

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 714 853**

51 Int. Cl.:

A61B 3/10 (2006.01)

G02C 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.01.2017** E 17153558 (6)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018** EP 3354190

54 Título: **Procedimiento implementado por ordenador para la detección de un vértice corneal**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.05.2019

73 Titular/es:

**CARL ZEISS VISION INTERNATIONAL GMBH
(50.0%)
Turnstrasse 27
73430 Aalen , DE y
CARL ZEISS AG (50.0%)**

72 Inventor/es:

**NIEUWENHUIS, CLAUDIA;
SCHWARZ, OLIVER y
GAMPERLING, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 714 853 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 implementado por ordenador para la detección de un vértice corneal

5 La invención se refiere a un procedimiento implementado por ordenador para la detección de un vértice corneal según el preámbulo de la reivindicación 1.

10 Los vértices corneales de una persona sometida a una prueba son puntos importantes en la determinación de los parámetros de centrado para el ajuste de las gafas. Los parámetros de centrado se utilizan para disponer o centrar correctamente las lentes en una montura de gafas, de manera que las lentes se dispongan en la posición correcta relativamente con respecto a los ojos de la persona que lleva las gafas. En este caso se trata en parte de parámetros anatómicos de la persona en cuestión como, por ejemplo, la distancia de la pupila, en parte de parámetros puramente específicos de la montura como la anchura de las lentes de la montura o la altura de las lentes de la montura, y en parte de combinaciones de parámetros anatómicos y específicos de la montura como, por ejemplo, la distancia del vértice corneal y la altura de visión. La norma DIN EN ISO 13666 de octubre de 2013 ofrece una visión general de los parámetros de centrado usuales.

15 Una determinación al menos aproximada de la posición del vértice corneal en el espacio y preferiblemente la posición de ambos vértices corneales en el espacio se puede utilizar ventajosamente en una evaluación posterior para la determinación de los parámetros de centrado, especialmente para la determinación de la distancia del vértice corneal. Hasta ahora, las posiciones del vértice corneal se anotaban manualmente en imágenes frontales y laterales. En este caso, dependiendo de la predilección del óptico, se prefería una anotación basada en los reflejos o basada en las pupilas. En la anotación basada en los reflejos se genera, con ayuda de un LED, un reflejo de luz en la pupila que es más fácil de detectar que el centro de la pupila. Sin embargo, muchos ópticos siguen prefiriendo la anotación basada en la pupila.

20 Por el documento US 2011/0007269 A1 se conoce un procedimiento del tipo mencionado al principio.

25 La tarea de la invención consiste en poner a disposición un procedimiento con el que sea posible detectar con más precisión la posición de un vértice corneal en el espacio.

30 Con el procedimiento según la invención de acuerdo con la reivindicación 1 se establece una condición previa para calcular parámetros de centrado como la distancia de la pupila y la distancia del vértice corneal, y concretamente tanto en caso de un centrado "real" con una montura de gafas real, como también en caso de un centrado virtual, "colocándose" virtualmente unas gafas o una montura de gafas en la imagen de una persona sometida a la prueba, siempre que sus datos geométricos estén disponibles. En este caso se proporcionan preferiblemente imágenes calibradas tomadas al mismo tiempo. Su calibración comprende las propiedades extrínsecas de las cámaras que capturan las imágenes o de la cámara que captura las imágenes una tras otra, como la orientación relativa de sus ejes ópticos, así como la disposición relativa en el espacio, así como sus propiedades intrínsecas, es decir, las propiedades de las propias cámaras, que definen cómo un punto en el espacio, que se encuentra en el sistema interno de coordenadas de la cámara respectiva, se reproduce en las coordenadas de los píxeles de la imagen capturada. Una descripción detallada de la calibración de las cámaras puede encontrarse en el libro de texto "Multiple View Geometry in Computer Vision" de Richard Hartley y Andrew Zisserman, 2ª edición, Cambridge University Press 2004, y en particular en la página 8. Aquí se prefiere utilizar un procedimiento de triangulación para determinar la posición geométrica del vértice corneal en el espacio.

40 La posición del vértice corneal en el espacio determinada en una primera aproximación está sujeta a un cálculo de corrección. El tipo de cálculo de corrección depende entonces de cómo se determina la posición del vértice corneal en el espacio en la primera aproximación.

45 En caso de una así llamada evaluación basada en la pupila se prevé determinar la posición del vértice corneal en el espacio en la primera aproximación como punto de intersección de un haz visual tangente a la córnea de una cámara lateral que toma la imagen lateral con un haz visual dirigido a la pupila de una cámara frontal que toma la imagen frontal. Según la invención, por medio del cálculo de corrección se calcula la posición del vértice corneal según $a = q + \mu * v + \mu * w$, siendo a el vector de posición del vértice corneal en el espacio después de la realización del cálculo de corrección, q la posición del vértice corneal en la primera aproximación, μ un valor empírico o un valor real de la distancia entre el centro de la pupila y el vértice corneal, v un vector unitario de la dirección espacial desde el centro de la pupila hasta la cámara frontal, y w un vector unitario de la dirección visual a través del centro de la esfera corneal.

55 La pupila se detecta ventajosamente por medio de la extracción de características y/o del emparejamiento de características (comparación de características) y/o por medio del aprendizaje automático en comparación con una pluralidad de datos previamente conocidos. Este paso del proceso puede estar precedido por una detección facial y/o una detección de características faciales como los ojos, a modo de procesamiento previo, en las que se detecta qué datos de imagen pertenecen al rostro de la persona sometida a la prueba, de manera que sólo estos datos se incluyan en la detección. Para simplificar aún más el procedimiento se pueden prever un cálculo a partir de la imagen frontal de un haz visual de la cámara frontal 16a orientado hacia el vértice corneal, una proyección en la imagen lateral y una detección del vértice corneal en el haz visual proyectado en la imagen lateral.

Para poder determinar el vértice corneal en el espacio para ambos ojos, resulta preferible poner a disposición al menos una tercera imagen calibrada tomada simultáneamente con la primera y con la segunda imagen lateralmente con respecto a la cabeza.

5 Preferiblemente, el procedimiento implementado por ordenador según la invención se lleva a cabo con un dispositivo como el que se describe en principio en la reivindicación 8 y en detalle en la siguiente de las figuras.

La invención se explica a continuación más detalladamente por medio de un ejemplo de realización representado esquemáticamente en el dibujo. Se muestra en la:

Figuras 1a, b un dispositivo para la determinación de parámetros de centrado en una vista en perspectiva y en una vista frontal;

10 Figura 2 una ilustración del cálculo de corrección en caso de una determinación de la posición del vértice corneal basada en las pupilas y

Figuras 3a, b una ilustración de un cálculo de corrección que no forma parte de la invención en caso de una determinación de la posición del vértice corneal basada en los reflejos.

15 El dispositivo 10 representado en el dibujo sirve para la determinación de parámetros de centrado para el ajuste de de las gafas. El mismo presenta una columna 12 con un soporte de cámara 14 de altura ajustable que soporta a su vez una fila de cámaras 16a, 16b. En la vista en planta, el soporte de cámara 14 está curvado aproximadamente en forma de círculo y se extiende entre dos extremos libres 18 dispuestos a distancia uno de otro. En la parte delantera, es decir, hacia la columna 12, y a los lados, una superficie interior 20 del soporte de cámara 14 rodea un espacio interior 22 en el que se encuentra la cabeza de una persona sometida a la prueba durante la toma de imágenes por
20 medio de las cámaras 16a, 16b. La superficie interior 20 está curvada de forma cóncava en una dirección que se desarrolla entre los extremos libres 18 y presenta, por ejemplo, la forma de una sección de una superficie de camisa de cilindro, pudiendo presentar el cilindro una superficie base circular u ovalada. A fin de poder posicionar el soporte de cámara 14 a la altura correcta con respecto a la cabeza de la persona sometida a la prueba, se dispone en la columna 12 un dispositivo de elevación no representado en detalle, con el que se puede mover el soporte de cámara
25 14 hacia arriba y hacia abajo mediante un accionamiento motriz.

Todas las cámaras 16a, 16b se disponen en un dispositivo de cámara 26 que se extiende entre los extremos libres 18. En el presente ejemplo de realización, el dispositivo de cámara 26 se configura como una fila de cámaras 26, cuyas cámaras 16a, 16b se encuentran todas a la misma altura, orientándose sus ejes ópticos al espacio interior 22. En el presente ejemplo de realización, la fila de cámaras 26 comprende una cámara frontal 16a dispuesta en el
30 centro del soporte de cámara 14, cuyo eje óptico se orienta frontalmente hacia la cara de la persona sometida a la prueba, así como ocho cámaras laterales 16b dispuestas simétricamente por pares respecto a un plano de simetría perpendicular que se desarrolla a través del eje óptico de la cámara frontal 16a, de las que cuatro se orientan hacia la cara de la persona sometida a la prueba respectivamente desde la izquierda y cuatro desde la derecha. Las cámaras 16a, 16b se calibran además para que puedan tomar simultáneamente imágenes calibradas de la persona
35 sometida a la prueba. La calibración incluye las propiedades extrínsecas como la orientación relativa de sus ejes ópticos, así como la disposición relativa entre sí en el espacio, así como sus propiedades intrínsecas, es decir, las propiedades de las propias cámaras, que definen cómo un punto en el espacio, que se encuentra en el sistema de coordenadas interno de la cámara respectiva, se reproduce en las coordenadas de los píxeles de la imagen tomada.

40 El soporte de cámara 14 rodea el espacio interior 22 sólo por delante, hacia la columna 12 y hacia los lados, es decir, a izquierda y derecha de la cabeza de la persona sometida a la prueba. El mismo está abierto hacia arriba, hacia abajo, así como hacia una cara trasera 30, presentando los extremos libres 18 una distancia unos respecto a otros de al menos 25 cm, de manera que la persona sometida a la prueba pueda acercarse cómodamente por la cara trasera. En el ejemplo de realización mostrado, la distancia es de 70 a 80 cm.

45 Para la iluminación del espacio interior 22 se prevé un dispositivo de iluminación con una barra de luz superior 32, que se desarrolla por encima de la fila de cámaras 26, así como con una barra de luz inferior 34, que se desarrolla por debajo de la fila de cámaras 26, que presentan respectivamente una pluralidad de LEDs como fuente de luz. La barra de luz superior 32 y la barra de luz inferior 34 se extienden respectivamente de forma continua o con interrupciones a lo largo de una longitud que es al menos igual que la longitud de la fila de cámaras 26 medida en la
50 dirección perimetral entre los extremos libres 18. Ésta corresponde a un ángulo perimetral de al menos 160 grados. Cerca de los extremos libres 18, la barra de luz superior 32 y la barra de luz inferior 34 se unen entre sí por medio de una barra de luz adicional 36 que se desarrolla verticalmente. Por consiguiente, la fila de cámaras 26 está completamente rodeada por al menos una fila de LEDs. El dispositivo 10 presenta además un dispositivo de control o de regulación no representado en detalle en el dibujo, con el que se puede controlar o regular la intensidad luminosa emitida por los LEDs en dependencia de la intensidad luminosa detectada por las cámaras 16a, 16b. Los
55 LEDs de las barras de luz 32, 34, 36 se agrupan formando sectores, cuyas intensidades de luz emitidas se pueden controlar o regular por separado. Se prevé además que las intensidades de luz emitidas por los distintos LEDs también puedan controlarse o regularse por separado mediante el dispositivo de control o de regulación.

60 Para poder posicionar correctamente a la persona sometida a la prueba en el espacio interior 22, las dos cámaras laterales 16b más próximas a la cámara frontal 16a se diseñan para medir la distancia de la cabeza de la persona sometida a la prueba desde el centro 38 del soporte de cámara 14. Por medio de una unidad de indicación no

representada en detalle se muestra si la persona sometida a la prueba está de pie correctamente o no. La unidad de indicación presenta varias fuentes de luz de diferentes colores dispuestas en una fila. La fuente de luz central se ilumina en verde cuando la persona sometida a la prueba se encuentra en la posición correcta. Partiendo de la fuente de luz central, en cada dirección están disponibles una fuente de luz amarilla, una naranja y una roja en este orden, que indican, según el color, si la persona sometida a la prueba se encuentra un poco, bastante o demasiado lejos del centro 38 del soporte de cámara 14 o un poco, bastante o demasiado cerca del centro 38. Para asegurar en la determinación de los parámetros de centrado que la dirección visual de la persona sometida a la prueba se dirigen al infinito, se prevé un dispositivo de fijación 42 dispuesto en el soporte de cámara 14 que genera un patrón de fijación para la persona sometida a la prueba en forma de una interferometría de moteado. El patrón de fijación se dispone ligeramente más alto que la cámara frontal 16a, de manera que la persona sometida a la prueba mire por encima de ella. De este modo es posible registrar su rostro en la mayor medida posible.

El dispositivo 10 también resulta adecuado especialmente para la fabricación de un avatar de la cabeza de la persona sometida a la prueba que puede utilizarse para la determinación de los parámetros de centrado. Para ello, por medio de las cámaras 16a, 16b se toman imágenes calibradas de la cabeza de la persona sometida a la prueba sin gafas o sin la montura de gafas. Mediante un proceso adecuado para la determinación geométrica de la posición como, por ejemplo, la triangulación, se elabora un perfil de profundidad de la cabeza que reproduce muy bien la misma de forma aproximada. La cabeza se representa por medio de una pluralidad de puntos que se pueden conectar entre sí mediante un patrón de red o que se pueden almacenar como una nube de puntos. En la determinación posterior de los parámetros de centrado, el avatar así determinado puede utilizarse para determinar parámetros de centrado que no pueden determinarse o sólo pueden determinarse aproximadamente debido a las propiedades geométricas de las gafas o de la montura de las gafas que lleva la persona sometida a la prueba. Por ejemplo, un arco de montura ancho puede cubrir el ojo en una toma lateral hasta tal punto que la distancia del vértice corneal no pueda determinarse o sólo pueda determinarse de forma muy imprecisa. Además, las lentes teñidas o muy especulares no permiten identificar los ojos o sólo de forma muy deficiente. Para contrarrestar este inconveniente, el perfil de profundidad del avatar se proyecta sobre las imágenes tomadas por las cámaras 16a, 16b de la persona sometida a la prueba que lleva las gafas o la montura de las gafas, y los parámetros de centrado, que no pueden determinarse suficientemente debido a la visión limitada a través de las gafas o de la montura de las gafas, se determinan por medio de los datos de imagen del avatar. Para minimizar las desviaciones, el avatar puede adaptarse, en este caso, a las imágenes de la persona sometida a la prueba que lleva las gafas o la montura de las gafas.

El dispositivo 10 arriba descrito se puede utilizar como sigue para una detección de un vértice corneal basada en las pupilas, así como para una detección de un vértice corneal basada en los reflejos en ambos ojos de la persona sometida a la prueba.

En el método según la invención basado en las pupilas de acuerdo con la figura 2, la posición del vértice corneal en el espacio se determina en primer lugar en una primera aproximación como punto de intersección q de un primer haz visual 52 tangente a la córnea 50 de una de las cámaras laterales 16b, que toma una imagen lateral de la persona sometida a la prueba, con un segundo haz visual 56 orientado hacia la pupila 54 de la cámara frontal 16a que toma una imagen frontal de la persona sometida a la prueba. Por medio de un cálculo de corrección se calcula una posición corregida del vértice corneal en el espacio utilizando la ecuación $a = q + \mu * v + \mu * w$. En este caso, μ es un valor empírico o un valor real de la distancia entre el centro de la pupila y el vértice corneal que admite regularmente valores de entre 2,5 mm y 4 mm. v es un vector unitario de la dirección espacial desde el centro de la pupila p hasta la cámara frontal 16a, cuyas coordenadas se establecen con la variable $c1$, calculándose como $v = (p - c1) / |p - c1|$. w es un vector unitario de la dirección visual que se desarrolla a través del centro m de la esfera corneal y que se dirige al patrón de fijación del dispositivo de fijación 42 en el punto espacial t, calculándose con $w = (t - m) / |t - m|$. Todos los valores a, q, p, c1, t y m son vectores tridimensionales.

En la determinación alternativa basada en los reflejos, que no forma parte de la invención, de la posición del vértice corneal según las figuras 3a, 3b deben llevarse a cabo dos cálculos de corrección, refiriéndose el primer cálculo de corrección (figura 3a) a una corrección en la dirección x y refiriéndose la segunda corrección (figura 3b) a una corrección en la dirección y. Estas direcciones espaciales se determinan mediante un sistema de coordenadas interior de la cámara frontal 16a que tiene su punto cero en el centro óptico de la cámara frontal 16a. En este caso, la dirección z se determina mediante la dirección visual de la cámara frontal 16a, la dirección x es una dirección que se desarrolla horizontalmente, así como ortogonalmente a la dirección z y señala a la derecha visto en su dirección, y la dirección y se desarrolla ortogonalmente a la dirección x y a la dirección z, señalando hacia arriba en el espacio. En la medición basada en los reflejos, se emite un destello de luz por medio de una fuente de luz, en este caso un LED 58, cuyo reflejo en la córnea es detectado por la cámara frontal 16a y al menos por una de las cámaras laterales 16b, formando la primera aproximación a la posición del vértice corneal en el espacio. En las figuras 3a, 3b, el punto reflejo se identifica con "aprox". En la dirección x se realiza una corrección mediante la adición de $\Delta x = +/- r * \sin(\frac{1}{2} * (\arccos z/a + \arctan x/(z-v)))$ a la coordenada x del punto reflejo aprox, debiéndose utilizar el signo más cuando se aplica al ojo izquierdo y el signo menos cuando se aplica al ojo derecho (compárese figura 3a). En este caso, r es un valor empírico o un valor real del radio de la córnea que suele ser aproximadamente de 8 mm. a es la distancia del centro óptico de la cámara frontal 16a con respecto al punto reflejo aprox. y v es la distancia del LED 58 con respecto al centro óptico de la cámara frontal 16a en dirección z. x y z son las coordenadas en las direcciones x y z.

5 En la dirección y se realiza una corrección partiendo del punto reflejo aprox por medio de la adición de $\Delta y = \pm r \cdot \sin \frac{1}{2} \cdot (\arctan l/(d-v))$. r es a su vez el valor empírico o un valor real del radio de la córnea, d es la distancia del centro óptico de la cámara frontal 16a con respecto al punto reflejo aprox en la dirección z, v es la distancia del LED 58 con respecto al centro óptico de la cámara frontal 16a en la dirección z y l es la distancia del LED 58 desde el centro óptico de la cámara frontal 16a en la dirección y. El signo más se utiliza si el LED 58 se dispone debajo de la cámara frontal 16a, es decir, su coordenada y es más pequeña que la coordenada y de la cámara frontal 16a o de su centro óptico. Si el LED se dispone encima de la cámara frontal 16a, se utiliza el signo menos.

10 En los procedimientos descritos, la pupila o el punto reflejo aprox se pueden detectar, por ejemplo, mediante la extracción de características, emparejamiento de características y/o aprendizaje mecánico en comparación con una pluralidad de datos previamente conocidos. Este paso de detección puede ir precedido por un paso en el que un detector facial detecta qué puntos de imagen pertenecen a la cara de la persona sometida a la prueba o a su zona ocular, de manera que ya sea posible buscar de forma limitada la pupila o el punto reflejo aprox.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento implementado por ordenador para la detección de un vértice corneal, poniéndose a disposición una imagen frontal de una cabeza y una imagen lateral de la cabeza que se calibran una respecto a otra, determinándose a partir de la imagen frontal y de la imagen lateral, por medio de la determinación geométrica de la posición, la posición del vértice corneal en el espacio, sometiéndose la posición del vértice corneal a un cálculo de corrección y determinándose la posición del vértice corneal en el espacio en una primera aproximación como punto de intersección q de un primer haz visual (52) tangente a la córnea (50) de una cámara lateral (16b), que toma la imagen lateral, con un segundo haz visual (56) dirigido a la pupila (54) de una cámara frontal (16a) que toma la imagen frontal, caracterizado por que por medio del cálculo de corrección se determina la posición del vértice corneal según $a = q + \mu * v + \mu * w$, siendo a el vector de posición del vértice corneal en el espacio después de la realización del cálculo de corrección, q la posición del vértice corneal en la primera aproximación, μ un valor empírico o un valor real de la distancia entre un centro de la pupila y el vértice corneal, v un vector unitario de la dirección espacial desde el centro de la pupila hasta la cámara frontal, y w un vector unitario de la dirección visual a través del centro de la esfera corneal.
- 10 2. Procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, caracterizado por que en la determinación geométrica de la posición se utiliza un procedimiento de triangulación.
- 15 3. Procedimiento implementado por ordenador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la pupila o el punto reflejo se detectan mediante la extracción de características y/o el emparejamiento de características y/o mediante el aprendizaje mecánico en comparación con una pluralidad de datos previamente conocidos.
- 20 4. Procedimiento implementado por ordenador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que a partir de la imagen frontal se calcula un haz visual de la cámara frontal (16a) orientado hacia el vértice corneal, proyectándose el mismo en la imagen lateral, y por que el vértice corneal se detecta en el haz visual proyectado en la imagen lateral.
- 25 5. Procedimiento implementado por ordenador según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se pone a disposición al menos una tercera imagen calibrada, tomada simultáneamente con la primera y con la segunda imagen lateralmente con respecto a la cabeza.
- 30 6. Procedimiento para la determinación de una distancia de vértice corneal de una persona sometida a la prueba que lleva una montura de gafas o unas gafas, caracterizado por que la posición del vértice corneal en el espacio se determina por medio de un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, y por que la posición del vértice corneal en el espacio se utiliza para la determinación de la distancia del vértice corneal.
- 35 7. Programa de ordenador con un código de programa para la realización de todos los pasos del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, si el programa de ordenador se carga en un ordenador y se ejecuta en un ordenador.
- 40 8. Uso de un dispositivo (10) para la realización de un procedimiento implementado por ordenador según una de las reivindicaciones 1 a 5, presentando el dispositivo (10) un soporte de cámara (14) que rodea parcialmente un espacio interior (22) abierto por arriba, por abajo y hacia una cara trasera (30) y que soporta al menos tres cámaras (16a, 16b) dispuestas entre dos extremos libres (18) del soporte de cámara (14) y orientadas hacia el espacio interior (22), presentando el soporte de cámara (14) un dispositivo de iluminación (32, 34, 36) para la iluminación del espacio interior (22).
- 45 9. Dispositivo para la detección de un vértice corneal con una cámara frontal (16a) para la toma de una imagen frontal de una persona sometida a la prueba, con una cámara lateral (16b) para la toma de una imagen lateral de la persona sometida a la prueba, calibrándose la cámara frontal y la cámara lateral una respecto a otra, de manera que la imagen frontal y la imagen lateral se calibren una respecto a otra, y con un ordenador que presenta un procesador configurado para determinar, a partir de la imagen frontal y de la imagen lateral, la posición de un vértice corneal en el espacio por medio de una determinación geométrica de la posición, sometiéndose la posición del vértice corneal en el espacio a un cálculo de corrección, determinándose la posición del vértice corneal en el espacio en una primera aproximación como punto de intersección q de un primer haz visual (52) tangente a la córnea (50) de una cámara lateral (16b), que toma la imagen lateral, con un segundo haz visual (56) orientado hacia la pupila (54) de una cámara frontal (16a) que toma la imagen frontal, caracterizado por que por medio del cálculo de corrección se calcula la posición del vértice corneal según $a = q + \mu * v + \mu * w$, siendo a el vector de posición del vértice corneal en el espacio después de la realización del cálculo de corrección, q la posición del vértice corneal en la primera aproximación, μ un valor empírico o un valor real de la distancia entre un centro de la pupila y el vértice corneal, v un vector unitario de la dirección espacial desde el centro de la pupila hasta la cámara frontal, y w un vector unitario de la dirección visual que se desarrolla a través del centro de una esfera corneal.
- 50
- 55
- 60

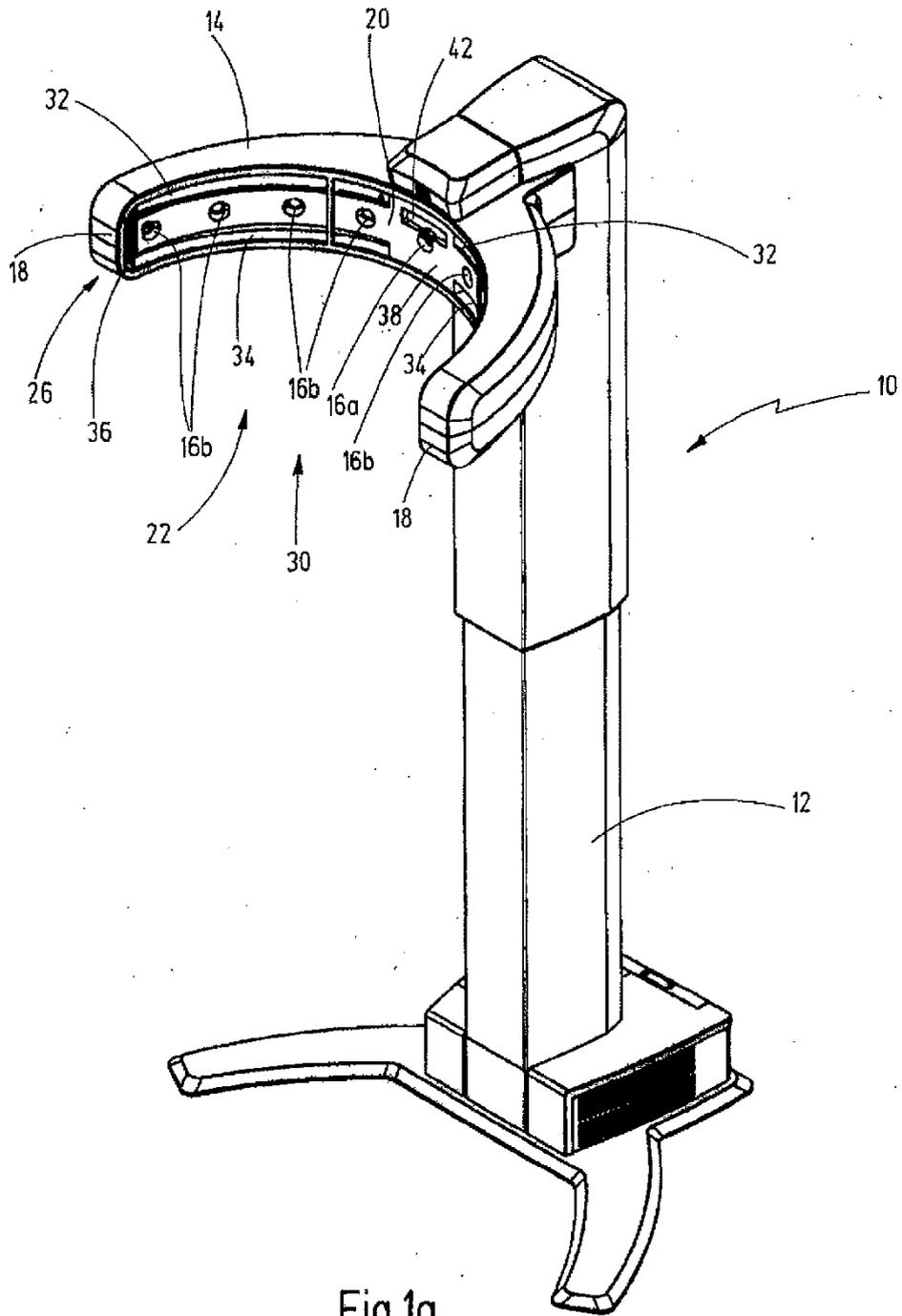


Fig.1a

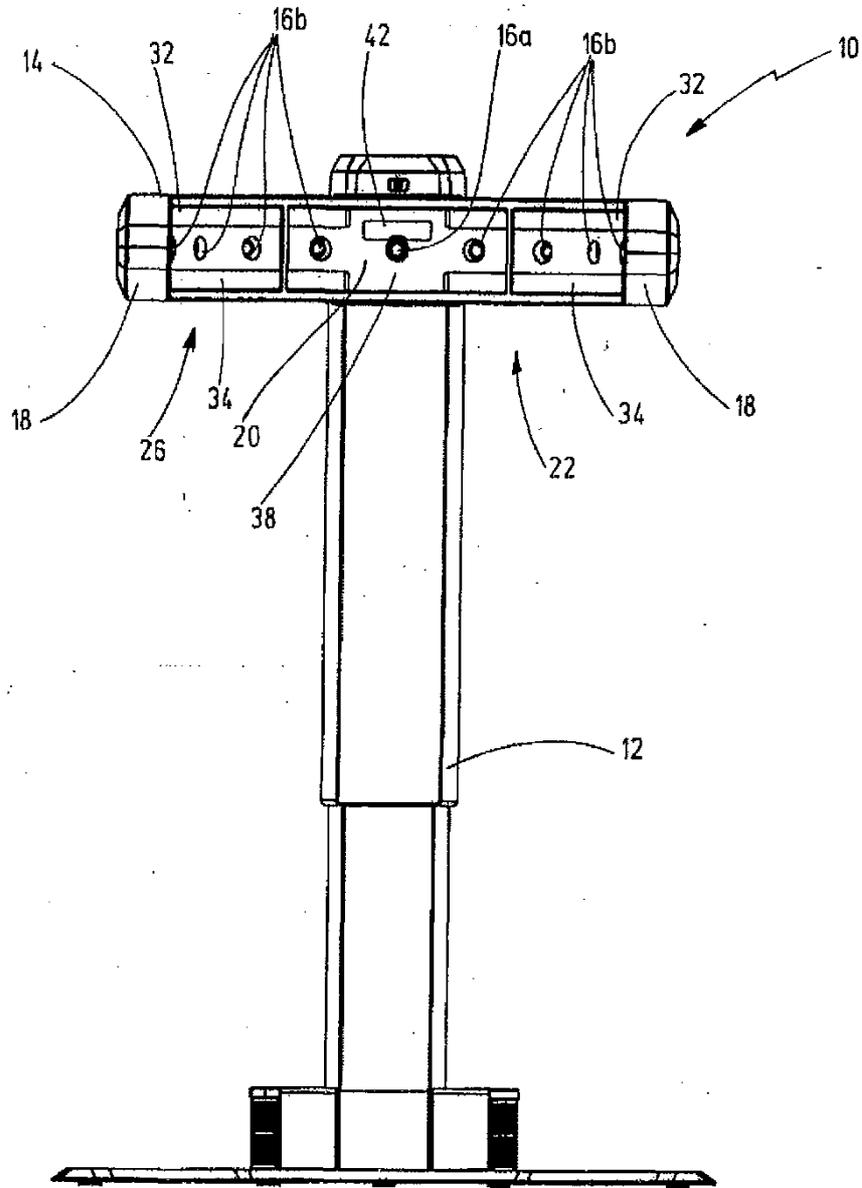


Fig.1b

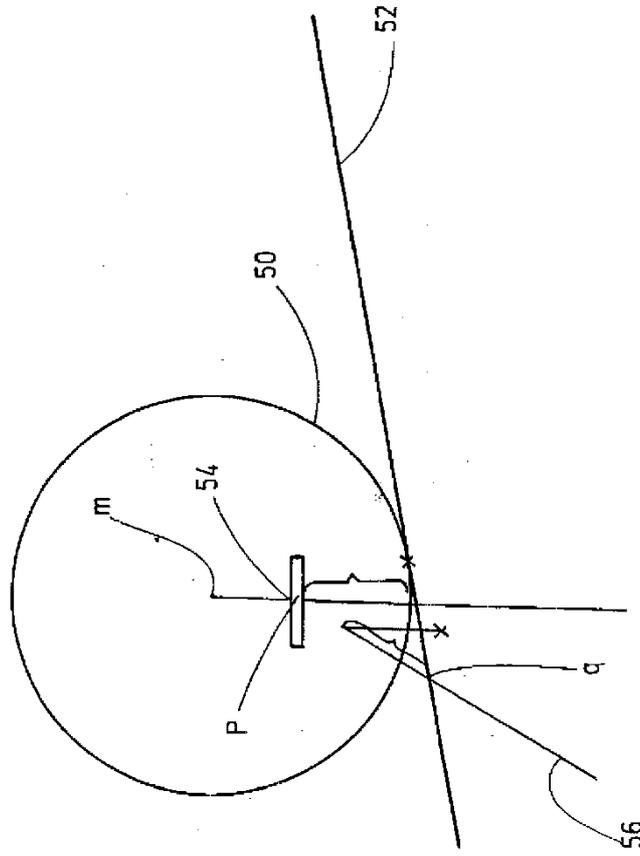


Fig.2

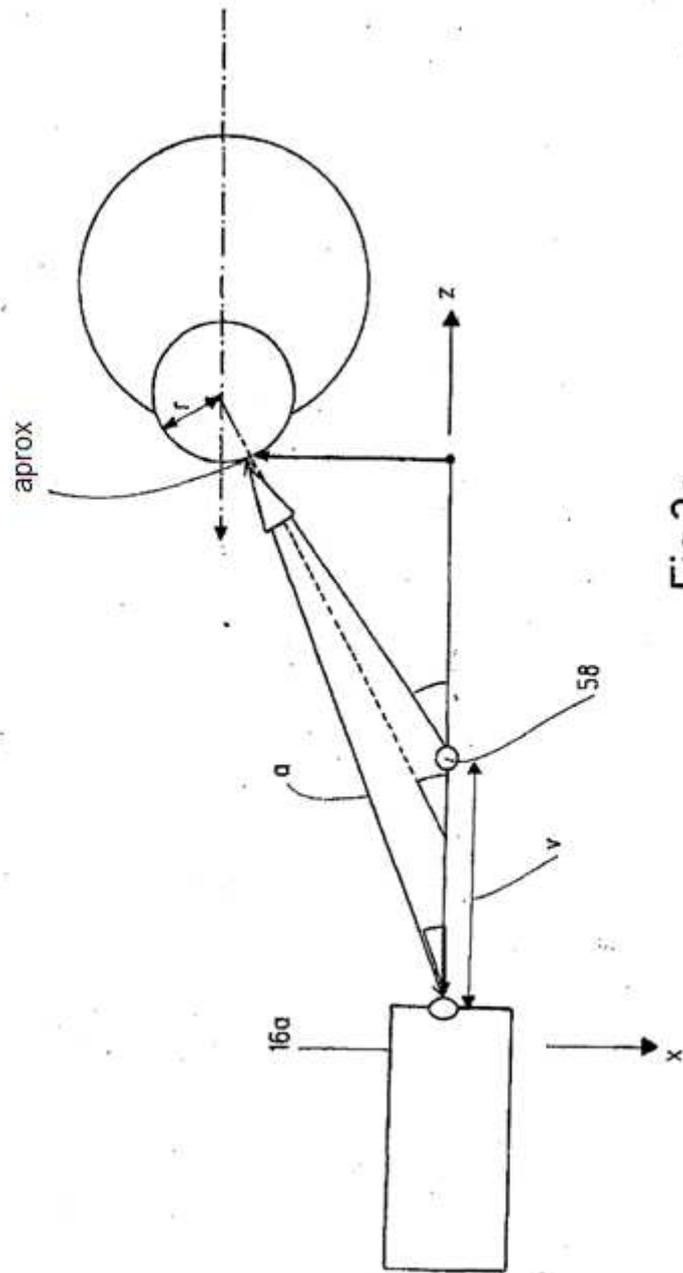


Fig.3a

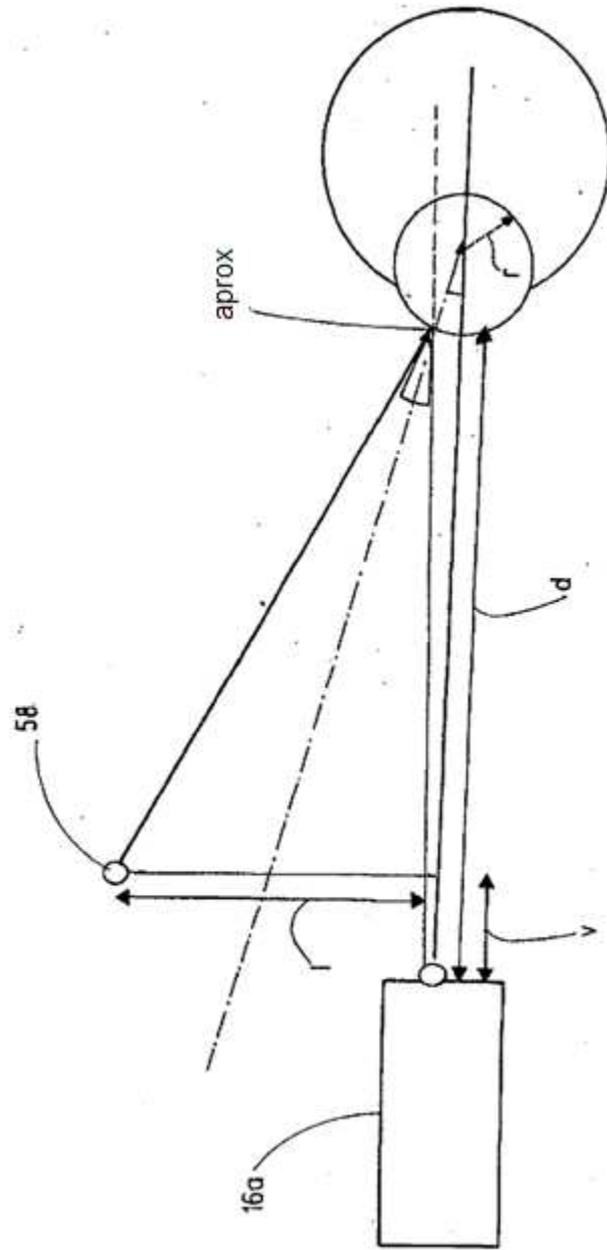


Fig.3b