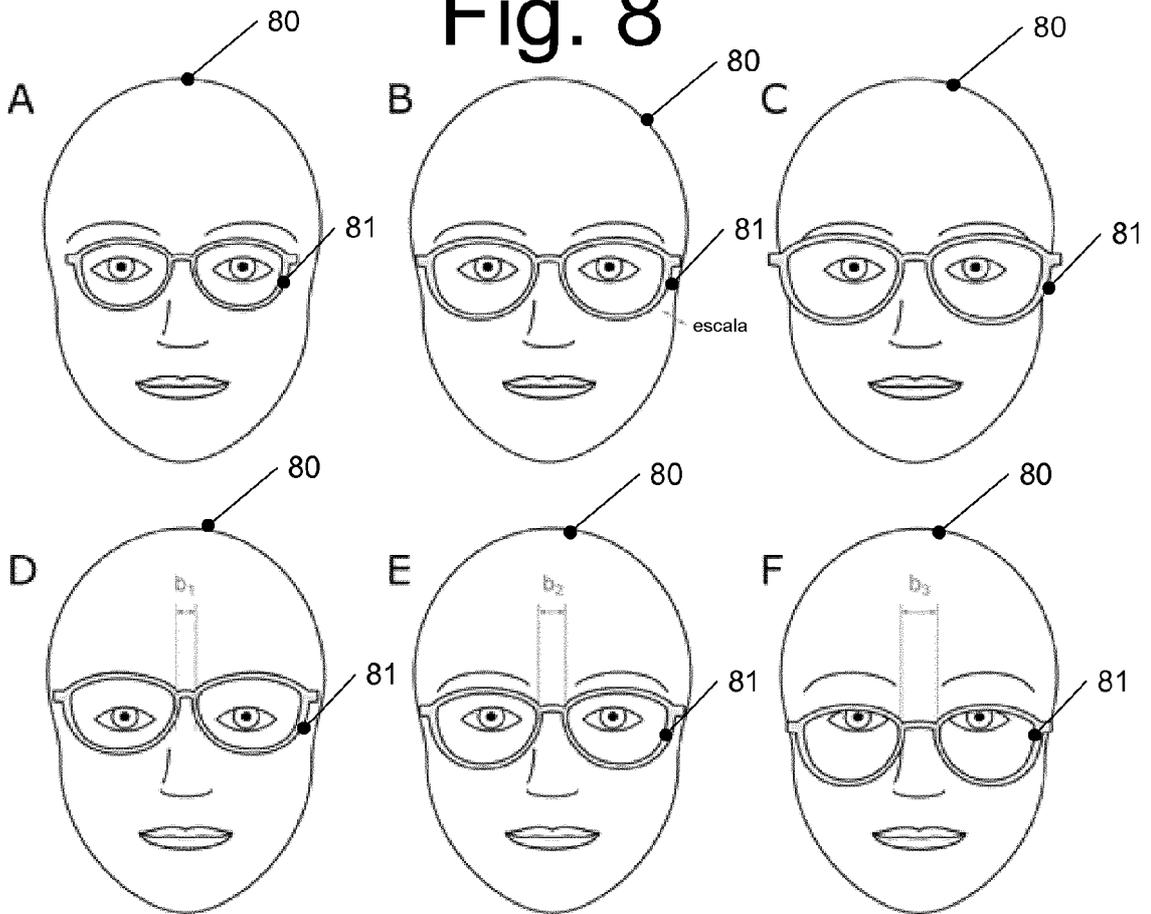


Fig. 9

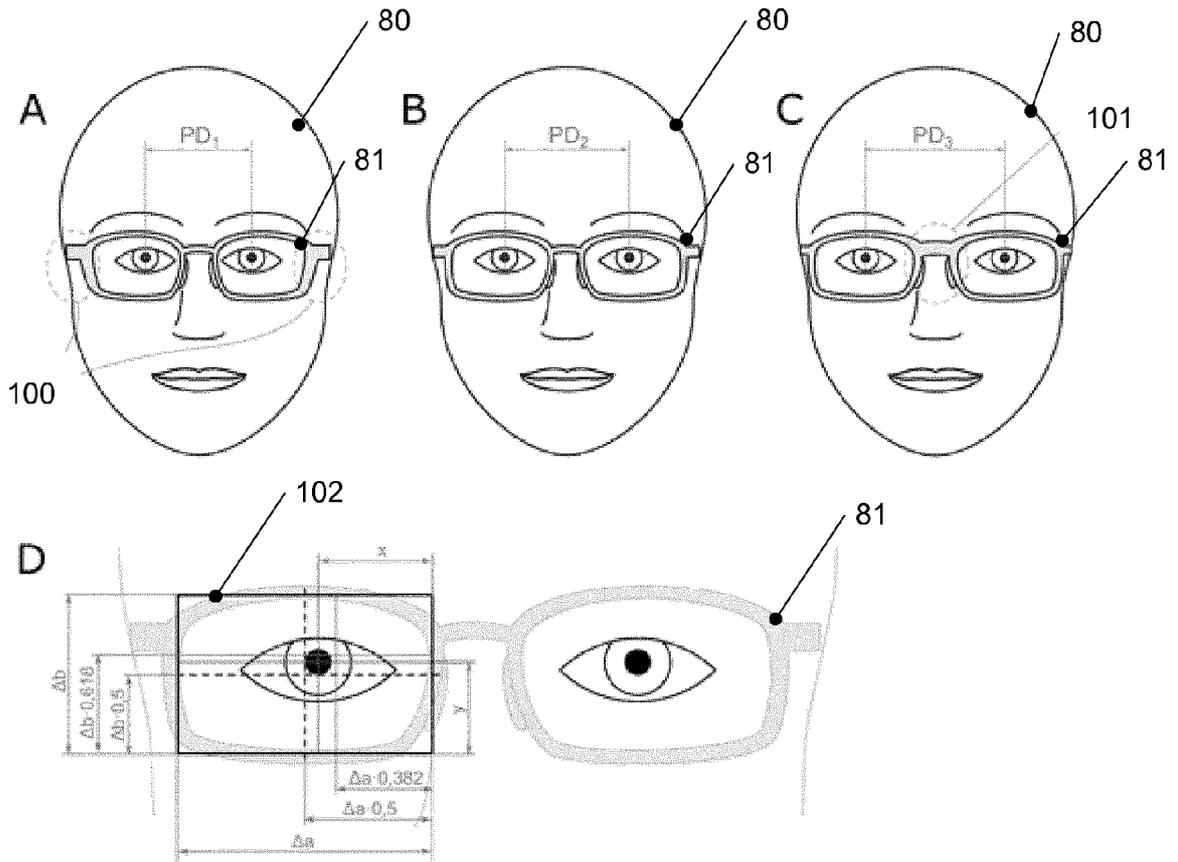


Fig. 10

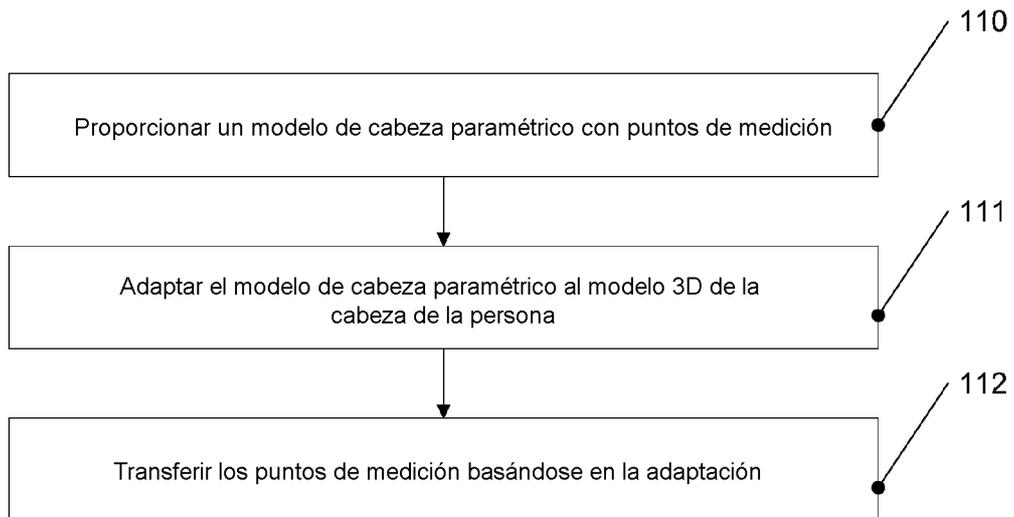


Fig. 11

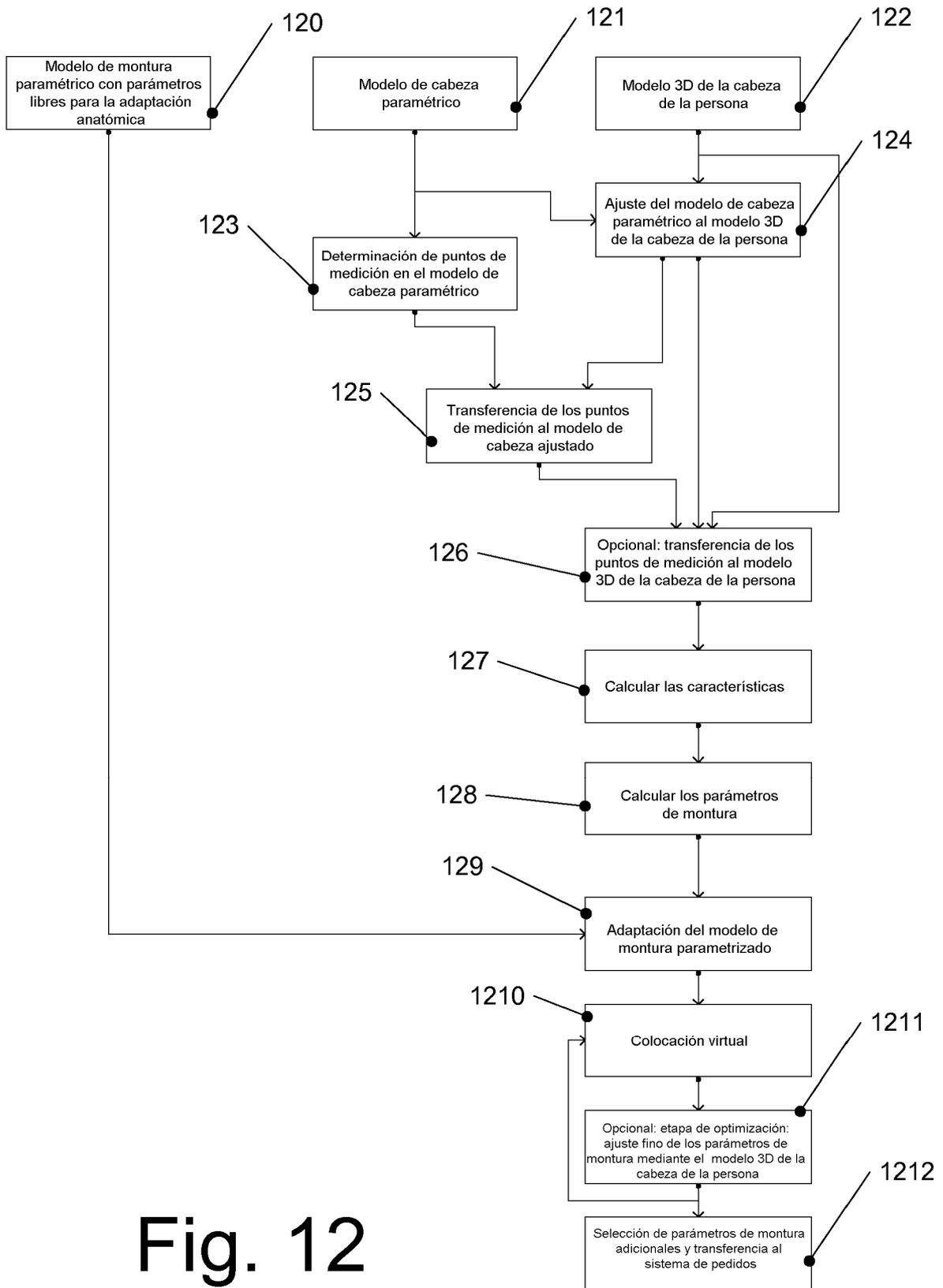


Fig. 12

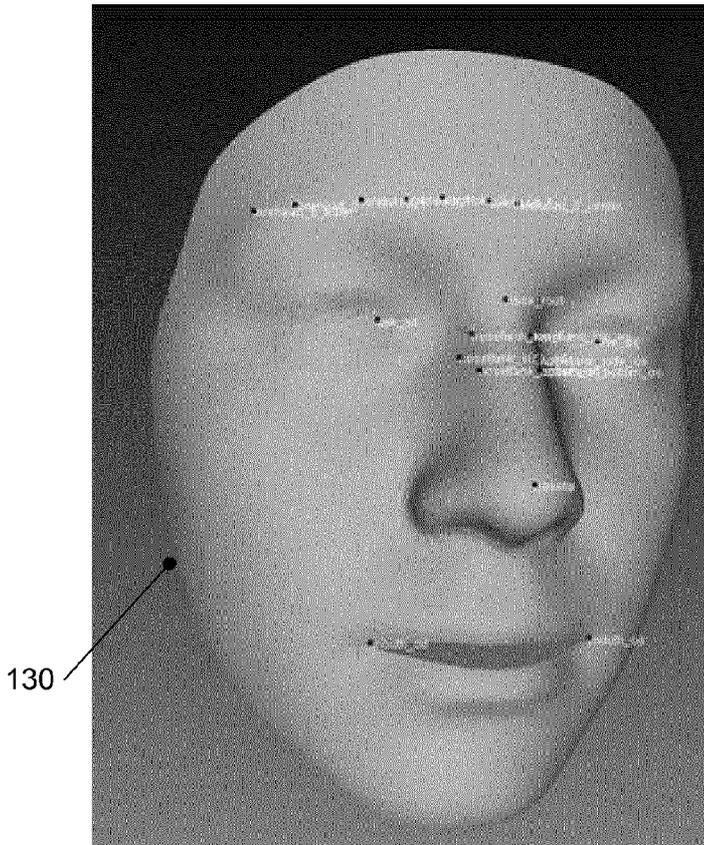


Fig. 13A

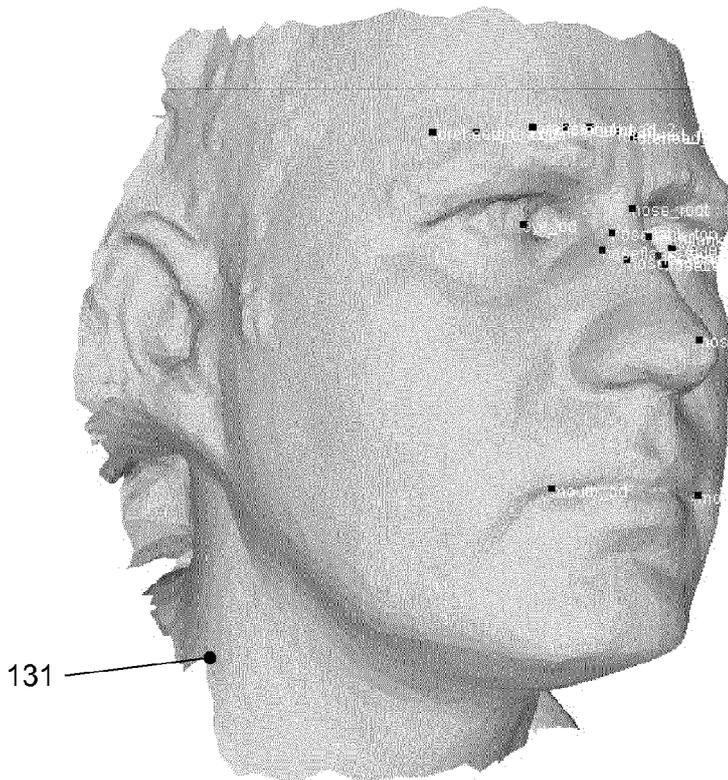


Fig. 13B

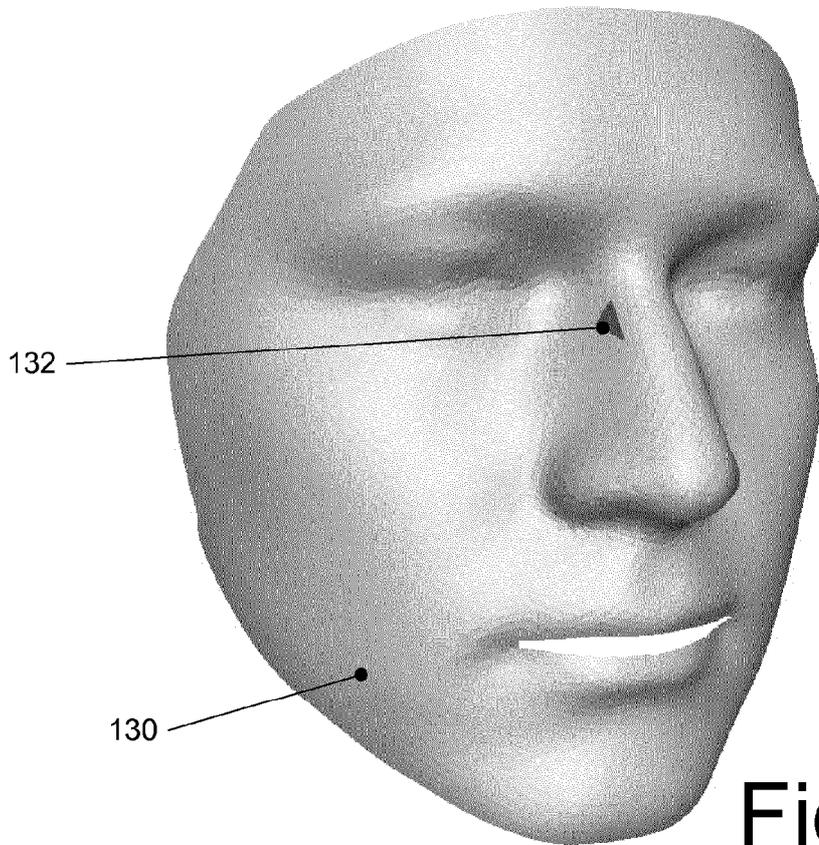


Fig. 13C

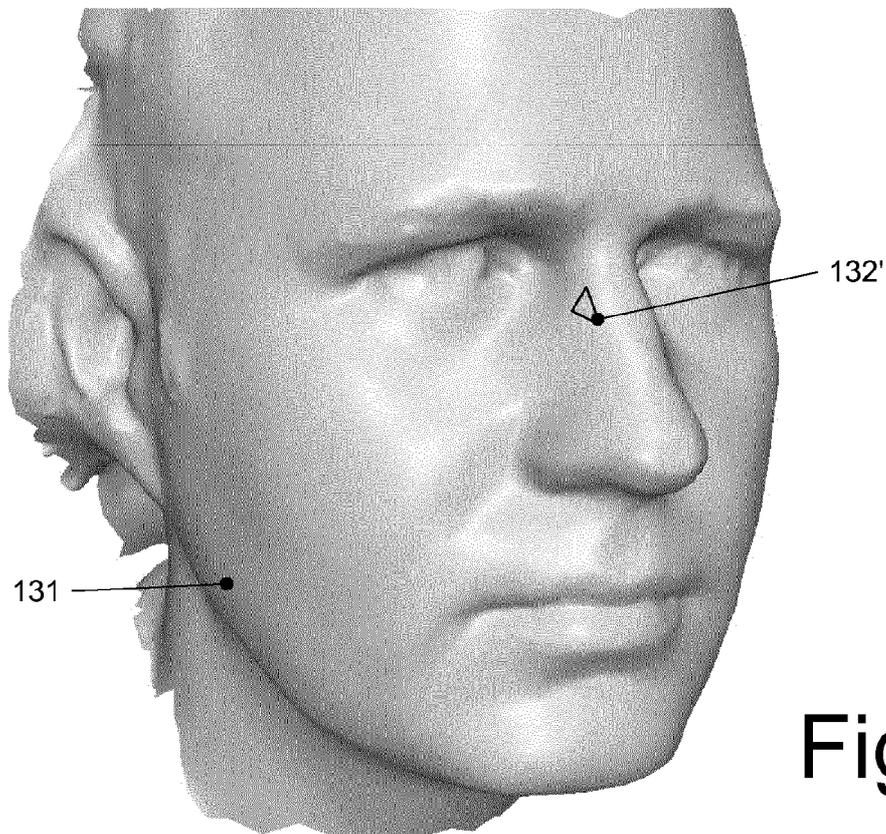


Fig. 13D

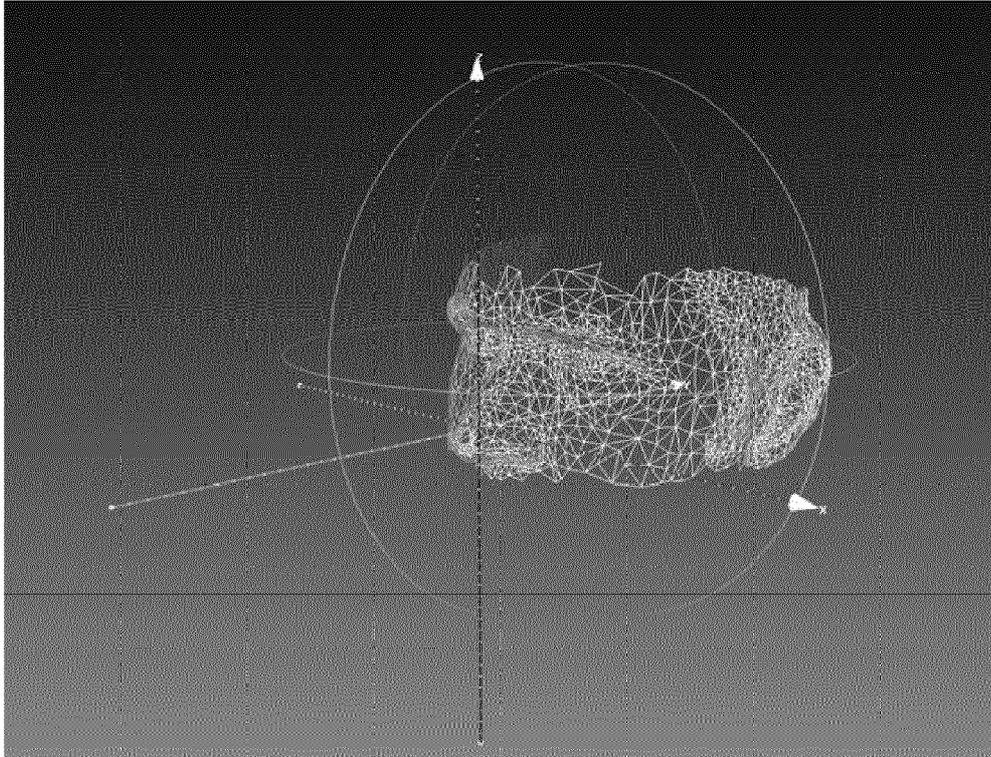


Fig. 14

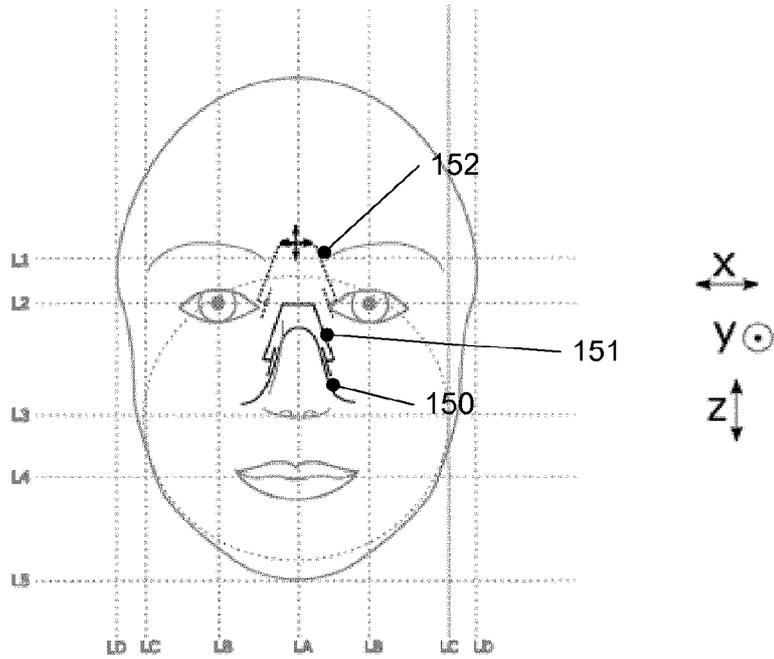


Fig. 15

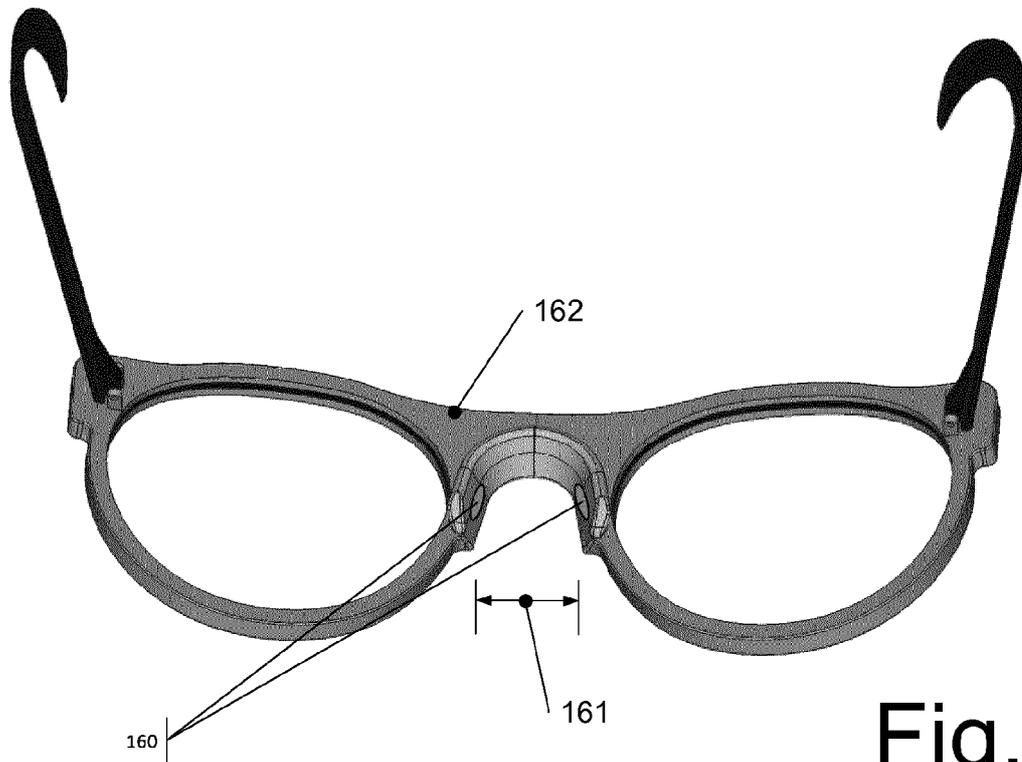


Fig. 16