

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 132**

51 Int. Cl.:

G02B 27/01 (2006.01)

G06F 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.10.2001 E 07013946 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2012 EP 1840627**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para la determinación de la orientación de un ojo**

30 Prioridad:

07.10.2000 WO PCT/EP00/09840

07.10.2000 WO PCT/EP00/09843

07.10.2000 WO PCT/EP00/09841

07.10.2000 WO PCT/EP00/09842

22.05.2001 WO PCT/EP01/05886

08.06.2001 DE 10127826

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

17.04.2013

73 Titular/es:

METAIO GMBH (100.0%)

INFANTERIESTRASSE 19 HAUS 4B

80797 MÜNCHEN, DE

72 Inventor/es:

EBERL, ROLAND H.C.;

EBERL, HEINRICH A. y

DICKERSON, DAVID

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 401 132 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

Dispositivo y procedimiento para la determinación de la orientación de un ojo.

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento para la determinación de la ubicación y/u orientación, particularmente de la dirección de observación de un ojo mediante captación en serie de un rayo de luz irradiado por una parte del ojo.

Estado de la técnica

El conocimiento de la orientación momentánea de un ojo es una condición necesaria para una pluralidad de las más diversas aplicaciones:

10 En medicina, durante el tratamiento de visiones defectuosas, desprendimientos de retina, degeneraciones maculares, etc. es necesario registrar cambios de orientación voluntarios y, sobre todo, involuntarios del ojo, para poder guiar posteriormente, por ejemplo, un rayo láser de forma adecuada de tal forma que incida respectivamente sobre el mismo punto sobre la retina o recorra una determinada trayectoria sobre la retina.

15 En psicología, la orientación del ojo permite diversas deducciones - de este modo, por ejemplo, un repentino giro intenso indica un incipiente ataque epiléptico o un desmayo. Se puede obtener una información considerablemente más extensa además a partir de la dirección de observación del ojo, que puede determinarse, por ejemplo, gracias a la mediatriz de la pupila. Con ello se puede analizar, por ejemplo, el patrón de reconocimiento de personas de ensayo al observar determinadas imágenes.

20 Además, el conocimiento de la dirección de observación ofrece la posibilidad de usar la información de dónde está mirando el observador en ese momento, para identificar el objeto fijado, ya sea un determinado punto de menú sobre una pantalla (virtual), un aparato a activar (interruptor de luz etc.) un objetivo seleccionado de un tirador de misiles o similares.

25 Además, el conocimiento de la orientación y, particularmente, de la dirección de observación del ojo posibilita por ejemplo proyectar informaciones visuales al interior del ojo, que están correlacionadas con la imagen del entorno percibida o la orientación virtual del observador (por ejemplo, durante el uso de gafas de realidad virtual o similares), de tal manera que las imágenes proyectadas al interior aparentemente descansan en el espacio o con respecto a un objeto o la imagen reflejada al interior cambia de forma correspondiente a la dirección de observación del usuario de las gafas de realidad virtual.

Por ello, para el registro de la orientación del ojo ya se han desarrollado diversos dispositivos y procedimientos:

30 El documento DE 196 31 414 A1 menciona sensores que se fijan directamente en el globo ocular. Estos representan, por un lado, naturalmente un considerable riesgo y alteración de la persona de ensayo, por otro lado, tampoco pueden registrar la dirección de observación del ojo (por ejemplo, en el caso de personas estrábicas) y, además, son bastante imprecisos con respecto a los movimientos oculares involuntarios frecuentemente mínimos.

35 Además, se menciona la toma integral de la imagen de reflejo de la retina mediante cámaras CCD, lo que, por un lado, es adecuado debido a la elevada exposición para la imagen de reflejo de poca intensidad luminosa, por otro lado, contiene una cantidad de datos muy elevada y, debido a ello, reducidas velocidades de procesamiento así como problemas de distorsión.

40 El documento que se ha mencionado anteriormente, por tanto, propone un dispositivo en el que una imagen del entorno reflejada por la retina se explora en serie mediante un dispositivo de exploración, se modifica electrónicamente y, a continuación, se vuelve a proyectar al interior del ojo.

En este caso, sin embargo, no se determina la orientación del ojo, particularmente la dirección de observación, sino que únicamente se proyecta una imagen del entorno reflejada y procesada a continuación en el mismo haz luminoso de vuelta a un ojo, para garantizar una superposición con la imagen percibida realmente.

45 En la solicitud WO02 097511 están descritos también diversos procedimientos y dispositivos para la adaptación de un sistema óptico a la dirección de observación del ojo humano.

50 El documento WO 99/42315, contiene más detalles con respecto al estado de la técnica, que propone un procedimiento para el control o el mando de sistemas mediante informaciones de imagen, en el que se registra un objeto o una escena con el ojo humano a través de una gafa optoelectrónica y la imagen de reflejo de la retina se toma para la obtención de informaciones de imagen. Las informaciones de imagen se evalúan y se comparan con datos almacenados. Las informaciones de imagen se toman en un proceso de exploración de la imagen de reflexión de la retina y se suministran a un sistema de procesamiento y almacenamiento de imágenes. Se propone el desencadenamiento de una función deseada mediante registro óptico; la función de mando de un aparato con los

ojos en un punto adecuado y activación de un único elemento de mando. A este respecto, el patrón reflejado por la retina se evalúa en la zona de la fovea central de ambos ojos. Una parte del ciclo de toma de la imagen puede usarse para localizar y seguir la abertura de la pupila y centrar en la misma el eje de simetría de la exploración de imagen. También se propone el ajuste de una alta resolución en la zona de la visión más aguda en la fovea central, que sin embargo disminuye intensamente hacia los bordes del campo visual en la retina.

Por tanto, el objetivo de la presente invención es poner a disposición un dispositivo y un procedimiento con los que se pueda determinar de forma rápida y precisa la ubicación y/o la orientación, particularmente la dirección de observación, de un ojo.

Resumen de la invención

De acuerdo con la invención, este objetivo se resuelve mediante el dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 y el procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10. En las reivindicaciones dependientes están descritas formas de realización preferentes de la invención.

La invención reivindicada se puede comprender mejor mediante los ejemplos de realización descritos a continuación de un dispositivo o de un procedimiento para la determinación de la orientación de un ojo. En general, los ejemplos de realización descritos describen ejemplos de realización preferentes de la invención. Sin embargo, el lector atento observará que algunos aspectos de los ejemplos de realización descritos van más allá del alcance de protección de las reivindicaciones. Siempre que los ejemplos de realización descritos realmente vayan más allá del alcance de protección de las reivindicaciones, los ejemplos de realización descritos han de considerarse una información adicional de fondo y no representan por sí mismos ninguna definición de la invención.

En un dispositivo o en un procedimiento para la determinación de la ubicación y/o la orientación, particularmente de la dirección de observación de un ojo, un punto inicial o final de un rayo de luz irradiado por una parte del ojo y registrado por un sistema de detector y/o de un rayo de luz proyectado por un sistema de proyección sobre o al interior del ojo, describe un patrón de movimiento de un movimiento de exploración y/o de proyección prácticamente de forma bidimensional en el ojo cuando se cambia en el tiempo la dirección del rayo de luz de acuerdo con el movimiento de exploración o de proyección.

Un dispositivo o un procedimiento para la determinación de la ubicación y/o la orientación, particularmente de la dirección de observación de un ojo de acuerdo con la presente invención, por tanto, se basa en que una señal luminosa irradiada por una parte del ojo se registra con ayuda de un sistema de detector y se evalúa. Además del sistema de detector, un dispositivo de acuerdo con la invención también comprende un sistema de proyección.

El término "ubicación" u "orientación", a este respecto, puede referirse a la ubicación o la orientación del ojo con respecto al dispositivo (posición relativa) o con respecto al entorno (posición absoluta). A continuación, por motivos de simplicidad, ubicación y/o orientación en ocasiones están resumidas en orientación, por tanto, el término "orientación" puede referirse constantemente a la orientación cinemática, la ubicación cinemática o a ambas.

Ambas posiciones, en caso necesario, con conocimiento de la ubicación u orientación del dispositivo con respecto al entorno, que se puede establecer, por ejemplo, mediante un dispositivo de determinación de la orientación adecuado (triangulación por láser, radar, receptor de *Global Positioning System* (GPS) o similares), se pueden transformar inequívocamente unas en otras según las reglas de la cinemática. A este respecto, el dispositivo de determinación de la orientación puede estar fijado en el propio dispositivo (por ejemplo, un receptor de GPS con unidad de evaluación asociada) y/o determinar la orientación del dispositivo desde el entorno (por ejemplo, mediante triangulación por láser o similares). La determinación de la orientación de un ojo puede comprender también la determinación de un cambio de la orientación del ojo con respecto a una ubicación de referencia elegida.

Un dispositivo de acuerdo con la invención puede estar configurado en una realización preferente en forma de una gafa. Del mismo modo, puede estar dispuesto o integrado, por ejemplo, también en un armazón que se puede llevar en la cabeza, un casco o similares. Del mismo modo puede estar dispuesto o integrado en un objeto móvil con respecto al entorno y con respecto al portador, tal como, por ejemplo, una agenda electrónica portátil, un ordenador portátil o similares.

En lo sucesivo se proponen ahora para cada una de las expresiones "parte del ojo", "señal luminosa", "dispositivo óptico", "detección y evaluación" diferentes características, que en un dispositivo de acuerdo con la invención o un procedimiento de acuerdo con la invención están combinadas de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 10.

En lo sucesivo, cuando sea apropiado, se describen las características de un procedimiento de acuerdo con la invención. A este respecto, siempre está desvelado expresamente un dispositivo que es adecuado para ejecutar el procedimiento propuesto, por ejemplo, un ordenador programado de forma adecuada, sensores que están en disposición de suministrar las señales de información necesarias, dispositivos de procesamiento de señal, que están en disposición de tratar de forma adecuada estas señales (filtrar, convertir D/A o A/D, almacenar o similares), etc. A la inversa, con la función de un dispositivo de acuerdo con la invención está desvelado también siempre un procedimiento correspondiente.

Como dirección de observación de un ojo se define en lo sucesivo preferentemente la recta a través del punto central de la pupila y la fóvea central, ya que un ser humano en el caso normal dirige su ojo de tal forma hacia un punto a observar que el mismo se reproduce en la zona de la visión más aguda. En la bibliografía se usa una pluralidad de distintos ejes, por ejemplo, el eje de fijación ("*fixation axis*") a través del punto observado fijado y la fóvea central, el eje visual ("*visual axis*") a través del punto nodal y la fóvea central o el eje acromático ("*achromatic axis*", eje con aberración cromática transversal que desaparece), que están establecidos, respectivamente, por relaciones geométricas (rectas a través de fóvea central, punto central de la pupila, del cristalino, punto focal, etc.). La presente invención no está limitada a la definición que se ha explicado anteriormente de la dirección de observación. Como alternativa puede usarse cualquier recta conocida por el experto como dirección de observación.

10 1. Señal luminosa

1.1 *Definición*

La parte esencial de la presente invención es un rayo de luz irradiado por una parte del ojo, que sirve para la determinación de la orientación y, particularmente, de la dirección de observación de un ojo. A este respecto, se denomina rayo de luz en el sentido de la óptica geométrica un haz de rayos. Su diámetro puede ser muy pequeño, en el caso límite infinitamente pequeño (entonces, el rayo de luz se convierte en el denominado rayo principal), preferentemente menor o igual a la pupila de entrada del detector. A este respecto se ha visto sorprendentemente que en contra de un prejuicio existente en el estado de la técnica se puede trabajar incluso con diámetros de rayos muy pequeños cuando se usan fuentes luminosas lo suficientemente intensas (por ejemplo, láseres o similares) y/o detectores lo suficientemente sensible. Además se señala explícitamente que la expresión "rayo de luz" puede comprender radiación electromagnética de cualquier longitud de onda, además de la luz visible, por tanto, particularmente también luz infrarroja. El término rayo de luz "irradiado" comprende tanto rayos de luz generados en el ojo, por ejemplo, la radiación de calor de vasos sanguíneos en la retina, como rayos de luz reflejados o dispersados en parte del ojo que inciden desde el exterior sobre el ojo.

1.2 *Exploración pasiva*

25 Preferentemente, como luz irradiada puede usarse luz ambiental que incide desde el entorno en el ojo abierto y en ese lugar se refleja en al menos una parte, tal como, por ejemplo, la retina. A continuación, de esta luz reflejada se selecciona de forma dirigida mediante un sistema de detector por píxeles respectivamente un rayo de luz y se registra o se capta. Esto se denomina en lo sucesivo "exploración pasiva".

30 Como luz irradiada puede usarse igualmente luz que se emite por una parte del ojo, por ejemplo, radiación térmica. A continuación, de esta luz emitida se elige de forma dirigida mediante dispositivos adecuados por píxeles respectivamente un rayo de luz y se capta o registra. Esto se denomina en lo sucesivo también "exploración pasiva".

En este caso, a diferencia de la presente invención, ventajosamente no es necesario ningún sistema de proyección. Tampoco se proyecta ninguna señal de imagen adicional molesta al interior del ojo. De la luz ambiental poliespectral, además, se pueden retirar mediante filtración rayos de luz de longitudes de onda particularmente adecuadas.

35 1.3 *Exploración activa*

Como alternativa, de acuerdo con la invención en primer lugar se puede proyectar mediante un sistema de proyección, por ejemplo, un láser u otro radiador, activamente luz al interior del ojo y, a continuación, captarse o registrarse un rayo reflejado en la parte correspondiente del ojo. Esto se denomina en lo sucesivo "exploración activa".

40 1.3.1 *Modulación*

De acuerdo con la invención, la luz irradiada activamente al interior del ojo puede estar modulada de forma adecuada, por ejemplo, para diferenciar la misma mediante un procesamiento de señal correspondiente de forma sencilla de la luz ambiental o poder determinar el momento de su determinación. A este respecto a lo largo del tiempo se cambia siempre una o varias magnitudes características de la luz irradiada activamente al interior, tales como, por ejemplo, la intensidad, la longitud de onda o frecuencia, la polarización, la densidad de rayos o similares.

1.3.1.1 *Modulación de amplitudes*

50 A continuación se denomina modulación de amplitudes una modulación en la que al menos una de las magnitudes características que se han indicado anteriormente en distintos periodos de tiempo o en distintos momentos presentan respectivamente valores determinados. Una luz modulada de esta forma, por ejemplo, se puede diferenciar de la luz ambiental debido a la magnitud característica y/o se puede determinar el momento de su irradiación.

1.3.1.2 *Modulación de frecuencia*

Como alternativa o junto con la modulación de amplitudes que se ha descrito anteriormente, la señal luminosa irradiada al interior activamente también puede estar modulada en frecuencia. A continuación se denomina

modulación de frecuencia el cambio de una periodicidad de al menos una de las magnitudes características que se han indicado anteriormente, es decir, una de las magnitudes cambia periódicamente y la duración de periodo de este cambio periódico presenta valores determinados en distintos periodos de tiempo o en distintos momentos. Mediante la duración de periodo de una señal luminosa registrada reflejada puede establecerse, por ejemplo, el momento de la emisión de esta señal luminosa y, por tanto, el tiempo de propagación de la señal luminosa.

1.3.1.3 Otra modulación

También pueden estar moduladas en amplitud y/o frecuencia una o varias magnitudes características del rayo de luz irradiado activamente al interior al mismo tiempo o una tras otra. Además, de forma análoga, no solo el valor (modulación de amplitudes) de al menos una magnitud característica del rayo de luz y/o la periodicidad (modulación de frecuencia) de esta magnitud puede estar modulado, es decir, presentar en distintos periodos de tiempo valores respectivamente determinados, sino, por ejemplo, también el ángulo de fase de magnitudes que cambian periódicamente (modulación de fases).

La señal luminosa puede estar modulada de otra forma de tal manera que contiene una información, por ejemplo, de cuándo se emitió o qué identifica la señal luminosa con respecto a la luz ambiental.

1.3.2 Adaptación de la intensidad luminosa activa

La exploración activa presenta, frente a la exploración pasiva, la ventaja de que se puede asegurar de que se irradia siempre luz con la suficiente intensidad del ojo, irradiándose al interior activamente y reflejándose correspondientemente mucha luz.

1.3.3 Diámetro de rayo

1.3.3.1 Iluminación puntual

De acuerdo con la invención, un rayo de luz que puede presentar un diámetro muy pequeño, se puede emitir por un irradiador, por ejemplo, un láser y conducirse de tal forma que sucesivamente, es decir, secuencialmente, se iluminen distintos puntos sobre la parte del ojo (iluminación puntual).

Los rayos de luz reflejados en estos puntos pueden registrarse de forma dirigida por un sistema de detector (exploración puntual). Por ejemplo, se emite respectivamente un rayo de luz y el rayo de luz reflejado se registra en el sistema de detector.

Del mismo modo, un sistema de detector con iluminación puntual puede registrar también una mayor zona, es decir, puede registrar al mismo tiempo rayos de luz que se reflejan en distintos puntos (exploración de tipo superficie). Ya que se ilumina de forma activa respectivamente solo un punto, el sistema de detector recibe también respectivamente solo un rayo de luz irradiado al interior activamente reflejado. Esto es ventajoso debido a que el sistema de detector no tiene que enfocarse sucesivamente en distintos puntos o ajustarse a rayos de luz de distintos puntos. Se señala que son posibles una exploración puntual o una de tipo superficie incluso con exploración pasiva y/o con iluminación de tipo superficie.

1.3.3.1.1 Registro de luz de toda la pupila

Un rayo de luz irradiado al interior del ojo, que preferentemente puede presentar un diámetro muy pequeño, se refleja de vuelta o se dispersa de vuelta en una parte reflectante del ojo, por ejemplo, la retina, en gran parte en una dirección determinada. Una parte de estos rayos de luz reflejados o dispersados en una dirección diferente de la determinada sale del ojo a través de la pupila y tiene un recorrido prácticamente coaxial con respecto al rayo principal reflejado. Los rayos de luz reflejados, que todavía están pasando a través de la pupila, se denominan rayos marginales. Preferentemente, el sistema de detector está configurado de tal manera que también se pueden registrar estos rayos marginales, por lo que aumenta ventajosamente la cantidad de luz registrable.

1.3.3.2 Iluminación de tipo superficie

En lugar de un único rayo de luz con un diámetro posiblemente muy pequeño, puede iluminarse activamente también una mayor zona del ojo a modo de superficie (iluminación de tipo superficie). Por ejemplo, un rayo de luz con mayor diámetro se puede dirigir de tal manera sobre el ojo que se ilumina respectivamente una zona entera de la retina o de la córnea y refleja luz. De esta luz reflejada puede elegirse entonces un rayo de luz reflejado usado para la determinación de la orientación de forma análoga a la exploración pasiva por el sistema de detector (exploración puntual).

Del mismo modo, el sistema de detector, al igual que en la exploración de tipo superficie que se ha descrito anteriormente, puede registrar también una mayor zona.

La luz irradiada al interior activamente puede estar modulada adecuadamente de tal manera que se puede elegir particularmente buena, presentado, por ejemplo, una determinada longitud de onda, polarización, etc. La zona iluminada puede comprender toda la parte del ojo en la que se refleja luz y se registra para la determinación de la

orientación del ojo. Como alternativa pueden iluminarse también sucesivamente subzonas, de tal manera que respectivamente se ilumina al menos el punto en el que se refleja luz y se registra para la determinación de la orientación del ojo.

1.4 Funcionamiento mixto

5 La exploración activa y la exploración pasiva están combinadas de acuerdo con la invención. De esta forma, la imagen percibida por el ojo se registra a partir de la luz ambiental reflejada y adicionalmente se irradia activamente al interior un rayo de luz para registrar mediante este rayo reflejado determinadas estructuras, rasgos o características del ojo (fóvea central, punto ciego, etc.).

10 Ventajosamente pueden estar combinados también distintos tipos pasivos y activos de exploración. De este modo pueden estar combinadas las ventajas de ambos procedimientos. Por ejemplo, una luz irradiada activamente al interior y reflejada en la retina puede registrarse en el intervalo del infrarrojo. Al mismo tiempo puede registrarse una imagen del entorno reflejada por la retina.

1.5 Longitud de onda

15 En la exploración pasiva, de la luz ambiental, que puede comprender tanto el intervalo de la luz visible como el espectro restante de radiación electromagnética, particularmente radiación infrarroja, como se ha descrito anteriormente pueden retirarse por filtración determinadas longitudes de onda, es decir, absorberse o dejarse pasar, que se pueden registrar de forma particularmente buena. Con la exploración activa puede usarse asimismo tanto luz visible como radiación electromagnética de otros intervalos de longitud de onda, particularmente luz del intervalo ultravioleta o infrarrojo. La luz infrarroja es particularmente ventajosa, ya que la señal activa adicional no es percibida por el ojo.

1.6. "Punto móvil"

25 Durante la exploración tanto pasiva como la activa se captan preferentemente en serie y evalúan rayos de luz irradiados. Es decir, los rayos de luz que se irradian de determinados puntos ("píxeles") a lo largo de una curva sobre la parte correspondiente del ojo se registran sucesivamente por el sistema de detector. Esta exploración secuencial se denomina procedimiento de "punto móvil", ya que en este caso el punto de observación ("spot") del sistema de detector prácticamente explora la curva. En general, los procedimientos de exploración y proyección, en los que se exploran en serie o iluminan áreas limitadas en el espacio típicamente a lo largo de una curva recta o curvada en el lenguaje técnico se denominan con frecuencia procedimientos de "punto móvil" (procedimientos de "Flying-Spot" por el inglés).

30 En la presente solicitud en el sentido matemático se denomina curva cualquier secuencia continua o discreta de puntos bi o tridimensionales, pudiendo estar asociados uno o varios valores a cada punto. Para evitar confusiones, la curva de los puntos del ojo que se iluminan o exploran se denomina en lo sucesivo trayectoria o patrón de movimiento. Es decir, los puntos iniciales o finales de los rayos de luz iluminados o registrados describen un patrón de movimiento bi o tridimensional en o sobre el ojo. El patrón de movimiento que se obtiene durante la exploración o el registro de los rayos de luz se denomina patrón de movimiento del movimiento de exploración o patrón de exploración. El patrón de movimiento que se obtiene durante la proyección de los rayos de luz se denomina patrón de movimiento del movimiento de proyección o patrón de proyección.

40 Durante la exploración de tipo superficie se reproduce una estructura tridimensional, por norma general curvada del ojo sobre una imagen bidimensional. A este respecto se producen distorsiones indeseadas. Además, el enfoque sobre una superficie tridimensional es problemático.

45 En muchos sistemas de información convencionales referidos a los ojos se registran señales ópticas mediante un detector plano a modo de superficie del ojo o se proyectan mediante un proyector plano a modo plano en el ojo. Esta forma de proceder conlleva la desventaja de que una reproducción ópticamente correcta de una parte curvada del ojo sobre un detector plano o de un proyector plano sobre una parte curvada se puede conseguir solo con una considerable complejidad. Este problema aparece solo en un grado considerablemente reducido con el procedimiento de punto móvil.

Ventajosamente, durante la exploración secuencial o puntual se reproduce respectivamente un punto de una estructura del ojo sobre un punto de imagen. Por ello se pueden reducir los problemas que se han representado anteriormente de distorsión o enfoque.

50 Por tanto, también el uso de rayos de luz con diámetro pequeño es ventajoso. Ventajosamente, por tanto, los rayos de luz usados presentan en la transición de aire-globo ocular un diámetro inferior a 100 μm , preferentemente inferior a 50 μm , de forma particularmente preferente inferior a 10 μm o de forma particularmente ventajosa inferior a 5 μm .

El procedimiento de punto móvil se aplica, además, debido a su compatibilidad con un elemento holográfico, preferentemente, el procedimiento de acuerdo con la invención.

1.6.1 *Explorador de espiral, círculo o elipse*

Con el uso de equipos de desviación controlados mecánicamente tales como espejos o similares, como curvas son ventajosos, por ejemplo, círculos, elipses o espirales, ya que en este caso los equipos de desviación efectúan movimientos armónicos (por ejemplo, movimiento ascendente-descendente sinusoidal o similares, véase la sección "dispositivos ópticos"), lo que disminuye intensamente la excitación de vibraciones indeseadas de estos equipos. Esto garantiza una mayor precisión de la determinación de la orientación del ojo debido a los errores sistemáticos disminuidos durante la desviación del rayo de luz. Del mismo modo puede explorarse, por ejemplo, también una retícula de líneas-filas.

También incluso sin equipos de desviación mecánicos son ventajosos como curvas, por ejemplo, círculos, elipses o espirales: la percepción monocular humana presenta esencialmente simetría de rotación alrededor de un eje visual que tiene un recorrido a través de la fovea central y el punto central óptico del cristalino. De forma correspondiente, muchas partes del ojo, por ejemplo, el iris, la pupila, la córnea, el cristalino y en algunos aspectos incluso la retina en la mayoría de los seres humanos están configuradas prácticamente con simetría de rotación alrededor del eje visual.

El ojo, por tanto, de acuerdo con la invención barrerá preferentemente de acuerdo con el procedimiento de punto móvil con un patrón de exploración de proyección espiral o circular, preferentemente alrededor del eje visual, pudiéndose entender por "circular" una pluralidad de círculos concéntricos. En caso de que los rayos de proyección o exploración se encuentren correspondientemente de forma perpendicular con respecto al eje visual, puede ser ventajoso el uso de un patrón de exploración o proyección elipsoidal, lo que se ha descrito en el documento DE 197 28 890 A1. En este sentido se hace referencia en su totalidad al documento DE 197 28 890 A1.

1.6.2 *Rayos perpendiculares al ojo*

En caso de que incidan rayos de luz perpendicularmente sobre la transición de aire-globo ocular, se refleja de vuelta una cierta parte de la luz en la dirección opuesta al rayo de luz incidente, mientras que la parte restante irradia a través prácticamente sin impedimentos, después de lo cual se absorbe o dispersa por partes "situadas más profundas" del ojo. Lo primero se cumple de forma análoga para rayos de luz que salen del ojo a través de la transición de córnea-aire.

En un procedimiento de acuerdo con la invención se proyecta o explora preferentemente de acuerdo con el procedimiento de punto móvil. A este respecto se usa, preferentemente, un rayo de luz "estrecho", que presenta en la transición de aire-globo ocular un diámetro insignificante en comparación con la curvatura del globo ocular, particularmente con respecto a la curvatura de la córnea. Ventajosamente, el rayo de luz se proyecta o explora de tal manera que todos sus rayos individuales se encuentran en la medida de lo posible en perpendicular con la transición de aire-globo ocular.

La córnea, es decir, la transición de aire-córnea, causa aproximadamente el 80% de la refracción ejercida por el ojo sobre un rayo de luz que incide sobre el mismo. Por ello, la forma de proceder que se ha descrito anteriormente no solo tiene la ventaja de que se refracta poca luz en la transición de aire-córnea en una dirección inútil, sino también la ventaja de que los rayos experimentan una refracción reducida mediante el sistema óptico del ojo. Esto se manifiesta positivamente no solo sobre la precisión en el espacio de la proyección o exploración, sino que también es ventajoso en aplicaciones en las que la geometría de los rayos de luz desempeña un papel esencial.

El hecho de que los rayos que inciden perpendicularmente sobre el ojo se reflejan de vuelta parcialmente en la dirección opuesta puede usarse para obtener informaciones acerca de la topología del ojo. Esto puede realizarse, por ejemplo, a través de una disposición de proyector-detector que comprende un sistema de proyección y un sistema de detector, que proyecta la luz aproximadamente en perpendicular sobre el ojo y que a continuación establece la coaxialidad del rayo de luz reflejado de vuelta registrado y del rayo de luz proyectado. Si estos rayos de luz no son esencialmente coaxiales (particularmente la superficie de la córnea presenta muchas irregularidades micro y macroscópicas y, por ello, no debe considerarse superficie que refleja de forma lisa), a partir de esto se puede deducir que el rayo de luz proyectado no ha incidido perpendicularmente sobre el ojo. Tales informaciones acerca de la topología del ojo pueden usarse, entre otras cosas, para el establecimiento de la ubicación y/u orientación del ojo.

Para una disposición de este tipo de proyector-detector es razonable una disposición confocal del sistema de proyección y del sistema de detector, por ejemplo, a través de un espejo divisor.

El uso de acuerdo con la invención de un elemento holográfico es ventajoso particularmente durante la proyección o la exploración de un rayo de luz que tiene un recorrido perpendicular con respecto al ojo, ya que una configuración virtual de este tipo sencilla de un dispositivo de conducción de luz posibilita que los rayos de luz se puedan desviar desde un único sistema de proyección de forma perpendicular sobre distintas áreas del ojo y/o rayos de luz que salen o reflejados de vuelta perpendicularmente de distintas áreas del ojo, a un único sistema detector.

Anteriormente se han descrito con detalle las distintas señales luminosas que se pueden usar en un dispositivo de acuerdo con la invención o en un procedimiento de acuerdo con la invención. A continuación se detalla la parte del ojo de la cual se pueden irradiar estos rayos de luz.

2. *Parte del ojo que irradia*

5 Para la determinación de la orientación y, particularmente, de la dirección de observación del ojo se registra un rayo de luz irradiado en al menos una parte del ojo. A este respecto, debido a su comportamiento de reflexión o emisión y particularmente debido a determinados rasgos característicos existentes en los mismos de distintas zonas del ojo son razonables, que se detallan a continuación. Sin embargo, del mismo modo puede usarse también luz para la determinación de la orientación del ojo que se irradia por otras partes del ojo no mencionadas explícitamente en este caso.

2.1 *Córnea*

10 De acuerdo con la invención se pueden usar rayos de luz para la determinación de la orientación del ojo que se irradian por la córnea. Preferentemente, a este respecto, se usan los rayos de luz que se reflejan en la superficie externa, anterior en la dirección de observación.

15 La córnea presenta en su superficie externa siempre una pluralidad de irregularidades microscópicas (por ejemplo, pequeñas cicatrices causadas por partículas extrañas tales como polvo, etc.) y/o macroscópicas (por ejemplo, debido a una intervención quirúrgica en la córnea), que ciertamente han desaparecido parcialmente después de poco debido a procesos de cicatrización, sin embargo, durante un tiempo suficiente representan respectivamente un rasgo ópticamente registrable propio del cuerpo con respecto a la orientación del ojo. Del mismo modo, la córnea puede presentar también otras características significativas, tales como, por ejemplo, turbideces o decoloraciones, que se pueden utilizar asimismo para la determinación de la orientación.

20 Por ejemplo, para la determinación de la orientación del ojo se puede registrar una o varias de estas irregularidades y esta irregularidad o irregularidades se pueden “seguir” a lo largo del tiempo, es decir, por ejemplo se puede registrar su respectiva ubicación en una reproducción bidimensional. A partir del cambio de la ubicación de la irregularidad o irregularidades se puede determinar entonces un cambio de orientación del ojo.

25 Del mismo modo, por ejemplo, para la determinación de la orientación del ojo se puede crear un mapa de referencia de la córnea en el que está almacenada la ubicación de distintas características significativas con respecto a un sistema de coordenadas de referencia. Si se explora ahora el ojo de nuevo de la misma forma, un reconocimiento de imagen o de patrón puede reconocer las características significativas en el mapa recién creado y establecer mediante comparación de la ubicación y orientación de las características a partir del mapa de referencia o el nuevo un cambio de orientación del ojo (véase también la sección “evaluación”).

30 Como alternativa o adicionalmente se puede registrar también un rayo de luz irradiado o reflejado por o en la superficie de la córnea posterior en la dirección de observación. Mediante este rayo de luz se puede registrar, por ejemplo, la imagen de reflejo característicamente oscura de la fosa macular en la superficie posterior, cuya posición sobre la córnea indica directamente la orientación del ojo. Asimismo puede establecerse el desplazamiento de fases entre los rayos de luz reflejados en la superficie anterior y en la posterior (por ejemplo, según Purkinje).

2.2 *Esclerótica, iris, pupila*

35 De acuerdo con la invención se pueden usar rayos de luz que se irradian por el iris o la esclerótica limitante. Como consecuencia de los grados de reflexión de diferente intensidad de la esclerótica blanca, el iris coloreado y la pupila que prácticamente se traga la luz, a partir de los rayos irradiados se pueden determinar por norma general de forma muy sencilla las transiciones esclerótica-iris y/o iris-pupila. Con ello se puede determinar, por ejemplo, la ubicación de la pupila y/o del iris, deduciéndose mediante una luminosidad que cambia intensamente de la luz reflejada una transición iris-pupila y hallarse de este modo puntos sobre la periferia de la pupila (véase la sección “evaluación”).

40 Adicionalmente o como alternativa se puede determinar también la estructura del iris. Esta presenta rasgos característicos (patrones, diferencias de color, lesiones o similares), cuya ubicación se puede almacenar, por ejemplo, un mapa de referencia y compararse con la ubicación identificada actualmente de las mismas características para determinar de este modo una orientación del ojo. Como en la córnea, por tanto, mediante el registro de determinados rasgos característicos puede establecerse una orientación del ojo.

2.3 *Retina*

50 Preferentemente, de acuerdo con la invención se pueden usar rayos de luz que se irradian por la retina. A partir de esto se pueden establecer rasgos característicos de la retina, por ejemplo, vasos sanguíneos individuales de mayor tamaño o la mácula con la fovea central, que permiten no solo la determinación de la orientación, sino, por ejemplo, junto con el centro de la pupila particularmente también de la dirección de observación del ojo, que puede estar definida como recta a través del punto central de la pupila y la fovea centra (véase también la sección “evaluación”).

55 Del mismo modo es posible registrar a partir de la luz ambiental reflejada por la retina una imagen de reflejo del entorno, que posibilita deducciones acerca del entorno percibido. Por ejemplo, entonces, a partir de un desplazamiento en el tiempo o distorsión de la imagen de reflejo del entorno puede determinarse el cambio de la orientación del ojo con respecto al entorno.

Para la diferenciación, a continuación la imagen del entorno, que se genera por la luz que incide del entorno a la retina y que se refleja por la retina de nuevo al menos parcialmente, se denomina imagen de reflejo de entorno (de la retina) (exploración pasiva) mientras que la imagen que se obtiene a partir de la luz irradiada al interior activamente sobre la retina y reflejada por la misma, se denomina imagen de reflejo de la retina (exploración activa).

- 5 Después de la explicación de las distintas señales luminosas y las distintas partes del ojo, desde las cuales las mismas se pueden irradiar y se pueden usar para la determinación de la orientación del ojo, a continuación se detallan los dispositivos ópticos con los que se captan los rayos de luz y eventualmente se pueden irradiar previamente.

3. Dispositivos ópticos

- 10 La presente invención comprende un sistema de detector. Este comprende un detector para el registro de rayos de luz, que se irradian, tal como se ha descrito anteriormente, por una determinada parte del ojo. Adicionalmente, el sistema de detector puede comprender una primera disposición conductora de luz (dispositivo conductor de luz de detector), por ejemplo, para la desviación y/o el enfoque de rayos de luz, con la que, por ejemplo, los distintos rayos de luz irradiados por una parte del ojo se conducen al detector y/o se pueden enfocar sobre su zona de receptor.
- 15 Preferentemente, este dispositivo conductor está diseñado de tal manera que los rayos de luz que se han irradiado por distintos puntos del ojo se conducen sucesivamente, es decir, secuencialmente al detector, de tal manera que el mismo registra una secuencia correspondiente de puntos de imagen.

- Con el fin de una exploración activa, un dispositivo de acuerdo con la invención comprende, además del sistema de detector, al menos otro dispositivo óptico, concretamente un sistema de proyección para la proyección de luz. El sistema de proyección comprende un irradiador para la emisión de luz. Además, el sistema de proyección puede comprender un dispositivo de modulación de luz, para modular de forma adecuada, por ejemplo, la luz emitida por el irradiador. Además, el sistema de proyección comprende una disposición conductora de luz de proyección para la desviación y/o el enfoque de los rayos de luz emitidos, con la que se conducen y/o enfocan, por ejemplo, sucesivamente rayos de luz que se emiten por el irradiador sobre determinados puntos del ojo. Preferentemente, el dispositivo conductor de luz de detector se usa al menos parcialmente por el sistema de proyección. Por ejemplo, la luz se puede irradiar al interior en primer lugar activamente sobre el ojo y la luz reflejada se puede conducir al detector en el mismo haz luminoso. Por ello, para la proyección y registro se usa al menos parcialmente el mismo haz luminoso. Esto es ventajoso debido a que se pueden compensar errores sistemáticos del dispositivo conductor de luz de modo que el sistema de proyección puede prescindir al menos parcialmente de una disposición conductora de luz propia. Además es ventajoso que el detector registre prácticamente de forma automática la señal luminosa emitida por el irradiador y no se tenga que ajustar por sí mismo al punto que refleja del ojo.
- 20
- 25
- 30

A continuación, estos elementos individuales de dispositivos ópticos de acuerdo con la invención se explican con más detalle individualmente.

3.1 Detector

- 35 Un sistema de detector comprende un detector para el registro de rayos de luz. El detector presenta una zona de receptor y registra al menos una magnitud característica de rayos de luz, que inciden sobre esta zona de receptor, por ejemplo, la energía de radiación o la potencia de radiación, la intensidad de irradiación, la longitud de onda o la frecuencia, la polarización o similares. El detector emite una señal de forma correspondiente a la magnitud o las magnitudes registradas. Mediante un dispositivo adecuado, por ejemplo, un convertidor analógico/digital y/o un filtro, esta señal puede procesarse eventualmente de forma adecuada antes de la emisión. Por ejemplo, un detector optoelectrónico puede registrar una señal óptica y emitir una señal eléctrica correspondiente, un detector óptico puede registrar una señal óptica y emitir una señal óptica correspondiente.
- 40

- Por ejemplo, el detector puede comprender un fotodiodo, en el que durante la irradiación fluye una corriente, a partir de cuya intensidad se puede establecer la intensidad de iluminación. El detector puede presentar también un fotoresistor, cuya resistencia óhmica cambia dependiendo de la luz absorbida. A partir del cambio de la resistencia puede establecerse a su vez la irradiación. Del mismo modo, el detector puede comprender una fotocélula, un fototransistor, un fotomultiplicador, un tubo amplificador de imagen o en principio cualquier otro elemento constructivo que posibilite el registro de una magnitud física de un rayo de luz que incide sobre el elemento constructivo.
- 45

50 3.2 Disposición conductora de luz de detector

- Preferentemente, el detector que se ha descrito anteriormente registra sucesivamente rayos de luz que se irradian por distintos puntos del ojo. Para esto, el propio detector puede estar configurado o controlado correspondientemente de tal manera que puede registrar sucesivamente de forma dirigida rayos de luz, que inciden desde distintas direcciones o sobre distintos puntos de su zona de receptor. Como alternativa o adicionalmente puede estar presente una disposición conductora de luz de detector, que conduce respectivamente un rayo de luz sobre la zona de receptor del detector y/o que enfoca el rayo de luz sobre la zona de receptor. La disposición conductora de luz de detector puede estar controlada de tal manera que se conducen sucesivamente rayos de luz sobre el detector, que inciden desde distintas direcciones sobre la disposición conductora de luz de detector.
- 55

Mediante control en el tiempo correspondiente de la disposición conductora de luz de detector, de este modo, de forma dirigida sucesivamente se pueden conducir los rayos de luz sobre el detector, que se irradiaron desde determinados puntos del ojo. El punto de observación (“spot”) del detector, con ello, describe un patrón de movimiento sobre una parte del ojo, por tanto, explora esta zona con un determinado patrón de movimiento.

- 5 Como disposición conductora de luz de detector es posible cualquier dispositivo que cumpla esta función, es decir, que se pueda controlar de tal manera que sucesivamente se conduzcan y/o enfoquen rayos de luz de distintas direcciones predefinidas o determinables respectivamente sobre la zona de receptor del detector. A continuación se explican con más detalle algunas posibles características de tales dispositivos.

3.2.1 Espejo

- 10 Una disposición conductora de luz de detector puede comprender uno o varios espejos. Su orientación entre sí, con respecto al ojo, cuya orientación ha de determinarse y con respecto al detector se puede ajustar de tal manera que los rayos de luz que se irradiaron de determinados puntos del ojo se conducen sobre el detector. A este respecto, algunos de estos espejos pueden estar dispuestos de forma fija con respecto al detector (“espejos fijos”), mientras que otros espejos se pueden graduar en su orientación (“espejos móviles”).
- 15 La orientación de los espejos móviles se puede controlar de tal manera que se puede explorar un patrón deseado de movimiento, es decir, que sucesivamente se conducen rayos de luz que se irradiaron de determinados puntos del ojo sobre el detector. Debido a la reversibilidad del haz luminoso, el dispositivo conductor de luz de detector se puede entender también de tal manera como si se emitiese un rayo de luz imaginario por el detector y se condujese y/o enfocase mediante la disposición conductora de luz del detector sobre el punto del ojo que se ha de explorar en ese momento por el detector.
- 20

3.2.2 Holografía

- De acuerdo con la invención se usan uno o varios elementos holográficos que causan la desviación deseada de los rayos de luz. Tales elementos holográficos presentan, por ejemplo, con respecto a espejos convencionales varias ventajas. Por un lado presentan un menor peso que un espejo. Por otro lado, pueden estar diseñados de tal manera que no son percibidos por el propio ojo. Sobre todo, es posible producir elementos holográficos con un comportamiento de reflexión prácticamente discrecional. Por ejemplo, un elemento holográfico puede reflejar luz solo en un determinado intervalo de longitud de onda. Si este intervalo de longitud de onda se encuentra, por ejemplo, en el intervalo del infrarrojo, el elemento holográfico no se puede percibir por el ojo. Un elemento holográfico puede ser, por ejemplo, un revestimiento holográfico sobre un soporte.
- 25
- 30 Si se usa un elemento holográfico en lugar de un espejo móvil para la desviación modificable de rayos de luz, el cambio requerido en este caso de la orientación de la reflexión puede realizarse de forma análoga al espejo móvil mediante un cambio de orientación del elemento holográfico. No obstante, del mismo modo, el comportamiento de reflexión del elemento holográfico se puede cambiar, por ejemplo, electrónicamente, lo que posibilita una exploración considerablemente más rápida y precisa. Para esto, el elemento holográfico tiene que ser electro-holográfico.

35 3.2.3 Otros elementos

El dispositivo conductor de luz de detector puede comprender otros elementos ópticos particularmente, por ejemplo, obturadores que limitan el diámetro del rayo de luz registrado y, por tanto, limitan la zona explorada de la parte explorada del ojo en el espacio, o lentes ópticas o electro-ópticas que ensanchan o enfocan de forma adecuada el rayo de luz, por ejemplo, sobre la zona de receptor del detector.

40 3.3 Sistema de proyección

- Para el fin de una exploración activa, además del detector y eventualmente la disposición conductora de luz de detector está presente adicionalmente un sistema de proyección con un irradiador que emite rayos de luz. Además, el sistema de proyección puede comprender un dispositivo de modulación de la luz para modular adecuadamente la luz emitida por el radiador. Además, el sistema de proyección comprende una disposición conductora de luz de proyección para la desviación y/o el enfoque de los rayos de luz emitidos, con la que se conducen y/o enfocan, por ejemplo, sucesivamente rayos de luz que se emiten por el irradiador sobre determinados puntos del ojo. Estos elementos se explican a continuación.
- 45

3.3.1 Irradiador

- Un irradiador emite rayos de luz que inciden preferentemente sobre una parte del ojo y se reflejan por el mismo. Como irradiador se puede concebir, por tanto, en principio cualquier dispositivo que pueda emitir rayos de luz, por ejemplo, bombillas, láseres, LED o similares. Ventajosamente se puede ajustar al menos una de las magnitudes físicas de la luz emitida por el irradiador, de tal manera que la luz emitida se pueda diferenciar de la luz ambiental. Por ejemplo, un láser puede emitir luz solo en un determinado intervalo de longitud de onda estrechamente limitado o el irradiador emite rayos de luz con un patrón determinado en el tiempo con respecto a intensidad, longitud de onda o similares.
- 50
- 55

El término “irradiador” puede comprender en la presente invención también varias fuentes de luz individuales, por ejemplo, LED de distinto color o láseres que pueden emitir luz con diferentes longitudes de onda.

3.3.2 Dispositivo de modulación de la luz

5 La luz emitida por el irradiador puede modularse adecuadamente en un dispositivo de modulación de la luz antes de que incida sobre el ojo. Por ejemplo, un dispositivo de modulación de la luz puede comprender un filtro de color que deja pasar solamente luz de una determinada longitud de onda. Del mismo modo, un dispositivo de modulación de la luz puede comprender un filtro de polarización que deja pasar solamente luz de una determinada polarización. Estos filtros y otros pueden controlarse de tal manera que se puede modular la luz a lo largo del tiempo.

3.3.3 Disposición conductora de luz de proyección

10 Para conducir la luz emitida por el irradiador hacia el punto donde debe reflejarse, para registrarse a continuación en el dispositivo de acuerdo con la invención, existe una disposición conductora de luz de proyección en la que entra la luz emitida por el irradiador y que conduce esta luz hacia la zona deseada. En principio, para esto, debido a la reversibilidad del haz luminoso puede servir una disposición análoga a cualquiera de las disposiciones conductoras de luz de detector descritas.

15 Particularmente, el propio dispositivo conductor de luz de detector puede formar una parte de la disposición conductora de luz de proyección entrando en la luz emitida por el irradiador en sentido opuesto en paralelo en el haz luminoso de la luz registrada por el sistema de detector delante, en o detrás del dispositivo conductor de luz de detector. Una disposición de este tipo presenta la ventaja de que los errores sistemáticos posiblemente existentes en la proyección y la exploración son idénticos y se compensan mutuamente. Una ventaja adicional consiste en que el sistema de detector registra de forma prácticamente automática el rayo de luz que ha emitido el irradiador.

20 Para esto puede estar presente, por ejemplo, un espejo divisor entre el dispositivo conductor de luz de detector y el detector, que deja pasar parcialmente la luz que proviene de un irradiador al dispositivo conductor de luz de detector y que refleja parcialmente hacia el detector la luz que procede del dispositivo conductor de luz de detector, dándose preferentemente prioridad a los rayos en dirección del detector. Por ejemplo, la proporción de los rayos reflejados hacia el detecto con respecto a los rayos que inciden sobre el espejo divisor puede ascender al 95%, al 90%, al 85% o al 80%. La proporción de los rayos que atraviesan el espejo divisor con respecto a los rayos que inciden sobre el espejo divisor puede ascender, por ejemplo, al 5%, al 10%, al 15% o al 20%. Es decir, un rayo de luz que incide sobre el espejo divisor se refleja, por ejemplo, en hasta el 95% y puede pasar el espejo en hasta el 5%.

30 No es crítico que un espejo divisor de este tipo obstaculice el rayo de proyección, ya que esto se puede compensar mediante un aumento de la potencia del irradiador.

3.4 Toma externa

Adicionalmente, un dispositivo de acuerdo con la invención comprende un dispositivo para la toma de una imagen del entorno, concretamente una cámara. Esta imagen se procesa para identificar patrones significativos del entorno.

35 Una imagen del entorno tomada mediante un dispositivo de este tipo es adecuada para compararse con una imagen del entorno reflejada (“imagen de reflejo del entorno”) en la retina o la córnea del ojo. Por ejemplo, en ambas imágenes puede identificarse el mismo objeto y a partir de la asociación en el espacio de ambas imágenes del objeto puede establecerse la orientación del dispositivo o del ojo con respecto al entorno.

Preferentemente, un dispositivo de este tipo para la toma de una imagen del entorno puede estar dispuesto prácticamente de forma confocal con respecto al ojo.

40 3.5 Ubicación del dispositivo

Adicionalmente, un dispositivo de acuerdo con la invención comprende un dispositivo de determinación de la orientación para la determinación de la orientación del dispositivo para determinar mediante una orientación del ojo con respecto al dispositivo una orientación del ojo con respecto al entorno.

45 Un dispositivo de este tipo de determinación de la orientación está unido de forma fija con el dispositivo de acuerdo con la invención y es adecuado para determinar la orientación y/o la ubicación del dispositivo con respecto al entorno. Por ejemplo, un dispositivo de determinación de la orientación puede comprender también adicionalmente un receptor de GPS y el equipo de evaluación correspondiente, que establece a partir de las señales de GPS recibidas la ubicación del dispositivo.

3.6 Marcas

50 Un dispositivo de acuerdo con la invención puede contener una o varias marcas. Una marca puede estar dispuesta, por ejemplo, delante del ojo, en el interior o en el exterior del campo visual. Por ejemplo, una marca de este tipo puede estar dispuesta sobre un cristal de gafa delante del ojo.

Una marca puede servir, por ejemplo, para determinar valores de referencia ópticos. Por ejemplo, un rayo de luz reflejado en una marca de este tipo puede registrarse por el detector. Entonces se puede determinar una magnitud característica de este rayo de luz como valor de referencia, por ejemplo, para una reflexión del 100%.

5 Una marca de este tipo puede usarse también como punto fijo durante la determinación de la orientación del ojo con respecto al dispositivo. Por ejemplo, puede estar presente una marca de tal manera que el detector, además de rayos de luz que se irradian por una zona significativa del ojo (por ejemplo, la fovea central o el iris), también puede registrar rayos de luz que se irradian, por ejemplo, se reflejan por la marca. Mediante las direcciones de las que se registran los respectivos rayos de luz puede determinarse una posición de la zona significativa del ojo con respecto a la marca y, por tanto, una orientación del ojo con respecto al dispositivo.

10 Una marca de este tipo puede usarse también para calibrar o recalibrar el dispositivo óptico. Debido a influencias externas (por ejemplo, un golpe) o influencias internas (por ejemplo, dilatación por temperatura), durante el funcionamiento puede modificarse la ubicación y orientación de elementos individuales del dispositivo óptico. Por ejemplo, los espejos pueden cambiar su posición unos con respecto a otros debido a una deformación del dispositivo sobre el que están dispuestos. Para determinar una modificación de este tipo puede determinarse, por ejemplo, en primer lugar una ubicación de referencia de la marca, determinándose cómo tiene que estar controlada la disposición conductora de luz de detector para que el detector registre luz que se refleja por la marca. Si entonces posteriormente de forma análoga se determina la ubicación de la marca, entonces a partir de una modificación con respecto a la ubicación de referencia puede determinarse el cambio de dispositivo óptico con respecto a la marca. Si, a este respecto, la marca es fija con respecto al detector, entonces el (aparente) cambio de ubicación se basa en una modificación de la disposición conductora de luz de detector, que se puede determinar de este modo.

25 Ventajosamente, en la exploración activa la marca se puede irradiar de forma dirigida con un rayo de luz y el rayo de luz reflejado puede registrarse por el detector, por ejemplo, para llevar a cabo una de las anteriores determinaciones (valor de referencia, punto fijo, calibración). Ventajosamente, la marca puede estar configurada de forma no perceptible por el ojo. Por ejemplo, la marca puede ser visible solo en el intervalo de infrarrojos, de tal manera que se puede registrar por un detector de infrarrojos, sin embargo, no se percibe como molesta por un ojo humano. Esto se puede llevar a la práctica, por ejemplo, mediante un holograma o una imagen holográfica.

Una marca puede emitir como alternativa o adicionalmente también por sí misma activamente luz.

Se desvelan otras marcas o su uso en la sección 4.3.

3.7 Enfoque

30 Los dispositivos ópticos que se han descrito anteriormente, por tanto, particularmente el sistema de detector y/o el sistema de proyección pueden comprender al menos un dispositivo de enfoque adecuado con el que se puede ajustar, por ejemplo, la separación de la zona explorada del detector y/o irradiador y, por tanto, por ejemplo, se puede determinar si se explora o ilumina la retina o la córnea. Con rayos de luz con pequeños diámetros, la utilidad de un dispositivo de enfoque de este tipo puede estar limitada.

35 Después de que ahora se han indicado o explicado con más detalle las características del dispositivo óptico, que registran el rayo de luz irradiado por una parte del ojo o que irradia en el interior luz sobre el ojo, a continuación se detalla el registro de los rayos de luz y la evaluación de las señales obtenidas de este modo.

4. Detección y evaluación

40 El objetivo de la presente invención es determinar la ubicación y/u orientación, particularmente la dirección de observación de un ojo. A continuación se describe cómo se pueden detectar características del ojo a partir de rayos de luz irradiados de una parte del ojo y registrados a continuación por el sistema de detector y cómo se pueden usar estas características para la determinación de la orientación del ojo.

4.1 Imagen registrada

45 Preferentemente, durante la determinación se exploran secuencialmente, es decir, sucesivamente puntos a lo largo de una trayectoria. Es decir, los rayos de luz que se irradian desde estos puntos se registran sucesivamente en el sistema de detector y se determina al menos una magnitud física de estos rayos de luz, por ejemplo, su intensidad o luminosidad, potencia de irradiación, longitud de onda, valores de gris o similares. Como resultado se obtiene una secuencia de puntos de imagen (es decir, una curva de puntos de imagen), a los que se pueden asociar, por ejemplo, valores para la magnitud o las magnitudes físicas y, por ejemplo, mediante la posición de la disposición conductora de luz de detector, coordenadas determinadas (por ejemplo, abscisa x y ordenada y ; radio R y ángulo polar ϕ). Los valores de la magnitud o las magnitudes físicas se denominan también un contenido de información de la (señal de) luz.

55 Con una exploración más fina, es decir, por ejemplo, con pasos más pequeños entre las posiciones (x , y) individuales de la disposición conductora de luz de detector, a partir de la curva de puntos de imagen puede establecerse una "imagen" bidimensional cada vez más nítida de la parte del ojo de la cual se irradiaron los rayos de

luz. Mediante la exploración de acuerdo con la invención, por tanto, se puede crear una imagen bidimensional de al menos una zona tridimensional de ojo, por ejemplo, de la córnea, de la retina o similares.

5 Si una de estas zonas está curvada, entonces aparece distorsionada en la imagen bidimensional. A partir de tales distorsiones puede determinarse la orientación del ojo. Por ejemplo, una pupila circular, dependiendo de la orientación del ojo con respecto al detector, puede aparecer como elipse a partir de cuyos ejes principales se puede establecer la orientación del ojo.

10 Los elementos que se encuentran uno tras otro en la dirección de observación del detector o de la disposición conductora de luz del detector, es decir, en contra de la dirección de los rayos de luz que se registran por el detector, se solapan en la imagen bidimensional o presentan una determinada separación. Debido a tales solapamientos o separaciones puede establecerse, a su vez, la orientación del ojo. Si, por ejemplo, se conoce la ubicación tridimensional del punto central de la pupila con respecto a la fovea central, por ejemplo, empíricamente a partir de experimentos estadísticos o determinaciones de acuerdo con la invención previas, entonces a partir de la separación de las imágenes del punto central de la pupila y la fovea central en la imagen bidimensional puede establecerse su ubicación en el espacio y, con ello, la orientación y/o ubicación del ojo.

15 Del mismo modo se puede determinar la ubicación tridimensional de un punto registrado, por ejemplo, a partir de la ubicación bidimensional de su punto de imagen y el tiempo de propagación de la señal reflejada en el mismo, pudiéndose determinar el tiempo de propagación, por ejemplo, en una señal luminosa modulada en frecuencia mediante la frecuencia de la señal luminosa registrada. A partir del tiempo de propagación puede determinarse, por ejemplo, una separación del punto registrado con respecto al detector y, con ello, la ubicación de ese punto con respecto al dispositivo. Del mismo modo, en lugar del tiempo de propagación se puede usar el enfoque, es decir, por ejemplo, el ajuste de un dispositivo de enfocado que suministra asimismo una información acerca de la separación del punto registrado con respecto al detector.

20 Si se determina, por ejemplo, mediante el tiempo de propagación la separación del punto que refleja con respecto al detector, a cada punto de la imagen puede asociarse adicionalmente un valor z , de tal manera que se puede determinar la ubicación tridimensional de los puntos explorados con respecto al dispositivo de acuerdo con la invención. En este caso, prácticamente se puede explorar una imagen tridimensional del ojo. A continuación, por motivo de simplicidad la mayoría de las veces se hace referencia a reproducciones bidimensionales, mediante los puntos de imagen tridimensionales que se han mostrado anteriormente, sin embargo, puede usarse siempre también un procedimiento tridimensional análogo. Si se habla, por ejemplo, de la ubicación del punto de imagen en la imagen bidimensional, mediante la medición adicional de la separación del punto que irradia luz con respecto al detector puede establecerse también la ubicación tridimensional del punto con respecto al dispositivo o con respecto a otros puntos.

30 Las imágenes bidimensionales de la misma estructura tridimensional del ojo que se explora con distintas orientaciones están desplazadas o giradas no solamente unas con respecto a otras (a partir de lo cual se puede determinar hacia atrás el cambio de orientación del ojo), sino que también están distorsionadas de forma diferente. Con una frecuencia de exploración preferentemente elevada en comparación con respecto a la velocidad del movimiento ocular, las distorsiones en imágenes exploradas una tras otra rápidamente en el tiempo se diferencian sin embargo solo ligeramente, de tal manera que prácticamente se pueden ignorar y directamente se pueden usar las imágenes bidimensionales sin tener en cuentas las diferentes distorsiones. Si cambia notablemente la orientación del ojo, también se pueden diferenciar claramente unas de otras las distorsiones en las distintas imágenes bidimensionales, de tal manera que tales imágenes, por ejemplo, ya no se pueden comparar de forma adecuada entre sí. Por ello puede ser ventajoso volver a explorar en determinados intervalos de tiempo, en caso de que se compruebe un claro cambio de la orientación, determinadas imágenes.

4.2. Estrategia

45 Mediante los puntos de imagen registrados puede establecerse la ubicación de determinados rasgos característicos o estructuras de la parte del ojo que irradia la luz registrada dentro de la imagen.

Para esto, el ojo puede explorarse a lo largo de una trayectoria adecuada. Esta trayectoria puede estar seleccionada, por ejemplo, de tal manera que se registran características particularmente significativas, por ejemplo, el cambio de la reflectividad o similares con una elevada probabilidad.

50 Por ejemplo, se puede establecer la ubicación del punto central de la pupila y/o del punto central de la mácula. Esto puede ser relevante para una determinación de la dirección de observación.

También se pueden llevar a cabo uno tras otros varios de los procedimientos descritos, pudiéndose usar las informaciones obtenidas en un procedimiento previo en un procedimiento posterior. De forma ilustrativa se puede determinar de forma general, por ejemplo, en primer lugar el punto central de la pupila. El punto central hallado de forma aproximada de este modo se almacena y sirve de valor de inicio o de referencia para la determinación final del punto central de la pupila real. El punto central de la pupila aproximado o real, a su vez, puede servir de punto de inicio o punto central de la mácula temporal durante la determinación del punto central de la mácula, ya que, por ejemplo, el punto central de la mácula puede encontrarse con una cierta probabilidad en una determinada ubicación

con respecto al punto central de la pupila. Esta ubicación puede conocerse o haberse estimado, por ejemplo, empíricamente a partir de experimentos estadísticos y/o determinaciones de acuerdo con la invención previas. Por ejemplo, en dirección de observación del ojo, el punto central de la mácula puede encontrarse con una alta probabilidad directamente detrás del punto central de la pupila.

- 5 Particularmente, también se pueden “reajustar” todos los procedimientos que se han descrito anteriormente o que se describen a continuación mediante características ya identificadas, es decir, las características ya identificadas pueden servir de valores de referencia o de inicio para procedimientos posteriores. Para esto puede determinarse, por ejemplo, un punto de referencia y después se puede alinear uno o varios dispositivos, es decir, por ejemplo, la disposición conductora de luz de detector y/o la disposición conductora de luz de proyección con respecto a este punto de referencia.

Ventajosamente se puede llevar a cabo la exploración con una elevada frecuencia de exploración. Por ello cambia ventajosamente la orientación del ojo entre dos o varias imágenes exploradas una tras otra solo en medida reducida. Por ello cambia solo poco la ubicación de características significativas dentro de las imágenes exploradas, lo que puede simplificar ventajosamente la búsqueda de estas características.

15 4.3 Evaluación

Si se ha determinado según al menos uno de los anteriores procedimientos la ubicación bi o tridimensional de una o varias características significativas del ojo, a partir de esto se pueden determinar de distinto modo orientaciones del ojo con respecto al dispositivo y/o con respecto al entorno. A este respecto se señala que la orientación puede comprender también la determinación de un cambio de la orientación con respecto a una orientación elegida como referencia.

- 20 Para la aclaración, por ejemplo, en un caso sencillo se puede elegir la orientación del ojo con respecto a un momento determinado como referencia y se puede determinar la ubicación del punto central de la pupila en una imagen de la luz reflejada por la esclerótica o el iris. Si se determina en un momento posterior de nuevo la ubicación del punto central de la pupila en una imagen de la luz reflejada por la esclerótica o el iris, entonces se puede determinar a partir de la nueva ubicación del punto central de la pupila con respecto a la antigua ubicación un giro correspondiente del ojo. Si adicionalmente o como alternativa a la ubicación del punto de la imagen se establece, por ejemplo, la separación con respecto al detector, a partir de esto se puede establecer también la ubicación del punto y, con ello, del ojo con respecto al dispositivo de acuerdo con la invención.

- 30 De forma ilustrativa, a continuación se explican con más detalle algunas posibilidades para la determinación de la orientación, particularmente de la dirección de observación.

4.3.1 Determinación del eje visual

Como dirección de observación o eje visual puede asumirse, por ejemplo, una recta a través del punto de giro del ojo y el punto central de la pupila.

- 35 Si se determina la ubicación del punto central de la pupila para distintas posiciones del ojo, entonces las imágenes del punto central de la pupila en una imagen explorada bidimensional se encuentran dentro de un círculo (por ejemplo, debido a la distorsión debido a la reproducción bidimensional del ojo tridimensional, dentro de una elipse) alrededor de la imagen imaginaria del punto de giro que por ello se puede determinar (por ejemplo, como punto medio estadístico de las imágenes del punto central de la pupila). La recta a través del punto de giro y el punto central de la pupila representa entonces de forma simplificada el eje visual del ojo con respecto a la suposición. Para la aclaración se observa, por ejemplo, un giro puro del ojo alrededor de un eje vertical a través del punto de giro. La imagen bidimensional del punto central de la pupila, a este respecto, se mueve en un plano de imagen perpendicular con respecto a la dirección de observación y paralelo con respecto al eje de giro vertical en una recta horizontal. Con muchos puntos de imagen tomados, el punto central de esta recta se corresponde aproximadamente a la imagen del punto de giro.

- 45 Del mismo modo, por ejemplo, a partir de la distorsión de la pupila que aparece como elipse con una vista superior no frontal, a través de una transformación de eje principal se puede establecer el plano de la pupila cuya perpendicular central se puede asumir como eje visual.

- 50 Del mismo modo se puede determinar el eje visual como la recta de unión de la fovea central y el punto central de la pupila. La posición tridimensional del punto central de la pupila y de la fovea central pueden estimarse, por ejemplo, mediante datos empíricos a partir de la posición del punto central de la pupila y la ubicación de la fovea central con respecto a esto. Para esto se pueden usar, por ejemplo, valores almacenados para esta ubicación, que se conocen de anteriores experimentos (por ejemplo, los denominados valores de Gullstrand) o valores que se establecieron mediante un dispositivo de acuerdo con la invención. Del mismo modo, tal como se ha descrito anteriormente, se puede determinar, por ejemplo, la separación del punto central de la pupila y/o de la fovea central del detector mediante el tiempo de propagación del rayo de luz reflejado entre la emisión y el registro y/o mediante el enfoque y, a partir de esto, junto con la ubicación bidimensional de los puntos de la imagen, puede establecerse la ubicación tridimensional del punto central de la pupila y/o de la fovea central.

4.3.2 *Determinación de la orientación mediante mapa*

5 Para la determinación de la orientación del ojo puede crearse una imagen de referencia de una parte del ojo en la que se pueden reconocer estructuras significativas, por ejemplo, la mácula, vasos sanguíneos de la retina, lesiones de la córnea o similares. Estas características se pueden registrar ventajosamente mediante reconocimiento de imagen o de patrón en un mapa de referencia correspondiente.

10 Una imagen de referencia y/o un mapa de referencia puede realizarse, por ejemplo, mediante una memoria, estando almacenado en cada uno de los espacios de la memoria el valor de la magnitud característica de un rayo de luz registrado, por ejemplo, asociado en cuanto a la ubicación. Ventajosamente, los valores característicos pueden estar filtrados previamente de tal manera que se ocupan solo espacios de la memoria con un determinado valor característico, por ejemplo, un valor que es mayor que un determinado valor umbral. En un mapa de referencia pueden estar reproducidas y almacenadas estructuras significativas de la imagen de referencia explorada ya con una reducida necesidad de memoria.

15 Si ahora en un momento posterior se explora una parte del ojo en la que están presentes al menos parcialmente las estructuras registradas anteriormente, ventajosamente la misma zona que durante la creación de la imagen de referencia, entonces los puntos de una imagen actual registrada de esta forma se pueden hacer coincidir con la imagen de referencia o el mapa de referencia mediante una rutina correspondiente. A partir de los giros y desplazamientos que aparecen a este respecto de la imagen actual puede establecerse el cambio de la orientación del ojo con respecto al momento de la toma de la imagen de referencia. A este respecto, la imagen actual se puede tomar mediante otra trayectoria que la imagen de referencia. Particularmente puede presentar claramente menos
20 puntos de imagen. A este respecto es particularmente ventajoso que incluso la puesta en coincidencia de pocos puntos de imagen actuales con pocos puntos de referencia pueda permitir una determinación rápida y sencilla de la orientación. Del mismo modo, también mediante la imagen actual se puede crear un mapa actual y hacerse coincidir con el mapa de referencia, pudiéndose determinar, a su vez, a partir de los giros y los desplazamientos que aparecen, el cambio de la orientación del ojo.

25 Ventajosamente se pueden explorar imágenes con una alta frecuencia de exploración, de tal manera que la orientación del ojo cambia poco entre dos o varias exploraciones sucesivas. Esto puede simplificar ventajosamente la comparación de una imagen actual con una imagen de referencia o un mapa de referencia, ya que la ubicación de los puntos de imagen del mismo punto solo ha cambiado poco en o sobre el ojo y se puede establecer de forma sencilla la correlación entre los puntos de imagen de distintos momentos de exploración.

30 Como se ha descrito anteriormente, puede ser ventajoso registrar de nuevo una imagen de referencia o un mapa de referencia cuando se comprueba que la orientación del ojo se ha modificado tan intensamente que debido a la distorsión debido a la reproducción bidimensional de una estructura tridimensional se dificulta o se hace imposible una puesta en coincidencia. Un cambio de orientación correspondientemente intenso del ojo puede establecerse, por ejemplo, debido a que ya no se consigue hacer coincidir una imagen actual y la imagen de referencia o el mapa
35 de referencia.

4.3.3 *Orientación con respecto al entorno y/o al dispositivo*

En general se puede determinar la ubicación y/u orientación absoluta y/o relativa, particularmente la dirección de observación de un ojo con respecto al entorno y/o con respecto al dispositivo de acuerdo con la invención.

40 A este respecto se obtienen distintas posibilidades de la determinación de la orientación, de las cuales a continuación se explican con detalle algunas.

4.3.3.1 *Cinemática relativa*

Anteriormente se han explicado, entre otras cosas, de forma ilustrativa una serie de posibilidades para determinar mediante una o varias imágenes, que pueden estar creadas mediante registro de rayos de luz irradiados por una parte del ojo, la orientación del ojo con respecto al dispositivo y, particularmente la dirección de observación del ojo.

45 Si, como se ha indicado anteriormente, se determina adicionalmente la posición del dispositivo con respecto al entorno, por ejemplo, mediante goniometría magnética, de IR o RF del dispositivo desde un dispositivo fijo inercial o mediante un receptor de GPS en el dispositivo de acuerdo con la invención, entonces a partir de la orientación relativa del ojo con respecto al dispositivo y la ubicación relativa del dispositivo con respecto al entorno se puede calcular cinemáticamente la orientación del ojo con respecto al entorno.

50 A la inversa, con orientación conocida del ojo con respecto al entorno y con la orientación conocida del dispositivo con respecto al entorno se obtiene de forma análoga la orientación del ojo con respecto al dispositivo. Si se describe, por ejemplo, la orientación del ojo con respecto al entorno mediante los ángulos (ϕ_{AU} , η_{AU} , φ_{AU}), la orientación del dispositivo con respecto al entorno mediante los ángulos (ϕ_{VU} , η_{VU} , φ_{VU}) y la orientación del ojo con respecto al dispositivo mediante los ángulos (ϕ_{AV} , η_{AV} , φ_{AV}), entonces se pueden convertir unas en otras las
55 orientaciones expresadas mediante la respectiva reproducción A_{xy} de x en función de y :

$$A_{AU} = A_{VU}(\phi_{VU}, \eta_{VU}, \varphi_{VU}) * A_{AV}(\phi_{AV}, \eta_{AV}, \varphi_{AV})$$

$$A_{AV} = A_{VU}(\phi_{VU}, \eta_{VU}, \varphi_{VU}) * A_{AU}(\phi_{AU}, \eta_{AU}, \varphi_{AU})$$

5 Por tanto, la segunda ecuación dice, por ejemplo, que la reproducción de un sistema de coordenadas fijo en el ojo en un sistema de coordenadas fijo en el dispositivo y, con ello, la orientación del ojo con respecto al dispositivo se puede determinar a partir de una asociación adecuada de la reproducción del sistema de coordenadas fijo en el ojo a uno fijo en el entorno y una reproducción de este sistema de coordenadas fijo en el entorno en el fijo en el dispositivo. Estas dos reproducciones se pueden determinar mediante la orientación del ojo con respecto al entorno y del dispositivo con respecto al entorno.

10 A continuación se comparan entre sí imágenes que son fijas con respecto al entorno (imagen de entorno), con respecto a un dispositivo de acuerdo con la invención (imagen de dispositivo) o con respecto al ojo (imagen de ojo). Estas imágenes se comparan entre sí preferentemente en un sistema de coordenadas común, por ejemplo, un sistema de coordenadas fijo con respecto al dispositivo, es decir, por ejemplo respectivamente al menos dos imágenes se representan en este sistema de coordenadas y las estructuras significativas en las imágenes se asocian entre sí. Es decir, por ejemplo, se determina su ubicación y/o orientación relativa entre sí. La "ubicación" y características, estructuras, etc. comprende de forma análoga a la "orientación" de un ojo la ubicación en el sentido 15 más estrecho, caracterizado por ejemplo por separaciones con respecto a ejes de coordenadas y/o su orientación en el sentido más estrecho como en el resto de la solicitud, caracterizado, por ejemplo, por un ángulo con respecto a ejes de coordenadas.

20 Mediante el cambio de estas ubicaciones relativas puede determinarse respectivamente el cambio de las imágenes correspondientes entre sí. A partir de este cambio puede determinarse respectivamente el cambio correspondiente de la orientación de los sistemas correspondientes (ojo, dispositivo, entorno) entre sí. Por ejemplo, a partir de un desplazamiento de una imagen del ojo con respecto a una del dispositivo puede establecerse un giro correspondiente del ojo con respecto al dispositivo.

25 Como alternativa o adicionalmente, a partir de las ubicaciones relativas puede establecerse también una asociación absoluta de los sistemas correspondientes. Por ejemplo, a partir de la ubicación relativa de una estructura significativa en una imagen de ojo (por ejemplo, la mácula) con respecto a una estructura significativa en una imagen de entorno (por ejemplo, un canto, un árbol o similares) puede determinarse la ubicación del ojo con respecto al entorno, es decir, por ejemplo, comprobarse hacia donde mira el ojo con respecto a la estructura significativa en el entorno (por ejemplo, directamente sobre el canto, sobre el árbol o similares).

A continuación se explican con más detalle algunas de estas posibles determinaciones.

30 4.3.3.2 Ojo - entorno

Si se compara una imagen fija con respecto al entorno (imagen de entorno), por ejemplo, una imagen del entorno que se toma por una cámara unida de forma fija con el dispositivo del entorno, con una imagen relativamente fija con respecto al ojo (imagen de ojo), por ejemplo, una imagen de la retina o de la córnea, que se obtiene, por ejemplo, a partir de una exploración activa, a partir de esto se puede determinar una orientación del ojo con respecto al entorno. 35 Si se comparan imágenes que se han tomado en distintos momentos, a partir de esto se puede determinar un cambio de la orientación del ojo con respecto al entorno.

4.3.3.2.1 Orientación relativa ojo - entorno

40 Para la determinación de la orientación del ojo con respecto al entorno se observan una imagen del entorno y una del ojo en un sistema de coordenadas común, por ejemplo, en un sistema de coordenadas fijo con respecto al dispositivo (sistema de coordenadas fijo en el dispositivo).

A este respecto, las imágenes pueden estar reproducidas de forma adecuada en este sistema de coordenadas. Por ejemplo, a partir de la geometría conocida de la disposición de una cámara, que suministra la imagen del entorno, con respecto al dispositivo que suministra la imagen del ojo, puede determinarse cómo se puede transformar la imagen del entorno en un sistema de coordenadas fijo en el dispositivo de la imagen del ojo. Del mismo modo, por ejemplo, se puede reconocer una forma significativa del dispositivo, por ejemplo, la forma geométrica de un cristal de gafa en la imagen del entorno. Mediante la forma significativa del dispositivo en la imagen del entorno puede determinarse entonces cómo se tiene que transformar la imagen del entorno en el sistema de coordenadas fijo en el dispositivo de la imagen del ojo. 45

50 De acuerdo con la invención, como imagen de entorno se usa una imagen del entorno reflejada por una parte del ojo, por ejemplo, la imagen de reflejo del entorno de la retina o de la córnea, ya que entonces la imagen del entorno y del ojo ya están presentes en el mismo sistema de coordenadas fijo en el dispositivo.

Estas imágenes se comparan entre sí, es decir, se asocian determinadas estructuras significativas dentro de la imagen del entorno (cantos, objetos, letras, etc.), que pueden estar identificadas, por ejemplo, mediante reconocimiento de patrón, a determinadas estructuras significativas de la imagen del ojo (por ejemplo, de la mácula, del punto central de la pupila, etc.) si se determinó su ubicación relativa entre sí.

- 5 Mediante esta ubicación relativa se puede determinar la orientación, particularmente la dirección de observación del ojo con respecto al entorno.

Por ejemplo, en la imagen del ojo puede determinarse en qué punto se encuentra el centro de la mácula. Este punto se puede establecer en la imagen del entorno. Entonces se puede determinar que el observador con el ojo justo está mirando este punto en el entorno. Con ello se puede determinar la dirección de observación del ojo con respecto al entorno. Ventajosamente, un reconocimiento de patrón en la imagen del entorno puede identificar qué está mirando en ese momento el observador, por ejemplo, qué interruptor, qué diana o qué objeto.

De acuerdo con la invención se compara una imagen del entorno que se toma con una imagen (imagen de la cámara) con una imagen del entorno que se refleja y explora por el ojo (imagen de reflejo del entorno). Las dos imágenes pueden estar asociadas de tal manera entre sí que un punto del entorno fijado en una imagen se puede determinar en otra imagen. Entonces, por ejemplo, en una imagen de reflejo del entorno relativamente desenfocada y/o con poca intensidad luminosa mediante un procedimiento de acuerdo con la invención se puede establecer el punto del entorno hacia el cual mira el ojo y este punto o el objeto, interruptor, etc. correspondiente se puede identificar mejor en una imagen de cámara más nítida y/o de mayor intensidad luminosa mediante reconocimiento de patrón. Esto es, por ejemplo, ventajoso en el caso de luz difusa, con la que una cámara de infrarrojos puede explorar una imagen más exacta del entorno.

4.3.3.2 Cambio relativo de la orientación ojo - entorno

Del mismo modo se puede determinar también un cambio de la orientación del ojo con respecto al entorno determinándose de forma análoga a un procedimiento de acuerdo con la invención en distintos momentos respectivamente una orientación del ojo con respecto al entorno y estableciéndose el cambio entre las orientaciones que se han determinado en distintos momentos.

Por ejemplo se pueden asociar entre sí características significativas en la imagen del entorno (cantos, etc.) y en la imagen del ojo (mácula, etc.). Por ejemplo, las dos imágenes pueden superponerse respectivamente hasta dar una imagen global de tal manera que sus delimitaciones de imagen estén dispuestas en una relación fija entre sí (con imágenes de reflejo del entorno y de la retina del mismo tamaño, por ejemplo, de forma coincidente). Es decir, ambas imágenes se pueden representar en un sistema de coordenadas común, preferentemente en un sistema de coordenadas fijo con respecto al dispositivo de acuerdo con la invención. En la imagen global se pueden determinar separaciones o ubicaciones relativas entre las características significativas de la imagen del entorno y del ojo. A partir del cambio de la ubicación relativa de las características significativas entre sí en la imagen global se puede determinar el cambio de la orientación del ojo con respecto al entorno.

35 Del mismo modo también se pueden hacer coincidir ambas imágenes (por ejemplo, mediante un procedimiento de correlación o mediante giro y desplazamiento). A partir de los valores que aparecen en este caso (por ejemplo, factores de correlación o ángulo de giro y desplazamiento), a su vez, se puede determinar el cambio de orientación del ojo con respecto al entorno.

4.3.3.3 Orientación dispositivo - entorno

40 A partir del cambio de una imagen fija con respecto al entorno (imagen del entorno), por ejemplo, de una imagen que se toma por una cámara unida de forma fija con el dispositivo o que se refleja por la retina o la córnea y se registra por un dispositivo de acuerdo con la invención se puede determinar un cambio de la orientación del dispositivo con respecto al entorno.

45 Para esto se comparan entre sí, por ejemplo, dos imágenes de entorno en el mismo sistema de coordenadas, preferentemente fijo con respecto al dispositivo, que se han tomado con una separación en el tiempo entre sí. Si se ha modificado la orientación del dispositivo con respecto al entorno entre tanto, entonces los mismos patrones significativos dentro de la imagen del entorno en distintos momentos presentan distintas posiciones dentro del sistema de coordenadas. A partir de esto se obtiene el cambio de la orientación. Como alternativa, las dos imágenes (mediante un procedimiento de correlación o mediante giro y desplazamiento) se pueden hacer coincidir. A partir de los valores que aparecen en este caso (por ejemplo, factores de correlación o ángulo de giro y desplazamiento) se puede determinar, a su vez, el cambio de la orientación del dispositivo con respecto al entorno.

55 Del mismo modo se puede determinar la orientación del dispositivo con respecto al entorno también mediante una comparación de la imagen del dispositivo con una del entorno, observándose, por ejemplo, ambas imágenes en un sistema de coordenadas común, preferentemente uno fijo en el dispositivo y asociándose estructuras significativas en la imagen del dispositivo y en la imagen del entorno entre sí. A partir de una ubicación relativa de estas estructuras entre sí, por ejemplo, una marca en el dispositivo o en la forma geométrica de un cristal de gafa con respecto a un canto significativo, un patrón, etc., en la imagen del entorno, puede determinarse entonces una

orientación del dispositivo con respecto al entorno.

Mediante una comprobación múltiple desplazada en el tiempo de una orientación de este tipo puede determinarse asimismo un cambio de la orientación del dispositivo con respecto al entorno.

5 Si se determina adicionalmente la orientación del ojo con respecto al dispositivo, a partir de esto se puede determinar por cinemática relativa un cambio de la orientación del ojo con respecto al entorno.

Del mismo modo, con una orientación conocida del dispositivo con respecto al entorno, que puede estar determinada, por ejemplo, mediante un dispositivo de determinación de la orientación y una orientación conocida del ojo con respecto al dispositivo puede determinarse mediante cinemática relativa una orientación del ojo con respecto al entorno.

10 4.3.3.4 Orientación ojo - dispositivo

Mediante una imagen fija con respecto al ojo (imagen de ojo), por ejemplo, una imagen de la retina o de la córnea en la que se pueden reconocer estructuras del ojo, tales como, por ejemplo, cicatrices, vasos sanguíneos, etc., se puede determinar la orientación del ojo con respecto al dispositivo.

15 Si se conoce adicionalmente la orientación o el cambio de la orientación del dispositivo con respecto al entorno, a partir de esto junto con la orientación o el cambio de orientación del ojo con respecto al dispositivo se puede calcular mediante cinemática relativa la orientación o el cambio de orientación del ojo con respecto al entorno.

4.3.3.4.1 Orientación relativa ojo - dispositivo

4.3.3.4.1.1 Marca

20 Si se compara una imagen fija con respecto al dispositivo (imagen de dispositivo), por ejemplo, una imagen en la que se puede reconocer una marca fija con respecto al dispositivo, con una imagen fija con respecto al ojo (imagen de ojo), por ejemplo, una imagen de la retina o de la córnea que se obtiene, por ejemplo, a partir de una exploración activa, entonces a partir de esto se puede determinar una orientación del ojo con respecto al dispositivo. Si se comparan imágenes que se han tomado en distintos momentos, a partir de esto se puede determinar un cambio de la orientación del ojo con respecto al dispositivo.

25 Para la determinación de la orientación del ojo con respecto al dispositivo se puede observar una imagen de dispositivo y una de ojo en un sistema de coordenadas común, preferentemente en un sistema de coordenadas fijo con respecto al dispositivo (sistema de coordenadas fijo en el dispositivo).

30 Ventajosamente, como imagen de dispositivo se puede usar una imagen irradiada por una parte del ojo, por ejemplo, la imagen de reflejo del entorno de la retina o de la córnea o una imagen de reflejo de la retina en la que se puede reconocer una marca fija con respecto al dispositivo. De forma particularmente preferente, como imagen de dispositivo se pueden usar estructuras fijas con respecto al dispositivo (marca, forma geométrica del cristal de la gafa, etc.) dentro de la imagen del ojo, ya que entonces la imagen del dispositivo y del ojo ya están presentes en el mismo sistema de coordenadas fijo en el dispositivo o, ventajosamente ya están superpuestas en la misma imagen.

35 Estas imágenes se comparan entre sí, es decir, se asocian determinadas estructuras significativas dentro de la imagen del dispositivo (marca, cantos del cristal de gafa, etc.), que pueden estar identificadas, por ejemplo, mediante reconocimiento de patrón, a determinadas estructuras significativas de la imagen del ojo (por ejemplo, la mácula, el punto central de la pupila, etc.) y se determina su ubicación relativa entre sí.

Mediante esta ubicación relativa se puede determinar la orientación del ojo con respecto al dispositivo.

40 Por ejemplo, en la imagen del dispositivo se puede determinar en qué punto se encuentra una marca. En la imagen del ojo puede comprobarse en qué punto se encuentra el centro de la mácula y/o de la pupila. Mediante esta ubicación relativa se puede determinar la orientación del ojo con respecto al dispositivo.

El cambio de la orientación del ojo con respecto al dispositivo, por tanto, se puede determinar cuando se puede reconocer un patrón significativo del dispositivo en una imagen explorada de una parte del ojo.

45 Para esto puede estar presente, por ejemplo, una marca en un dispositivo óptico de un dispositivo de acuerdo con la invención, por ejemplo, sobre un espejo, sobre una lente, en un holograma, en un cristal de gafa delante del ojo, etc., de tal manera que se reflejan los rayos de luz de forma particularmente intensa (marca "clara") o particularmente débil (marca "oscura"). La marca puede estar generada, por ejemplo, holográficamente, preferentemente en un intervalo de longitud de onda no percibido por el ojo, por ejemplo, en el intervalo infrarrojo. Como marca puede servir del mismo modo, por ejemplo, también un borde del cristal de la gafa.

50 Un detector registra rayos de luz que se irradian por una parte del ojo, por ejemplo, de la luz reflejada por la retina. En una imagen creada a partir de esto se pueden registrar estructuras significativas del ojo que son fijas con respecto al ojo, por ejemplo, vasos sanguíneos o la mácula. En la imagen es visible también la marca fija con

5 respecto al dispositivo, que está presente, por ejemplo, sobre un espejo fijo de una disposición conductora de luz de detector de tal manera que un rayo de luz irradiado por el ojo, que incide en el punto de la marca sobre el espejo fijo, no se conduce o solo poco en dirección del detector, la marca aparece entonces oscura en la imagen registrada. A partir de la ubicación relativa de las imágenes de al menos una estructura significativa del ojo con respecto a una imagen de la marca se puede determinar la orientación de la estructura y, con ello, del ojo con respecto a la marca y, con ello, con respecto al dispositivo.

Están desveladas otras marcas o su uso en la sección "marcas" en la sección "dispositivos ópticos".

4.3.3.4.1.2 Posición del dispositivo

10 Para la determinación de la orientación del ojo con respecto al dispositivo se puede observar una imagen de ojo en un sistema de coordenadas fijo con respecto al dispositivo (sistema de coordenadas fijo en el dispositivo).

15 Por ejemplo, un sistema de coordenadas fijo en el dispositivo puede estar determinado por una posición neutra del sistema de detector. En una imagen de ojo observada en un sistema de coordenadas de este tipo pueden determinarse determinadas estructuras significativas (punto central de mácula, de pupila, etc.) y establecerse su ubicación con respecto al sistema de coordenadas. Mediante esta ubicación se puede determinar entonces una orientación del ojo con respecto al dispositivo.

4.3.3.4.2 Cambio relativo de orientación - dispositivo

Del mismo modo se puede determinar también un cambio de la orientación del ojo con respecto al dispositivo determinándose de forma análoga a un procedimiento que se ha descrito anteriormente en distintos momentos respectivamente una orientación del ojo con respecto al dispositivo.

20 Para esto, por tanto, se puede determinar, por ejemplo, la ubicación relativa de al menos una determinada estructura significativa de una imagen de ojo, que se exploró en distintos momentos, dentro de un sistema de coordenadas fijo en el dispositivo y/o con respecto a una imagen del dispositivo, particularmente por ejemplo una marca. A partir del cambio de esta ubicación relativa entre los distintos momentos de la exploración puede establecerse entonces un cambio de la orientación del ojo con respecto al dispositivo. Del mismo modo se pueden hacer coincidir también dos
25 imágenes de ojo que se exploraron en distintos momentos (por ejemplo, mediante un procedimiento de correlación o mediante giro y desplazamiento). A partir de los valores que aparecen en este caso (por ejemplo, factores de correlación o ángulo de giro y desplazamiento) se puede determinar, a su vez, el cambio de la orientación del ojo con respecto al dispositivo.

Referencia a otras solicitudes, divulgaciones

30 Como se aclara en la presente descripción, la presente invención se puede usar de forma ventajosa junto con los sistemas, dispositivos y procedimientos descritos en los documentos abiertos a inspección pública o solicitudes PCT/EP00/09843, PCT/EP00/09840, PCT/EP00/09841, PCT/EP00/09842, DE 101 27 826, PCT/EP01/05886, DE 196 31 414 A1 y DE 197 28 890 A1. La presente invención se puede aplicar de forma ventajosa también junto con la invención desvelada en la solicitud presentada el 8 de octubre de 2001 por la solicitante de la presente solicitud con
35 el título "Informationssystem und Verfahren zum Zurverfügungstellen von Informationen unter Verwendung eines holographischen Elements".

Formas de realización preferentes

40 Preferentemente se realiza la determinación de la ubicación y/u orientación, particularmente de la dirección de observación del ojo sin percepción. Por ello se evita una molestia del usuario debido a puntos virtuales en su campo visual.

El dispositivo de acuerdo con la invención está configurado de forma portátil, particularmente en forma de una gafa. Por ello es posible, por ejemplo, usar el dispositivo también en coches, aviones, etc., y determinar respectivamente la dirección de observación del ojo.

45 Preferentemente, un sistema de proyección de acuerdo con la invención proyecta un rayo de luz infrarroja sobre el ojo, cuyo diámetro es muy pequeño en comparación con el diámetro de la pupila. Preferentemente se registra el reflejo ocular, particularmente el retiniano del rayo. En contra de un prejuicio en el estado de la técnica ya es suficiente un rayo de luz con un diámetro tan pequeño para generar un rayo reflejado suficiente. Ventajosamente, durante la exploración con rayos de luz de pequeño diámetro, la curvatura de las partes exploradas del ojo no desempeña ningún papel esencial, particularmente no causa ninguna distorsión esencial de la imagen.

50 Preferentemente, un dispositivo de acuerdo con la invención comprende un espejo divisor dispuesto en un rayo de luz infrarroja que deja pasar solo una pequeña parte del rayo de luz infrarroja y refleja una parte correspondientemente grande de reflejo ocular que incide sobre el mismo en dirección de un dispositivo de detector. Por ello se proyecta luz en el mismo haz luminoso sobre o al interior del ojo o se refleja del o desde el ojo, por lo que, por ejemplo, puede quedar garantizado que el detector reciba siempre una señal y no se tenga que ajustar

primero al punto iluminado.

- 5 Preferentemente, un sistema de proyección de acuerdo con la invención proyecta luz por píxeles con una frecuencia de píxeles predefinida sobre el ojo. De forma particularmente preferente, un sistema de proyección de acuerdo con la invención modula la luz proyectada con una frecuencia que es mayor que la frecuencia de píxeles. Por ello es posible de forma ventajosa transmitir dentro de un rayo de luz reflejado en un punto o un píxel informaciones, por ejemplo, acerca del momento de la emisión o para poder diferenciar el rayo de luz de la luz ambiental.

Preferentemente, el sistema de detector lleva a cabo una exploración por píxeles de la luz ambiental reflejada de vuelta por el ojo y de la luz emitida por el ojo.

- 10 Preferentemente, un dispositivo presenta una superficie que se puede colocar delante del ojo, que presenta zonas de marca, que reflejan de vuelta un rayo de proyección que incide sobre las mismas, procedente del sistema de proyección, completamente en dirección hacia el sistema de detector, así como zonas normales que conducen un rayo de proyección que incide sobre las mismas, procedente del sistema de proyección, en dirección hacia el centro del ojo. Mediante la zona de marca puede determinarse, por ejemplo, la orientación del ojo con respecto a las zonas de marca y, por tanto, del dispositivo de acuerdo con la invención.

- 15 Preferentemente, un dispositivo determina la ubicación y/u orientación del ojo con respecto a su entorno registrando el sistema de detector tanto la estructura de retina del ojo como la imagen de reflejo del entorno superpuesta sobre la misma, estableciendo la posición de la fovea mediante la estructura de la retina e identificando la zona visualizada por la fovea del entorno mediante un reconocimiento de patrón.

- 20 Preferentemente, un dispositivo registra una representación de al menos zonas seleccionadas de la retina y almacena las mismas en una memoria temporal. De forma particularmente preferente, un dispositivo para la determinación de una modificación de la posición en el espacio del ojo lleva a cabo una comparación de la representación almacenada con informaciones que el dispositivo ha obtenido a partir de luz explorada por la retina, registrada durante un movimiento de exploración actual. Por ello puede ser posible, por ejemplo, ventajosamente una comparación rápida.

- 25 Preferentemente, un dispositivo comprende una superficie que presenta una forma geométrica predeterminada, que se puede colocar delante del ojo, a través de la cual se puede proyectar luz desde el sistema de proyección al ojo, recurriéndose a la forma geométrica de la superficie para determinar la ubicación relativa de al menos una zona característica de la retina con respecto al sistema óptico de detector y/o de proyección. A este respecto, ventajosamente no se necesita ninguna marca adicional.

30 **Ejemplos de realización y de aplicación**

- 35 A continuación se explican con más detalle en primer lugar algunas de las características o los términos representados en general anteriormente o se explican con más detalle mediante realizaciones de la presente invención. Para la mejor comprensión, a este respecto se hace referencia a la clasificación del resumen indicado anteriormente de la invención. A este respecto se señala *expressis verbis* que las explicaciones efectuadas a continuación deben ilustrar a modo de ejemplo y que no representan ningún tipo de limitación de las características o de los términos representados en general en el resumen. A continuación se indican algunas realizaciones preferentes de la presente invención.

Para esto muestra:

- La Figura 1, una realización de un dispositivo en forma de una gafa;
- 40 La Figura 2, un ojo humano en el corte longitudinal;
- La Figura 3a, un recorrido de la intensidad de rayo I_e a lo largo del tiempo;
- La Figura 3b, otro recorrido de la intensidad de rayo I_e a lo largo del tiempo;
- La Figura 4, un láser controlable como irradiador;
- La Figura 5, una disposición de irradiador y detector con dispositivo conductor de luz común;
- 45 La Figura 6, una realización de un dispositivo en forma de una gafa;
- La Figura 7a, una realización de un dispositivo en forma de una gafa;
- La Figura 7b, de forma ampliada, la combinación de irradiador-detector de la Figura 7a;
- La Figura 8, un patrón de movimiento para la determinación del punto central de la pupila;
- La Figura 9, asimismo, un patrón de movimiento para la determinación del punto central de la pupila;

- La Figura 10, un patrón de movimiento para la determinación del punto central de la mácula;
- La Figura 11, asimismo, un patrón de movimiento para la determinación del punto central de la mácula;
- La Figura 12, una imagen esquemática de la retina con un patrón de exploración en forma de espiral;
- La Figura 13, una imagen explorada de la retina de la Figura 12;
- 5 La Figura 14, una imagen esquemática de la retina con ejes antiguos y nuevos;
- La Figura 15, esquemáticamente, un ojo con pupila en ubicación de referencia y girado así como la imagen explorada correspondiente;
- La Figura 16, esquemáticamente, un ojo en ubicación de referencia y girado así como un entorno;
- La Figura 16A, una imagen de reflejo del entorno de la retina;
- 10 La Figura 16B, una imagen de reflejo de la retina;
- La Figura 16C, una imagen de reflejo del entorno de la retina con el ojo girado;
- La Figura 16D, una imagen de reflejo de la retina con el ojo girado;
- La Figura 16E, una imagen de reflejo del entorno de la retina con dispositivo girado;
- La Figura 17A, un cristal de gafa con marca delante de un ojo;
- 15 La Figura 17B, una imagen de reflejo del entorno y una de la retina superpuesta del ojo de la Figura 17A;
- La Figura 17C, la disposición de la Figura 17A, con ojo girado;
- La Figura 17D, una imagen de reflejo del entorno y una de la retina superpuesta del ojo de la Figura 17C;
- La Figura 18, un rayo principal reflejado y rayos marginales.

20 Un dispositivo o un procedimiento para la determinación de la ubicación y/u orientación de un ojo según la presente invención consiste en que, entre otras cosas, se registra y evalúa una señal luminosa irradiada por una parte del ojo con ayuda de un sistema de detector.

25 Esto se explica de forma ilustrativa para la mejor comprensión. Para esto, la Figura 1 muestra un dispositivo en una realización como gafa 101 sobre la cabeza 102 de un usuario, representando la mitad derecha de la imagen la vista superior desde arriba sobre la cabeza 102 y la mitad izquierda de la imagen un corte aproximadamente a la altura del punto central del ojo. Los rayos de luz 103a, 103b ("señal luminosa" en la presente realización) llegan desde el entorno al ojo 104 izquierdo del usuario y se reflejan parcialmente en su retina 105 ("parte del ojo" en la presente realización). Un rayo de luz 106 reflejado en un punto determinado de la retina incide sobre un primer espejo 107 cóncavo fijo y se conduce desde el mismo hacia un segundo espejo 108 cóncavo fijo. De este espejo 108 se conduce el rayo 106 a un espejo plano 109H móvil horizontalmente y desde el mismo a un espejo plano 109V móvil verticalmente. Del espejo plano 109V móvil verticalmente, el rayo 106 se conduce a un fotodetector 110, que registra el rayo 106 incidente con respecto a su intensidad, longitud de onda o similares ("sistema de detector" comprende en la presente realización el fotodetector así como la disposición de espejos). Mediante movimientos adecuados de los espejos planos 109H o 109V, los rayos de luz pueden conducirse sucesivamente uno tras otro al fotodetector 110, que se reflejaron en distintos puntos de la retina. La retina puede escanearse o explorarse a lo largo de un patrón de movimiento (patrón de exploración) predefinido de este modo. A partir de las informaciones obtenidas a este respecto puede determinarse una orientación del ojo ("evaluación" en la presente realización).

30

35

Para la mejor comprensión, a continuación se anteponen con brevedad el funcionamiento y la terminología técnica del ojo.

40 El ojo o el globo ocular 280 representado en la Figura 2 se mueve mediante los seis músculos 24 en la cavidad ocular (órbita) 20 y, por ello, se ajusta su orientación con respecto al cráneo. El párpado superior 27a y el párpado inferior 27b con las pestañas 27c se transforman en la conjuntiva 26, que cierra el espacio entre la órbita 20 y el globo ocular 280.

45 El globo ocular 280 está compuesto de un cuerpo vítreo 21 transparente, prácticamente esférico, sobre el cual se encuentra, delante en dirección de observación, un cristalino 282 deformable, cuyo punto focal se puede cambiar mediante tensión o distensión de músculos ciliares 23 dispuestos en la periferia. Directamente del cristalino 282 está dispuesto un obturador (iris) 285 de material coloreado, cuya pupila 284 se puede modificar muscularmente en el diámetro.

La parte posterior del cuerpo vítreo la rodea la esclerótica (esclera) 28, cuyo lado interno está revestido por la

membrana coroidea (coroidea) 287. Entre el cuerpo vítreo 21 y la membrana coroidea 287 se encuentra la membrana retiniana (retina) 281, que se apoya en el cuerpo vítreo y que se abastece con sangre por la membrana coroidea. La retina comprende bastones muy fotosensibles para visión escotópica (en penumbra) así como conos menos fotosensibles para la visión fotópica (visión en color con luz diurna). Dentro de la retina, la denominada
 5 mancha amarilla (mácula) con la fosa visual (fóvea central) 286, la zona de la visión más aguda con una densidad de conos muy alta. En otra zona se encuentra el punto ciego 288, en el que desemboca el nervio visual 25 en la retina y donde no se puede tomar ninguna información de imagen.

La parte anterior del cuerpo vítreo está rodeada por la membrana corneal (córnea) 283 transparente, de tal manera que entre la córnea y el iris se forma la cámara anterior del ojo 22, que está llena de un líquido transparente. La
 10 córnea en su periferia se convierte en la esclerótica.

En el sistema óptico ojo, con el ojo destensado de visión normal la luz paralela incidente se enfoca esencialmente a través de la córnea sobre la retina. Mediante modificación de la refracción del cristalino 282 se reproducen de forma nítida los objetos a diferente distancia. Se denomina a continuación eje óptico 291 del ojo 280 la mediatriz sobre el plano principal 290 del cristalino 282. Por el contrario se define como dirección de observación 292 la recta a través
 15 del punto central de la pupila y la fóvea central 286, ya que un ser humano por norma general dirige su ojo de tal manera sobre un punto a observar que el mismo se reproduce en la zona de la visión más aguda. Mientras que en el caso normal el eje óptico 291 y la dirección de observación o el eje visual 292 apenas difieren, puede suceder que la fóvea central no se encuentre frente a la pupila. Entonces, parece que el ojo bizquea.

Para 1.2 Exploración pasiva

20 De la luz ambiental poliespectral se pueden retirar mediante filtración rayos de luz de longitudes de onda particularmente adecuadas, por ejemplo, en el intervalo verde y el amarillo de la visión más aguda entre 500 nm y 600 nm, para poder detectar de este modo de forma particularmente buena la mácula, o luz en el intervalo de aproximadamente 750 nm, en el que la reflectividad de la retina es máxima.

Para 1.3.1.1 Modulación de amplitudes

25 Se denomina modulación de amplitudes una modulación en la que al menos una de las magnitudes características que se han indicado anteriormente presenta en distintos periodos de tiempo o en distintos momentos respectivamente valores determinados. La Figura 3a muestra, para esto, de forma ilustrativa la intensidad de rayo I_e de una luz irradiada al interior activamente a lo largo del tiempo, que presenta en un primer periodo de tiempo T1 un valor de referencia del 100% y en un segundo periodo de tiempo T2 posterior, un valor del 0%, sucediéndose
 30 periódicamente los periodos de T1 y T2. Si se refleja una luz irradiada al interior activamente de este tipo junto con la luz ambiental en un punto de la retina y en un detector se registra la intensidad de rayo de todo el rayo de luz reflejado en este punto, a partir de la diferencia de la luz captada en el periodo T1 y en el periodo T2 produce aproximadamente justo la luz irradiada al interior activamente sin partes de luz ambiental.

Para 1.3.1.2 Modulación de frecuencia

35 Se denomina modulación de frecuencia el cambio de una periodicidad de al menos una de las magnitudes características que se han indicado anteriormente. Para esto, la Figura 3b muestra a su vez de forma ilustrativa la intensidad de rayo I_e de una luz irradiada al interior activamente a lo largo del tiempo, que en un primer periodo de tiempo T1 se irradia al interior por impulsos con una duración de periodo λ_1 y en un segundo periodo de tiempo T2 posterior, por impulsos con una duración de periodo $\lambda_2 \neq \lambda_1$. Si una luz irradiada activamente al interior de este tipo
 40 se refleja junto con la luz ambiental en un punto de la retina y se registra en un detector, entonces mediante la duración de periodo λ_1 o λ_2 se puede determinar si el rayo de luz se ha irradiado durante el periodo T1 o el periodo T2. En general, por ejemplo, se puede cambiar la periodicidad entre un momento TA no representado y un momento TE no representado de acuerdo con una relación predefinida, es decir, disminuir linealmente, por ejemplo, entre TA y TE. Después, a partir de la periodicidad del rayo de luz reflejado y registrado puede determinarse el momento entre
 45 TA y TE en el que se emitió el rayo. Esto posibilita, por ejemplo, una medición de tiempo de propagación y, con ello, por ejemplo, con una geometría conocida del sistema de detector o de proyección, la determinación de la separación entre el punto que refleja del ojo y el sistema de detector o de proyección como punto de la velocidad de la luz y del tiempo de propagación. Del mismo modo posibilita diferenciar la luz irradiada activamente al interior de la luz ambiental.

50 También una o varias magnitudes características del rayo de luz irradiado activamente al interior pueden estar moduladas en amplitud y/o frecuencia al mismo tiempo o una tras otra. En la Figura 3b, entre el periodo T1 y el periodo T2 han cambiado tanto la duración de periodo (modulación de frecuencia) como la anchura de impulso (modulación de código de impulso).

Para 1.3.2 adaptación de la intensidad luminosa activa

55 La exploración activa presenta, frente a la exploración pasiva, la ventaja de que se puede asegurar que se irradie siempre luz con suficiente intensidad por el ojo, irradiándose al interior activamente correspondientemente mucha luz. Por ejemplo se puede adaptar la intensidad de rayo del irradiador que emite activamente la luz de tal manera

que el detector pueda registrar con la suficiente claridad el rayo de luz reflejado resultante a partir de esto. Si el detector ya no puede registrar el rayo de luz irradiado activamente al interior y reflejado, se puede aumentar correspondientemente la intensidad luminosa, si el detector registra una intensidad luminosa muy alta del rayo irradiado activamente al interior y reflejado, se reduce correspondientemente la intensidad luminosa. Por ello es posible la determinación de la orientación del ojo incluso con oscuridad (gafa de realidad virtual, aparato de visión nocturna, etc.) o proporciones muy cambiantes de la luz (paso a través de túnel, etc.).

Para 1.3.3.1 iluminación puntual

De acuerdo con la invención, un rayo de luz se puede emitir por un irradiador, por ejemplo, un láser y conducirse mediante una disposición conductora de luz de proyección de tal manera que se iluminan uno tras otro, es decir, distintos puntos secuencialmente sobre la parte del ojo. Esto se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante un dispositivo que está estructurado de forma análoga al representado en la Figura 1, estando sustituido el detector 110 por un irradiador (reversibilidad del haz luminoso). Gracias a un movimiento correspondiente de los dos espejos planos 109H o 109V, el rayo de luz emitido por el irradiador se conduce entonces secuencialmente a distintos puntos de la retina 105. A este respecto, el punto final del rayo de luz sobre el ojo sigue un patrón de movimiento (movimiento de proyección).

Como alternativa, también el propio irradiador puede conducir el rayo de luz emitido a distintos puntos de la parte del ojo. Por ejemplo, un láser controlable puede enviar el rayo de luz emitido de tal manera sobre un espejo curvado o de varias piezas que se incide con un cierto ángulo respectivamente sobre una determinada zona del espejo. Las zonas de espejo están inclinadas unas con respecto a otras con distintos ángulos, de tal manera que un rayo de luz que incide en el mismo ángulo con todo el espejo se desvía en distintas zonas de espejo en distintas direcciones. Para esto, la Figura 4 muestra esquemáticamente un láser 401 controlable, que puede desviar un rayo de luz como máximo el ángulo α del eje principal 402. Para esto, con la máxima desviación α en el plano del dibujo se obtienen los rayos marginales 403a o 403b. Estos se reflejan en las zonas de espejo 404a o 404b correspondientes de un espejo 404, estando inclinadas estas zonas de espejo unas con respecto a otras de forma adecuada. Los rayos marginales 405a o 405b reflejados presentan, con respecto al rayo principal 406 reflejado en una zona de espejo 404c inclinada con respecto a las zonas de espejo 404a o 404b un ángulo β que es mayor que el ángulo α original. De este modo se pueden realizar zonas de exploración lo suficientemente grandes incluso con un irradiador que puede realizar solo una pequeña desviación del rayo emitido. La superficie del espejo 404 con las zonas de espejo 404a, 404b o 404c correspondientes se obtiene geoméricamente a partir de los correspondientes ángulos y separaciones.

Para 1.3.3.1.1 registro de luz de toda la pupila

La Figura 18 muestra un rayo de luz 1804 irradiado al interior de un ojo 1801 con pupila 1802 y cristalino 1803, que presenta un diámetro muy pequeño. Este se irradia de vuelta (refleja o dispersa) en un punto 1805 de la retina del ojo 1801 en gran parte como rayo principal 1806, que en el caso representado se corresponde, casualmente, con el rayo de luz 1804 irradiado al interior. Esta configuración particular se ha elegido en este caso solo por el motivo de una representación más clara y no indica ninguna limitación de las realizaciones. En esta dirección no se refleja de vuelta todo el rayo de luz 1804 de forma paralela como rayo principal 1806, una parte se refleja también como los rayos 1806a, 1806b, 1806c, 1806d en otras direcciones, obteniéndose, por ejemplo, una distribución de la intensidad con forma de lóbulo del rayo de luz irradiado de vuelta del rayo principal. Una parte de estos rayos de luz reflejados en una dirección diferente de la de reflexión sale a través de la pupila 1802 del ojo y tiene un recorrido prácticamente coaxial con respecto al rayo principal 1806 reflejado. Para esto están dibujados los dos rayos marginales 1806b, 1806c, que pasan en ese momento todavía por la pupila 1802. Los rayos 1806a, 1806d se reflejan de tal manera que ya no pasan a través de la pupila 1802. Una disposición conductora de luz de detector 1802 (representada de forma simplificada en forma de un espejo) está configurada de tal modo que también estos rayos marginales se conducen hacia un detector 1802 y se registran por el mismo, por lo que aumenta ventajosamente la cantidad de luz registrada.

Para 3.2.1 espejo

En una realización preferente, la disposición conductora de luz de detector comprende uno o varios espejos, cuya orientación entre sí, con respecto al ojo, cuya orientación ha de determinarse, y con respecto al detector se puede ajustar de tal manera que los rayos de luz que se han reflejado en determinados puntos del ojo se conducen secuencialmente al detector.

La orientación de los espejos móviles se puede controlar de tal manera que se puede explorar un patrón deseado de movimiento. Para un patrón por norma general bidimensional (por ejemplo, una rejilla, una espiral o similares) pueden estar presentes, por ejemplo, tal como se muestra en la Figura 1, dos espejos planos, que se pueden mover alrededor de los ejes distintos entre sí. Como alternativa se puede usar, por ejemplo, también un espejo oscilante.

Además de los espejos móviles pueden existir también espejos fijos, tal como se muestra de forma ilustrativa en la Figura 1. Un primer espejo fijo puede ser, por ejemplo, un espejo semitranslúcido, que deja pasar luz en dirección al ojo y que desvía la luz que sale del ojo. Por ello es posible disponer el detector fuera del campo visual del ojo. Otros

espejos fijos pueden estar dispuestos, tal como muestra de forma ilustrativa también la Figura 1, de tal manera que el detector o los espejos móviles se pueden disponer de forma particularmente adecuada, por ejemplo, fuera del campo visual del ojo o en un punto adecuado del dispositivo.

Para 3.3.1 irradiador

- 5 Ventajosamente, al menos una de las magnitudes físicas de la luz emitida por el irradiador es ajustable. Por ejemplo, un irradiador puede emitir rayos de luz con un patrón determinado en el tiempo con respecto a la intensidad, longitud de onda o similares, tal como está indicado de forma ilustrativa en las Figuras 3a, 3b.

Para 3.3.3 disposición conductora de luz de proyección

- 10 Para desviar la luz emitida por el irradiador a la zona del ojo en la que se tiene que reflejar y registrar a continuación en el sistema detector, está presente una disposición conductora de luz de proyección, en la que entra la luz emitida por el irradiador y que conduce esta luz a la zona deseada.

Particularmente, el propio dispositivo conductor de luz de detector puede formar una parte de la disposición conductora de luz de proyección, entrando la luz emitida por el irradiador en sentido opuesto en paralelo al haz luminoso delante, en o detrás del dispositivo conductor de detector.

- 15 Para esto, la Figura 5 muestra de forma ilustrativa un irradiador 501 que emite un rayo de luz 502. Este se conduce de un espejo 503 a un espejo 504 semitranslúcido, que deja pasar el rayo de luz 502 en la medida de lo posible sin modificar. Un espejo semitranslúcido puede ser un espejo divisor que deja pasar preferentemente luz en una dirección a través del espejo en la medida de lo posible sin modificar y que refleja en la medida de lo posible la luz en la dirección opuesta. El rayo de luz 502 entra entonces en una disposición conductora de luz de detector, tal como se forma, por ejemplo, en la Figura 1 por los espejos planos 109V, 109H móviles y los dos espejos 107, 108 cóncavos. Por la misma, el rayo de luz se conduce y/o enfoca en una zona determinada del ojo, se refleja en esta zona e incide en el mismo camino como rayo de luz 505 reflejado de nuevo en el espejo 504 semitranslúcido. Este refleja la mayor parte posible del rayo de luz 505 incidente a otro espejo 506, que conduce el rayo de luz 505 reflejado en una parte del ojo a un detector 507, donde se registra al menos una magnitud característica de este rayo de luz.
- 20
- 25

Ejemplos de realización para el dispositivo óptico

- A continuación, para la aclaración de las características que se han representado anteriormente, mediante las figuras se describen algunas realizaciones del dispositivo óptico según la presente invención mediante una realización preferente en forma de una gafa. La invención no está limitada a una gafa, puede estar dispuesta, por ejemplo, incluso en un armazón que se puede llevar en la cabeza, un casco o similares. Del mismo modo puede estar fijado en un objeto móvil con respecto al entorno y con respecto al portador tal como, por ejemplo, una agenda electrónica portátil, un ordenador portátil o similares. Además, en las realizaciones descritas se usa como parte que refleja del ojo la retina, tal como se ha descrito anteriormente del mismo modo también se pueden usar otras partes del ojo (córnea, iris, etc.).
- 30

- 35 En la Figura 6, el usuario 302 lleva un dispositivo de acuerdo con la invención en forma de una gafa 320 con una patilla 321L o 321R izquierda o derecha. La mitad izquierda de la imagen muestra la vista superior desde arriba, la mitad derecha de la imagen, un corte que pasa a través de la patilla 321L izquierda.

- Desde el entorno inciden rayos de luz 333a, 333b en el ojo 380 y se enfocan por su córnea y cristalino 382 sobre la retina 381. La retina refleja estos rayos parcialmente de tal manera que los mismos vuelven a salir del ojo 380 a través del cristalino 382. La reflectividad de la retina, a este respecto, asciende dependiendo de la longitud de onda de la luz incidente, aproximadamente al 0,2-10%. Un rayo 331 reflejado de este modo se conduce por un primer espejo 323 cóncavo semitranslúcido, que deja pasar en la medida de lo posible sin modificar la luz en dirección al ojo y que refleja en la medida de lo posible completamente la luz que sale del ojo y un segundo espejo 322 cóncavo al primer espejo plano 352H móvil horizontalmente, desde el mismo a un segundo espejo plano 352V móvil verticalmente y desde el mismo, a un fotodetector 351. Dependiendo de la posición de los dos espejos planos 352H, 352V se conduce respectivamente un rayo de luz 331 muy determinado, que se reflejó en un determinado punto de la retina, el detector 351 y en el mismo se registra mediante un equipo de enfocado, tal como, por ejemplo, una lente colectora en una fotocélula, que registra la intensidad del rayo de luz. Con intensidad del rayo de luz se indica siempre una magnitud adecuada, que se puede medir por el detector del rayo de luz reflejado, tal como, por ejemplo, la "intensidad de" irradiación, densidad de rayos, intensidad luminosa, luminosidad o similares. Mediante un movimiento correspondiente de los dos espejos planos, de este modo, se registran secuencialmente los rayos de luz que se han reflejado en puntos a lo largo de una trayectoria correspondiente sobre la retina, la imagen de reflejo del entorno se explora como secuencia de puntos de imagen.
- 40
- 45
- 50

- Por ejemplo, en el primer espejo plano 352H fijo y el segundo espejo plano 352V girado igualmente alrededor de su eje horizontal se exploran puntualmente los puntos de imagen de una recta vertical sobre la retina. Con el primer espejo plano 352H girado igualmente alrededor de su eje vertical y el segundo espejo plano 352V fijo se exploran puntualmente rectas horizontales sobre la retina. En una realización preferente de la presente invención, los dos
- 55

espejos planos se mueven hacia arriba y abajo o de un lado a otro de forma sinusoidal, de tal manera que la curva explorada sobre la retina 381 puede comprender círculos (con la misma amplitud en ambos espejos), elipses (con distintas amplitudes en ambos espejos), espirales (con amplitudes crecientes en ambos espejos) u otras curvas adecuadas.

5 En otra realización, los dos espejos planos 352H, 352V están sustituidos por un espejo oscilante que se puede mover alrededor de al menos dos ejes, que está dispuesto de tal manera que conduce los rayos de luz del segundo espejo cóncavo 322 al fotodetector 351. Mediante un control correspondiente del espejo oscilante se pueden registrar asimismo secuencias de puntos de imagen a lo largo de trayectorias discretas sobre la retina por el fotodetector 351.

10 Una trampa de luz 324 evita que la luz caiga desde direcciones de incidencia indeseadas sobre el ojo o los espejos.

En lugar del primer espejo cóncavo 323, el cristal de gafa 340 puede estar azogado de tal manera que refleja en la medida de lo posible completamente al menos los rayos de luz reflejados por el ojo. Para desviar incluso composiciones giradas del ojo los rayos de luz reflejados por el ojo de forma adecuada al segundo espejo hueco 322, la superficie reflectante orientada hacia el ojo del cristal de la gafa tiene que presentar una forma correspondiente. En este sentido se hace referencia a la solicitud PCT presentada el 8.10.2001 por el mismo solicitante "Informationssystem und Verfahren zum Zurverfügungstellen von Informationen unter Verwendung eines holographischen Elements". La superficie reflectante de la forma deseada puede estar emulada preferentemente mediante un revestimiento holográfico configurado correspondientemente del cristal de gafa 340.

20 En lugar de las distintas disposiciones reflectantes (espejos planos, oscilantes o cóncavos, superficies reflectantes, revestimientos holográficos, etc.) descritos en este punto y en lo sucesivo, en las realizaciones de la presente invención pueden haberse usado también siempre todos los otros mecanismos conocidos de refracción o reflexión de la luz, por ejemplo, electroholográficos o similares, para conducir los rayos de luz desde el irradiador al ojo o desde el ojo al detector.

25 En un dispositivo para la exploración activa está presente adicionalmente un irradiador que irradia luz, por ejemplo, un láser, una lámpara de infrarrojos, un diodo luminoso o similares. En una realización, el fotodetector 351 está dispuesto en el centro de un irradiador. Por tanto, para la proyección de luz sobre el ojo se usan los mismos dispositivos (espejo plano u oscilante 352H, 352V; segundo espejo cóncavo 322; primer espejo cóncavo 323 o cristal de gafa 340 azogado o cristal de gafa 340 revestido holográficamente) y, por tanto, el mismo haz luminoso que durante el registro de los rayos de luz reflejados. Una disposición de este tipo presenta la ventaja de que los errores sistemáticos posiblemente existentes debido a divergencias de las superficies de espejo o similares son idénticos durante la proyección y exploración. Si se aprovecha el sistema de proyección adicionalmente o como alternativa a la proyección de señales sobre la retina, la correlación entre la secuencia de puntos de imagen registrada por el fotodetector 351 sobre la retina, que puede ser, por ejemplo, la imagen de reflejo del entorno de la imagen percibida en el ojo, y la información proyectada al interior, que puede ser, por ejemplo, una marca virtual de un objeto en esta imagen, no se ve alterada por estos errores sistemáticos. Además, el aprovechamiento conjunto de los mismos dispositivos reduce el peso del dispositivo óptico y queda asegurado que la luz emitida por el irradiador vuelva también al menos en parte al detector.

40 Como alternativa, en una realización (no representada) de la presente invención puede existir una segunda disposición adicional de espejo plano u oscilante, segundo espejo cóncavo y primer espejo cóncavo o crista de gafa azogado o cristal de gafa revestido holográficamente de forma análoga a una de las realizaciones que se han descrito anteriormente, en la que en lugar del fotodetector 351 existe un irradiador, de tal manera que la luz reflejada por la disposición descrita anteriormente se registra con el detector 351 y se puede irradiar al mismo tiempo por la segunda disposición luz sobre el ojo.

45 Como alternativa, para la exploración activa puede usarse una de las realizaciones descritas a continuación mediante las Figuras 7a, 7b.

50 En el dibujo detallado 7b está mostrado un sistema combinado de proyección y detector 650L, que está dispuesto entre el cristal de gafa izquierdo 624L y la patilla izquierda 621L. Evidentemente, esta u otra realización de la presente invención puede estar dispuesta siempre también como alternativa o adicionalmente de forma análoga en el lado derecho, en este caso, por ejemplo, entre el cristal de gafa 624R derecho y la patilla 621R derecha. El cristal de gafa 624L izquierdo está previsto en la presente realización en el lado orientado hacia el ojo de un revestimiento 623L holográfico, que emula, tal como se ha descrito anteriormente, una superficie de reflexión o de enfoque.

55 El sistema combinado de proyección y detector 650L comprende una carcasa 658 cerrada con una ventana 659 translúcida. Por ello, ciertamente pueden entrar rayos de luz en la carcasa y salir de la carcasa, sin embargo, se impide que sustancias extrañas tales como polvo o similares entren. En la carcasa 658 está dispuesto un irradiador 653 y un fotodetector 651. Un rayo de luz 630 irradiado por el irradiador 653 incide sobre un primer espejo oscilante 652, que se coloca mediante un accionamiento adecuado de tal manera que conduce el rayo de luz mediante un espejo divisor 656 de tal forma al revestimiento 623L holográfico, que el rayo de luz se refleja desde ahí hasta un punto deseado sobre la retina 681 del ojo 680. Desde este punto, el rayo 630 se refleja al menos parcialmente en el

mismo camino de vuelta al revestimiento 623L holográfico y desde el mismo en el mismo camino al espejo divisor 656. El espejo divisor 656 conduce una parte del rayo 630 entrante a un segundo espejo oscilante 654, que, a su vez, se coloca de tal manera mediante un accionamiento adecuado que desvía el rayo 630 al fotodetector 651 que registra el mismo.

- 5 En una realización ventajosa, el espejo divisor 656 el lado orientado hacia el segundo espejo oscilante 654 es intensamente reflectante, de tal manera que un porcentaje lo más alto del rayo de luz 630 reflejado de vuelta del ojo se conduce al fotodetector 651.

- Ventajosamente está colocada una marca 625 en el cristal de gafa 624L. Esta se puede usar, por un lado, para establecer un valor de referencia con respecto a las condiciones luminosas y la reflectividad de los componentes individuales en el haz luminoso. Para esto, mediante el primer espejo oscilante 652, el rayo de luz 630 se conduce con intensidad conocida sobre la marca 625 y se refleja de vuelta parcialmente por la misma en la dirección opuesta. Para esto, la superficie de la marca 625 orientada hacia el sistema combinado de proyección y detector 650L puede estar configurada correspondientemente, por ejemplo, de forma completamente reflectante. El rayo 630 reflejado se desvía en el espejo divisor 656 hacia el segundo espejo oscilante 654 y desde el mismo al fotodetector 651, donde se registra la intensidad y se establece como valor de referencia, por ejemplo, para el 100% de reflexión. Con ello es posible adaptar el dispositivo óptico incluso a condiciones luminosas cambiantes.
- 10
- 15

- El irradiador y/o el detector puede estar sustituido en la presente invención siempre por un dispositivo de salida de luz o de entrada de luz, que está dispuesto en el lugar de la abertura de luz o entrada de luz del irradiador o detector y que está unido con un conductor de luz adecuado, particularmente un cable de fibra de vidrio o similares de forma fotoconductor, que está unido de forma fotoconductor a su vez en su otro extremo con un irradiador o detector. Por ello, el irradiador o detector puede estar dispuesto ventajosamente en cualquier punto alejado de la disposición conductora de luz, por ejemplo, en el cinturón del portador de un dispositivo de acuerdo con la invención en forma de una gafa, de tal manera que el peso del proyector o fotodetector no actúa sobre la gafa.
- 20

Para 4.1 imagen registrada

- 25 Durante la determinación se pueden explorar siempre puntos a lo largo de una trayectoria secuencialmente, es decir, de forma sucesiva. Como resultado se obtiene una secuencia de puntos de imagen a los que se pueden asociar, por ejemplo, coordenadas (por ejemplo, abscisa x y ordenada y ; radio R y ángulo polar ϕ) determinadas mediante la posición de la disposición conductora de luz de detecto y valores para la magnitud física. Adicionalmente, a cada punto puede estar asociada una distancia con respecto al detector, por ejemplo, debido a un tiempo de propagación medido y/o enfoque y/o interferencia, de tal manera que se obtiene como "imagen" una relación de "valor (x,y) físico" o "valor (x,y,z) físico".
- 30

- Para la mejor comprensión, por ejemplo, en la disposición de la Figura 1 a cada posición del espejo plano 109H móvil horizontalmente puede estar asociado un valor x y a cada posición del espejo plano 109V móvil verticalmente, un valor y . como magnitud física puede determinarse cuantitativamente, por ejemplo, la intensidad de rayo I_e o luminosidad de un rayo de luz registrado en esta posición de la disposición conductora de luz de detector por el detector 110, que se ha reflejado en un punto de la retina 105. Si se establecen y almacenan sucesivamente para distintas posiciones de ambos espejos planos la luminosidad de un rayo de luz incidente, se obtiene una cantidad de tripletes de valores (x, y, I_e), que en un sistema de coordenadas $x-y$ da lugar a una curva. Mediante una conversión correspondiente analógica/digital, a este respecto, a los puntos individuales de la curva pueden estar asociados valores específicos de luminosidad o de tonos de gris. Adicionalmente, por ejemplo, mediante un rayo de luz modulado en frecuencia, puede haberse determinado el tiempo de propagación y, con ello, la separación Z del punto reflejante con respecto al detector, entonces se obtiene de forma análoga una cantidad de tuplas de valores (x,y,z,I_e), que en un sistema de coordenadas $x-y-z$ dan lugar a una curva de puntos de imagen.
- 35
- 40

- En el caso de una exploración más fina, es decir, por ejemplo con pasos más pequeños entre las posiciones (x,y) individuales de los espejos planos, la curva da lugar a una "imagen" bidimensional o tridimensional cada vez más nítida de la parte del ojo en el que se han reflejado los rayos de luz.
- 45

Para 4.2 detección

4.2.1 Determinación general del punto central de la pupila

- Un rasgo característico del ojo es el punto central de la pupila, que, por ejemplo, junto con la fovea central establece una dirección de observación del ojo. Mediante la Figura 8 se explica una determinación general del punto central de la pupila con respecto al dispositivo 420A de acuerdo con la presente invención. La Figura 8 muestra en la vista superior la imagen de un ojo 480 con la esclerótica 428, el iris 485 y la pupila 484 detrás de una montura de gafas 420A.
- 50

- Para la montura de gafas 420A se establece un sistema de coordenadas plano (MS, x, y), con respecto al cual se determina el punto central de la pupila (x_{PMG}, y_{PMG}). A este respecto se selecciona como origen una marca MS sobre la montura de las gafas, a través de la cual va el eje x horizontal y el eje y perpendicular con respecto a esto. A este respecto, el eje x se encuentra ventajosamente de forma aproximada a la altura de la pupila.
- 55

En primer lugar, mediante un movimiento correspondiente de los espejos de detector (véase la sección “dispositivos ópticos”) se explora activa o pasivamente una secuencia de puntos a lo largo de una primera recta BM1 sobre el eje x. la luminosidad SPH de los puntos de imagen a lo largo de esta recta, a este respecto, durante la transición del rayo de exploración de la cara a la esclerótica cambia en el punto P1 a un valor W (“blanco”) mayor, durante la transición de la esclerótica al iris en el punto P2 a un valor menor y con una nueva transición del iris a la esclerótica en el punto P3, de nuevo al valor W. la media geométrica de las coordenadas x de los puntos P2 y P3 se establece como coordenada x temporal x_{JM} del punto central de la pupila.

A continuación se explora activa o pasivamente una secuencia de puntos a lo largo de una segunda recta BM2, que tiene un recorrido paralelo con respecto al eje y a través del punto $(x_{JM}, 0)$ y, por tanto, siempre a través de la pupila. Preferentemente, a este respecto, el rayo de exploración a lo largo de tres cuartos de círculos pasa de la recta BM1 a la recta BM2 para mantener reducida la excitación de vibración del dispositivo. La luminosidad SPV de los puntos de imagen a lo largo de la segunda recta BM2 cambia durante la transición del iris a la pupila prácticamente negra en el punto P5 aproximadamente a un valor S menor, característico de una pupila individual y con una nueva transición de la pupila al iris en el punto P6, de nuevo a un mayor valor. Como coordenada y YPMG del punto central de la pupila se determina la media geométrica entre las coordenadas y de los puntos P5 y P6, entre los cuales el rayo de exploración suministra aproximadamente un valor de luminosidad S característico establecido, por ejemplo, empíricamente.

Finalmente se explora activa o pasivamente una secuencia de puntos a lo largo de una tercera recta BM3, que tiene un recorrido paralelo con respecto al eje x a través del punto $(0, y_{PMG})$ y, por tanto, siempre a través de la pupila. Preferentemente, a este respecto, el rayo de exploración a lo largo de tres cuartos de círculo pasa de la recta BM2 a la recta BM3 para mantener reducida la excitación de vibración del dispositivo. La luminosidad de los puntos de imagen a lo largo de la tercera recta BM3 cambia de forma análoga a la segunda recta en la transición del iris a la pupila prácticamente negra aproximadamente a un valor S menor y con una nueva transición de la pupila al iris de nuevo a un valor mayor. Como coordenada x x_{PMG} del punto central de la pupila se determina la media geométrica entre las coordenadas X de los puntos entre los cuales el rayo de exploración suministra aproximadamente el valor de luminosidad S.

Un dispositivo de evaluación diseñado adecuadamente determina mediante el procedimiento que se ha representado anteriormente de forma fiable la ubicación (x_{PMG}, y_{PMG}) del punto central de la pupila con respecto a la montura de la gafa 420A y almacena estos datos, de tal manera que, por ejemplo, se pueden usar en el procedimiento descrito a continuación partiendo del punto central de la pupila hallado para reajustar correspondientemente el dispositivo de exploración.

En caso de que durante la exploración a lo largo de una de las tres rectas BM1, BM2 o BM3 no se registren los recorridos esperados de la luminosidad, ya que, por ejemplo, el ojo está cerrado por el párpado, el dispositivo de evaluación reconoce que la determinación ha fracasado y repite al menos las etapas de exploración fracasadas hasta que se haya llevado a cabo exitosamente una determinación sin errores del punto central de la pupila y/o comunica el fracaso de la determinación a partir del cual se puede deducir, por ejemplo, que se está realizando en ese momento un cierre de párpado. Con ello puede quedar asegurado, por tanto, al mismo tiempo que el ojo está abierto en el momento de la determinación del centro de la pupila y, por ejemplo, también se pueden proyectar informaciones al interior del ojo o se puede explorar la retina.

Adicionalmente se puede establecer, por ejemplo, la separación del punto P2 con respecto al detector y, con ello, aproximadamente la ubicación tridimensional del punto central de la pupila con respecto al dispositivo de acuerdo con la invención o al detector.

4.2.2. Determinación fina del punto central de la pupila

Se puede llevar a cabo una determinación fina del punto central de la pupila, que se explica esquemáticamente a continuación mediante la Figura 9. Ventajosamente, esta determinación fina se puede llevar a cabo después de que se haya determinado aproximadamente la ubicación del punto central de la pupila mediante la determinación general que se ha representado anteriormente.

La Figura 9 muestra la vista superior sobre un ojo con una línea H horizontal y una línea V vertical perpendicular con respecto a la misma, que pasan ambas a través del punto central de la pupila PM (exacto). Con una exploración activa o pasiva a lo largo de estas líneas se obtienen aproximadamente los recorridos de luminosidad SPH representados abajo o a la derecha con respecto a la línea H horizontal o SPV con respecto a la línea V vertical. A este respecto, el valor de la luminosidad disminuye durante la transición de la esclerótica blanca al iris coloreado de un valor W característico para la esclerótica y disminuye durante la transición del iris a la pupila negra en los puntos P7, P8 o P5, P6 aproximadamente a un valor S característico para la pupila.

Si se explora ahora la pupila sucesivamente a lo largo de círculos K1, K2, ... Kn concéntricos alrededor del punto central de la pupila PMG determinado anteriormente de forma general, la exploración a lo largo de los círculos que se encuentran por completo dentro de la pupila da lugar siempre aproximadamente a un valor de luminosidad S constante a lo largo de toda la periferia del círculo, la exploración a lo largo de los círculos que se encuentran por

completo fuera de la pupila, siempre aproximadamente un valor de luminosidad W constante a lo largo de toda la periferia del círculo.

El radio r_l de un primer círculo K_1 alrededor del punto central de la pupila PMG determinado de forma general se selecciona de tal manera que el círculo K_1 se encuentra por completo dentro de la pupila. Para esto se comienza, por ejemplo, con un valor inicial para el radio r_l y se comparan los valores de luminosidad a lo largo del círculo inicial correspondiente con el valor de referencia S . a continuación se reduce el radio hasta que los valores de luminosidad no difieran en ningún punto significativamente de S . como alternativa se puede predefinir también un radio máximo siempre suficientemente constante. Entonces se exploran círculos concéntricos K_2, \dots, K_n alrededor del punto central de la pupila determinado de forma general, siendo el radio r_i de cada círculo K_i mayor que el radio $r_{(i-1)}$ del anterior círculo $K_{(i-1)}$, hasta que los valores de luminosidad a lo largo de un círculo K_n entre los puntos PAUS y PEIN sobre la periferia del círculo K_n sean significativamente mayores que el valor de referencia S . en este caso, el punto central de la pupila PMG determinado de forma general se desplaza a lo largo de la mediatriz a la secante a través de los puntos PAUS y PEIN, por ejemplo, en la diferencia de los radios m y $r_{(n-1)}$. En caso de que los puntos PAUS y PEIN sean (aproximadamente) idénticos, la pupila se encuentra por completo dentro del círculo K_n . Entonces, el radio m se disminuye hasta que al menos en una subzona de la periferia del círculo K_n , los valores de luminosidad no difieran ya significativamente del valor de referencia S y se continúa con el procedimiento.

El procedimiento que se ha descrito anteriormente se puede repetir varias veces, reduciéndose respectivamente de forma adecuada la diferencia de los radios de círculos sucesivos con respecto al ciclo anterior del procedimiento y seleccionándose como primer círculo K_1 un círculo con el radio del círculo $K_{(n-1)}$, que se encontraba todavía por completo dentro de la pupila, para desplazar de este modo el punto central de la pupila PMG de forma iterativa al punto central de la pupila PM exacto. A este respecto, si la diferencia de radios no llega a un valor predeterminado, el dispositivo de acuerdo con la invención interrumpe el procedimiento y considera que el punto central de la pupila PMG hallado está determinado lo suficientemente exacto.

En el procedimiento que se ha indicado anteriormente pueden explorarse elipses en lugar de círculos para tener en cuenta la distorsión de la pupila redonda durante un giro del ojo. De forma análoga a los anteriores procedimientos puede comenzarse también con un primer círculo que se encuentra por completo fuera de la pupila y donde los radios de los círculos posteriores se disminuyen constantemente.

De forma análoga a los procedimientos que se han descrito anteriormente se puede determinar también la mácula sobre la retina. Esto se describe a continuación mediante la Figura 10 u 11. A este respecto puede suponerse como punto de partida para el centro de la mácula en primer lugar un punto central de la pupila determinado de acuerdo con uno de los anteriores procedimientos.

4.2.3 Determinación general del punto central de la mácula

La Figura 10 muestra una imagen de la retina con la mácula 686A, la fovea central 686 que se encuentra en el interior con el punto central de la mácula MM, el punto ciego 688 así como varios vasos sanguíneos 687A. Las características que se han mencionado anteriormente se diferencian entre sí y en el resto de la retina por los valores de luminosidad que presentan los rayos de luz reflejados en las mismas. De este modo, por ejemplo, la fovea central 686 refleja de forma claramente más intensa que la retina restante, los valores de luminosidad de los rayos de luz reflejados en la fovea central se encuentran significativamente más próximos al valor de luminosidad V de una superficie de reflexión blanca que de los rayos de luz que se reflejan en su entorno y, por tanto, presentan un valor de luminosidad que se encuentra más cerca del valor de luminosidad S de una superficie de reflexión negra.

En una realización de la presente invención, la retina se explora a lo largo de una línea H horizontal y una línea V vertical, que pasan a través de un punto central de la mácula temporal, que se obtiene, por ejemplo, a partir del punto central de la pupila establecido anteriormente. Estableciéndose, por ejemplo, el propio punto central de la pupila, punto central de la mácula temporal o estableciéndose el punto central de la mácula temporal en una posición predeterminada con respecto al punto central de la pupila, que se puede haber determinado, por ejemplo, empíricamente a partir de experimentos anteriores de las posiciones relativas de los puntos centrales de la pupila y de la mácula. Entonces, mediante la ubicación de los puntos P_9, P_{10} o P_{11}, P_{12} , en los que con exploración vertical u horizontal en el desarrollo de la luminosidad SPV o SPH aparece un salto significativo y/o mediante la separación BV o BH entre esos puntos de forma análoga a los procedimientos que se han descrito anteriormente para la determinación del punto central de la pupila, se puede determinar el punto central de la fovea central 686 o el punto central de la mácula 686A.

Adicionalmente puede establecerse, por ejemplo, la separación del punto P_9, P_{10}, P_{11} o P_{12} con respecto al detector y, por tanto, aproximadamente la ubicación tridimensional del punto central de la mácula con respecto al dispositivo de acuerdo con la invención o con respecto al detector y/o con respecto al punto central de la pupila. A partir de la ubicación tridimensional del punto central de la pupila y de la mácula puede establecerse, entonces, por ejemplo la ubicación tridimensional de la dirección de observación, por ejemplo, con respecto al detector.

4.2.4 Determinación fina del punto central de la mácula

Mediante la Figura 11 se describe con más detalle un procedimiento para la determinación fina del centro de la

mácula de forma análoga al procedimiento indicado anteriormente para la determinación fina del centro de la pupila. Partiendo del punto central de la pupila PM hallado anteriormente, que sirve como punto de partida, se explora la retina en la zona de la mácula 686 en círculos concéntricos AK1, AK2, ...Akn, siendo el radio del primer círculo Aki siempre mayor que el radio del círculo anterior Ak (i-1). En cuanto los valores de luminosidad registrados a lo largo de un círculo (en la Figura 6A, el círculo AK5) presentan en una zona entre un punto P13 y un punto P14 sobre la periferia del círculo un valor claramente diferente, el centro de la mácula PM temporal se desplaza a lo largo de la mediatriz a la secante determinada mediante P13, P14 al nuevo centro de la mácula P15 temporal. El procedimiento se repite con una diferencia reductora entre dos radios de círculos sucesivos, comenzando con el círculo que se encontraba todavía por completo dentro de la mácula, es decir, en el que los valores de luminosidad a lo largo de toda la periferia del círculo presentaban aproximadamente un valor característico de la mácula, establecido, por ejemplo, empíricamente y ningún salto significativo. El procedimiento se repite hasta que la diferencia entre los radios de círculos sucesivos no llega a un valor límite predeterminado o un círculo tiene un recorrido aproximadamente a lo largo del límite de la mácula, lo que se comprueba debido a que los valores de luminosidad a lo largo de este círculo presentan múltiples saltos de señal entre el valor característico para la mácula y un valor que se encuentra claramente por encima. El punto central de la mácula hallado a este respecto en último lugar se almacena.

Para 4.2.5 procedimientos multietapa y análogos

Anteriormente se ha descrito cómo mediante los rayos de luz reflejados se puede determinar de forma general o precisa el punto central de la pupila y/o de la mácula. Del mismo modo se pueden determinar también otras características significativas del ojo, por ejemplo, vasos sanguíneos de la retina, cicatrices sobre la córnea o similares. Para esto se puede analizar, por ejemplo, una imagen de reflejo explorada mediante un reconocimiento de imagen o de patrón y localizarse patrones significativos (por ejemplo, vasos sanguíneos, cicatrices o similares).

Para 4.3.2 determinación de la orientación de la imagen de reflejo de la retina (mapa de la retina)

La Figura 12 muestra una reproducción bidimensional de la retina de un ojo con punto ciego 1188, el punto central de la mácula MMN y diversos vasos sanguíneos. La retina se explora mediante un patrón de movimiento adecuado, por ejemplo, tal como está representado en la Figura 12, a lo largo de una espiral 1138. A este respecto, el patrón de exploración, tal como se ha descrito anteriormente puede estar orientado en el antiguo punto central de la mácula MMA como punto de referencia, que se había establecido y almacenado en una etapa anterior. Mientras que en el ejemplo se usan espirales para la explicación, del mismo modo se pueden explorar también a lo largo de círculos concéntricos, a lo largo de una retícula rectangular o similares.

El punto central de la mácula como punto de referencia puede estar determinado mediante uno de los procedimientos que se han descrito anteriormente o mediante el presente procedimiento, que se llevó a cabo en un momento anterior. Comenzando con el antiguo punto central de la mácula MMA, el detector del dispositivo de acuerdo con la invención registra los valores de luminosidad de los rayos de luz que se reflejan a lo largo de la espiral. A este respecto, los puntos SPA de la curva que se encuentran sobre un vaso sanguíneo presentan otros valores de luminosidad que los puntos sobre el resto de la retina, lo mismo se cumple para los puntos SPAS que se encuentran sobre el punto ciego 1188 o para puntos MMN que se encuentran sobre la mácula. Los valores de la luminosidad obtenidos de este modo se almacenan como mapa de la retina.

La Figura 13 muestra un mapa de la retina establecido de este modo, en el que los valores de luminosidad están almacenados, por ejemplo, en forma binaria, es decir, cada punto cuyo valor de luminosidad supera un determinado valor característico se ocupa con 1, de lo contrario con 0. Un mapa de la retina puede estar almacenado de forma apropiada en forma de una matriz.

Mediante comparación del nuevo mapa de la retina establecido de este modo con un antiguo mapa de la retina establecido en un momento anterior un software correspondiente puede establecer el desplazamiento y el giro del mapa de la retina nuevo con respecto al antiguo y, por ejemplo, el cambio de la orientación del ojo. Para esto se determina preferentemente en primer lugar mediante uno de los procedimientos que se han descrito anteriormente con más detalle el nuevo centro de la mácula MMN, es decir, el actual, cuya ubicación con respecto al antiguo centro de la mácula MMA da como resultado el desplazamiento del nuevo mapa de la retina con respecto al antiguo, es decir, el vector de desplazamiento V correspondiente es el vector de MMA a MMN. A continuación se determinan dos ejes XAN o YAN preferentemente ortogonales en el nuevo mapa de la retina, que se cortan en el nuevo centro de la mácula MMN y que están orientados mediante rasgos característicos determinadores de los puntos explorados de la retina. Por ejemplo, el eje XAN puede pasar a través de puntos que debido a su disposición o sus valores de luminosidad se reconocen como parte del punto ciego. A continuación, el antiguo mapa de la retina se desplaza el vector W, de tal manera que el antiguo centro de la mácula MMA se encuentra sobre el nuevo centro de la mácula MMN y a continuación se gira alrededor de este punto MMA=MMN de tal manera que los antiguos ejes XAA o YAA se encuentran sobre los nuevos ejes XAN o YAN. El ángulo de giro que aparece en este caso describe junto con el vector de desplazamiento W el cambio de ubicación y de orientación del ojo con respecto al dispositivo en relación a la ubicación durante la toma del antiguo mapa de la retina.

Del mismo modo, tal como se representa en la Figura 14, un software correspondiente de reconocimiento y

procesamiento de patrón también puede hacer coincidir directamente una imagen de reflejo de la retina actual, es decir, nuevamente explorada o un mapa de la retina actual con un antiguo mapa de la retina almacenado o una imagen de reflejo de la retina, a su vez, el giro llevado a cabo en este caso y/o desplazamiento describe el cambio de la ubicación y de la orientación del ojo con respecto a la ubicación que se corresponde con el antiguo mapa de la retina o la imagen de reflejo de la retina. A este respecto se señala que una imagen de reflejo de la retina actual puede estar explorada o almacenada ventajosamente con claramente menos puntos de imagen. A pesar de esto, estos por norma general son suficientes para hacer coincidir la imagen actual y la imagen de referencia, teniéndose que explorar o procesar ventajosamente menos puntos.

Adicionalmente, por ejemplo, se puede establecer la separación de un punto sobre la retina con respecto al detector y, con ello, determinarse aproximadamente la ubicación tridimensional de la retina y, por tanto, del ojo con respecto al dispositivo de acuerdo con la invención o con respecto al detector.

Del mismo modo, como se ha representado anteriormente, también se puede usar la distorsión de la imagen de reflejo, por ejemplo, de la imagen de reflejo de la mácula o de la retina para la determinación de la orientación del ojo, como se muestra en la Figura 15 mediante un modelo muy simplificado. La Figura 15 muestra en una vista en perspectiva un ojo 1320 que se gira alrededor del eje 1300 el ángulo 1310.

En el estado no girado, un dispositivo de acuerdo con la invención puede establecer mediante los rayos de luz 1350 reflejados en el iris una imagen 1360 de la pupila. En el estado girado, los rayos de luz 1350' reflejados en el iris en el detector 1340 suministran la imagen 1360 prima desplazada y distorsionada de la pupila 1330' del ojo girado. A partir del desplazamiento y la distorsión de la imagen 1360' con respecto a la imagen 1360 se puede establecer correspondientemente el giro 1310 del ojo 1320. Con conocimiento de la forma física real, por ejemplo, la forma circular de la pupila, además, a partir de la imagen distorsionada puede determinarse también la orientación con respecto al detector. La forma física real puede haberse establecido, por ejemplo, empíricamente.

Adicionalmente, por ejemplo, se puede establecer la separación de un punto en el iris con respecto al detector y, por ello, aproximadamente la ubicación tridimensional del iris o de la pupila y, por tanto, del ojo con respecto al dispositivo de acuerdo con la invención o con respecto al detector.

Para 4.3.3 orientación con respecto al entorno y/o el dispositivo

A continuación, mediante las Figuras 16, 16A-16E se explican distintas posibilidades para la determinación de la orientación del ojo con respecto al entorno o al dispositivo. A este respecto, la representación y descripción para la mejor comprensión se limita al caso plano simplificado, del mismo modo pueden aplicarse los procedimientos de forma análoga también en un caso generalmente espacial. Adicionalmente, puede determinarse siempre la separación de uno o varios puntos explorados del ojo, por ejemplo, con respecto al detector, irradiándose al interior por ejemplo una señal luminosa modulada en frecuencia sobre este punto y registrándose el rayo de luz reflejado. A partir de la frecuencia del rayo de luz registrado puede establecerse el momento de su emisión y, por tanto, su tiempo de propagación, a partir de lo cual, a su vez, se puede determinar una separación con respecto al detector o con respecto al sistema de proyección. Con ello se puede determinar también la ubicación tridimensional del ojo con respecto al dispositivo de acuerdo con la invención.

La Figura 16 muestra esquemáticamente un ojo 200 en una posición de referencia y en una orientación girada el ángulo α con respecto a la misma en relación al entorno (representada con línea de rayas e indicada con '), caracterizado respectivamente por el eje visual 210 o 210', que pasa a través de los puntos centrales de la pupila 220 o 220' y de la mácula 230 o 230'. Adicionalmente está indicado el punto ciego 240 o 240' sobre la retina del ojo 200. El entorno 250 está indicado en este caso mediante un patrón incremental en negro-blanco. Se toma en la presente invención por una cámara (no representada), que está unida de forma rígida con el dispositivo de acuerdo con la invención y, en una realización preferente, está dispuesta aproximadamente de forma confocal con respecto al ojo 200.

En una posición de referencia, un dispositivo de acuerdo con la invención puede explorar, por ejemplo, la imagen de reflejo mostrada en la Figura 16A del entorno 250 (imagen de reflejo del entorno, exploración pasiva). Del mismo modo, un dispositivo de acuerdo con la invención puede explorar activamente de forma activa adicionalmente o como alternativa una parte de la retina del ojo 200, la imagen correspondiente la muestra esquemáticamente a la Figura 16B con la mácula 230A y el punto ciego 240A (imagen de reflejo de la retina, exploración activa). Si, a este respecto, la luz irradiada al interior para la exploración activa está modulada adecuadamente, la imagen de reflejo del entorno y la imagen de reflejo de la retina pueden crearse de forma separada una de la otra. Por ejemplo, para la exploración activa durante un determinado periodo de tiempo T1 se irradia adicionalmente luz infrarroja al interior, mientras que durante un periodo de tiempo T2 posterior no se irradia activamente luz al interior. La sustracción de la imagen tomada durante el periodo T2 de la retina de la imagen de la retina tomada durante el periodo T1 suministra aproximadamente la imagen de reflejo de la retina, mientras que la imagen tomada durante el periodo T2 representa la imagen de reflejo del entorno.

Mientras que la imagen de reflejo del entorno muestra estructuras (cantos, etc.) que son fijos con respecto al entorno (imagen del entorno), las estructuras en la imagen de reflejo de la retina son fijas con respecto al ojo (imagen de

ojo).

Mediante un software adecuado de reconocimiento de imagen, las dos imágenes en la Figura 16A y la Figura 16B se pueden comparar entre sí y se puede determinar, por ejemplo, la separación A1 entre un canto significativo en la imagen de reflejo del entorno y el punto central de la mácula. De forma análoga también se pueden comparar entre sí una imagen del entorno tomada por la cámara (imagen de entorno) y la imagen de la retina y se puede determinar también una separación entre un canto significativo y el centro de la mácula.

Orientación del ojo con respecto al entorno

Mediante la ubicación relativa de características significativas en la imagen del entorno 16A y la imagen del ojo 16B, indicada, por ejemplo, mediante la separación A1 entre un canto significativo y el centro de la mácula, puede determinarse una orientación del ojo con respecto al entorno. Por ejemplo, se puede determinar que la dirección de observación del ojo está dirigida hacia el canto derecho de la barra negra más alta en el entorno.

Cambio de orientación del ojo con respecto al entorno

Si la orientación del ojo 200 con respecto al dispositivo cambia de tal manera que el eje visual 210 pasa con el ángulo α al nuevo eje visual 210 y a este respecto permanece constante el dispositivo con respecto al entorno, una exploración de la imagen de reflejo del entorno muestra la imagen representada en la Figura 16C, que en el ejemplo mostrado es idéntica a excepción de la distorsión debido a la reproducción bidimensional de la estructura tridimensional, a la de la Figura 16A. Una exploración de la retina suministra la imagen de reflejo de la retina mostrada en la Figura 16D con la mácula 230A y el punto ciego 240A. Una comparación de esta imagen de la retina con la imagen de reflejo del entorno (Figura 16C) o la imagen del entorno (Figura 16) tomada por la cámara, a su vez, suministra para la separación entre un canto significativo en la imagen del entorno y el punto central de la mácula un valor A2. A partir del cambio de esta separación A1 con respecto a A2 puede determinarse el giro α del ojo con respecto al entorno.

Cambio de la orientación del dispositivo con respecto al entorno

Si la orientación del ojo con respecto al dispositivo no cambia, sin embargo, la orientación del dispositivo con respecto al entorno es de tal manera que, a su vez, el eje visual 210 está girado al ángulo α en los ejes visuales 201', entonces un registro de la imagen del entorno reflejada en la retina y una imagen del entorno tomada por la cámara suministra la imagen de reflejo del entorno mostrada en la Figura 16E. A partir de una comparación de canto significativos, una correlación de imagen o similares entre esta imagen y la imagen de reflejo del entorno tomada en primer lugar de la Figura 16A puede determinarse entonces de forma análoga un giro del dispositivo con respecto al entorno.

A su vez, una exploración de la retina suministra la imagen de reflejo de la retina mostrada en la Figura 16B con la mácula 230A y el punto ciego 240A, a partir de lo cual se puede deducir que la posición del ojo con respecto al dispositivo no ha cambiado.

El cambio de la orientación del ojo con respecto al entorno está compuesto, tal como se ha descrito anteriormente, por el cambio de la orientación del ojo con respecto al dispositivo y el cambio de la orientación del dispositivo con respecto al entorno. Su determinación se ha representado respectivamente de forma individual, con un cambio simultáneo de la orientación del dispositivo y el ojo se superpone en ambos efectos y se pueden establecer mediante una asociación correspondiente de ambos procedimientos.

En total, en el ejemplo que se ha descrito anteriormente existen distintas posibilidades para la determinación de la orientación del ojo, que se enumeran a continuación. A este respecto, en un dispositivo de acuerdo con la invención o un procedimiento de acuerdo con la invención están combinadas varias de estas posibilidades para establecer varias orientaciones relativas simultáneamente o para comprobar y, dado el caso, corregir los resultados. Como se ha mencionado al principio, las variantes están explicadas mediante una representación plana simplificada, en el caso general espacial se han de aplicar de forma análoga los procedimientos correspondientes. Adicionalmente se puede determinar la ubicación tridimensional del ojo, por ejemplo, mediante una medición de separación entre una parte del ojo y el detector.

Imagen de la cámara - imagen de la retina

Si se compara la imagen que se toma por una cámara unida de forma fija con el dispositivo del entorno (Figura 16), con la imagen de la retina que se obtiene, por ejemplo, a partir de una exploración activa (Figura 16B 16D), entonces se pueden asociar entre sí características significativas en la imagen del entorno (cantos, etc.) y en la imagen de la retina (mácula, etc.). Mediante esta ubicación relativa (por ejemplo la separación A1) puede determinarse una orientación del ojo con respecto al entorno. A partir del cambio de la ubicación relativa de estas características entre sí (separación A1, A2, etc.) puede determinarse el cambio de la orientación del ojo con respecto al entorno. Del mismo modo se pueden hacer coincidir también ambas imágenes (por ejemplo, mediante un procedimiento de correlación o mediante giro y desplazamiento). A partir de los valores que aparecen en este caso (por ejemplo, factores de correlación o ángulo de giro y desplazamiento), a su vez, se puede determinar el cambio de la

orientación del ojo con respecto al entorno.

Imagen de la cámara/estructura de imagen de reflejo del entorno

A partir del cambio de la imagen del entorno, que se toma por una cámara unida de forma fija con el dispositivo o que se refleja por la retina y que se registra por un dispositivo de acuerdo con la invención, se puede determinar el cambio de la orientación del dispositivo con respecto al entorno. Para esto se comparan entre sí, por ejemplo, dos imágenes de reflejo del entorno (Figura 16C, 16E), que se toman con una separación en el tiempo una de otra. Si se ha modificado la orientación del dispositivo con respecto al entorno entretanto en el ángulo α , entonces patrones significativos (por ejemplo, la barra vertical continua) presentan una separación A3 entre sí a partir de la cual se obtiene el cambio de la orientación α . Del mismo modo se pueden hacer coincidir también ambas imágenes (por ejemplo, mediante un procedimiento de correlación o mediante giro y desplazamiento). A partir de los valores que aparecen en este caso (por ejemplo, factores de correlación o ángulo de giro y desplazamiento), a su vez, se puede determinar el cambio de la orientación del ojo con respecto al entorno.

Orientación ojo - dispositivo

Puede estar presente una marca en un cristal de gafa delante del ojo o estar dispuesta de otra forma adecuada en una posición fija con respecto al dispositivo delante del ojo.

Para esto, la Figura 17A muestra de forma ilustrativa en una representación plana simplificada esquemáticamente un ojo 200 con el eje visual 210 y la mácula 230. Delante del ojo está dispuesto un cristal de gafa 260, que presenta una marca 261 en el campo visual del ojo. La Figura 17B muestra una imagen del entorno que se refleja por la retina y en la que se puede reconocer la marca 261 (imagen de reflejo del entorno) y superpone una imagen de la imagen de reflejo de la retina con la mácula 230.

Mediante la ubicación relativa de la imagen de reflejo de la retina (imagen del ojo) con respecto a la marca en la imagen de reflejo del entorno (imagen del dispositivo), indicada mediante la separación A4 entre el punto central de la mácula y un canto significativo de la marca se puede determinar una orientación del ojo con respecto al dispositivo. Como imagen de dispositivo se usa una imagen fija con respecto al dispositivo, por ejemplo, la imagen de la marca 261.

Del mismo modo se puede determinar también incluso mediante la ubicación relativa de la imagen del ojo, indicada, por ejemplo, por el centro de la mácula dentro de la imagen de la Figura 17B, una orientación del ojo con respecto a un sistema de coordenadas fijo en el dispositivo, dado por ejemplo por el canto de imagen izquierdo o inferior en la Figura 17B, sin que sea necesaria una marca.

La Figura 17C muestra así mismo el ojo 200, cuya orientación, indicada por el eje visual 210, se ha modificado con respecto al cristal de la gafa 260 en el ángulo α . A su vez, la Figura 17D muestra de forma superpuesta una imagen del entorno reflejada por la retina con la marca 261 y una imagen de la retina con la mácula 230. La imagen de la retina puede estar registrada a este respecto por ejemplo mediante exploración activa.

A partir de la comparación de las dos imágenes 17B y 17C se muestra que la separación A4 de las imágenes de la marca 261 y la mácula 230 cambia de forma correspondiente a un cambio de la orientación α del ojo con respecto al dispositivo. Por tanto, a partir del cambio de esta separación se puede determinar el cambio de la orientación. Como se ha mencionado anteriormente, en lugar de la marca 261 se puede haber elegido, por ejemplo, también la forma geométrica del propio borde de la gafa como referencia.

Del mismo modo se puede determinar incluso sin marca ya a partir del cambio de la ubicación relativa de la mácula (imagen del ojo) dentro del sistema de coordenadas fijo en el dispositivo (a su vez dado por el canto izquierdo o inferior en la Figura 17D) el cambio de orientación del ojo con respecto al dispositivo.

Anteriormente se han explicado distintas posibilidades de cómo se pueden determinar mediante rayos de luz, que se irradian por una parte de un ojo, rasgos característicos del ojo y cómo estos se pueden usar para determinar la orientación del ojo con respecto al entorno y/o con respecto al dispositivo.

Después de que previamente se han descrito con detalle algunas realizaciones de las distintas características de un dispositivo de acuerdo con la invención o de un procedimiento de acuerdo con la invención, a continuación se describen con más detalle de forma ilustrativa algunos ejemplos de aplicación de la presente invención.

Como se ha representado al principio, el conocimiento de la orientación momentánea de un ojo ofrece múltiples posibilidades:

50 5.1 Medicina

En medicina, un dispositivo para el tratamiento del ojo puede compensar mediante un dispositivo que recibe de un dispositivo de acuerdo con la invención la orientación momentánea o el cambio de orientación del ojo y que procesa posteriormente estas señales de forma adecuada (por ejemplo dentro de una regulación de la posición, en la que se

usan como desviación cambios de la orientación), movimientos oculares voluntarios y, sobre todo, involuntarios (por ejemplo, los denominados movimientos de sacudidas oculares o microtemblores), de tal manera que, por ejemplo, un rayo láser para el tratamiento del ojo o una señal luminosa para examinar el ojo se conducen descansando con respecto al ojo o en una trayectoria fijada con respecto al ojo.

5 *5.2 Psicología, neurología*

En neurología o psicología se pueden usar determinados movimientos oculares, es decir, cambios de la orientación como un medio auxiliar para el diagnóstico, por ejemplo, para la predicción de un ataque epiléptico, un desmayo, para el diagnóstico de esquizofrenia o similares.

10 Se obtienen aplicaciones considerablemente más extensas en caso de que se determine, particularmente, la dirección de observación del ojo: en psicología se pueden registrar y analizar, por ejemplo, patrones de reconocimiento al observar determinadas imágenes.

5.3 Dirección de observación

15 El conocimiento de la dirección de observación posibilita determinar hacia dónde está mirando en ese momento el usuario. Esto se puede usar para identificar un objeto fijado (posiblemente solo virtual) por el usuario. Para esto se puede explorar, por ejemplo, una imagen de reflejo del entorno de la retina. Si se determina, por ejemplo, mediante exploración activa la ubicación del punto central de la pupila o de la mácula dentro de esta imagen de reflejo del entorno, entonces este punto se puede determinar como el punto hacia el que está mirando en ese momento el usuario. Un reconocimiento de imagen puede identificar a partir de esto, por ejemplo, el objeto que está mirando el usuario en ese momento.

20 A este respecto, el usuario puede señalar por ejemplo mediante un parpadeo, presión de tecla o similares que está fijando en ese momento el objeto seleccionado.

Del mismo modo también se puede determinar después de un cierto intervalo de tiempo en el que no aparecen movimientos oculares o solo pequeños, que el usuario fija un objeto y se determina este objeto a partir de la dirección de observación establecida.

25 Del mismo modo, al usuario también se le puede indicar que fije un punto u objeto determinado (en circunstancias también movido con respecto al usuario). Mientras que el usuario fija, al mismo tiempo se puede llevar a cabo una orientación de su ojo. Por ejemplo se puede determinar, respectivamente, la ubicación del punto central de la pupila. A partir de la correlación del objeto fijado y la orientación respectivamente establecida puede determinarse entonces, por ejemplo, una correlación entre la orientación del ojo y un eje visual que puede estar determinado, por ejemplo, mediante la recta de unión del punto fijado con respecto al punto central de la pupila o de la mácula. Mediante esta correlación puede establecerse, entonces, a partir de una orientación establecida del ojo (por ejemplo, la ubicación del punto central de la pupila) la orientación del eje visual con respecto al dispositivo.

30

5.4 Foco del observador

35 Un dispositivo adecuado, que recibe la señal, cuya señal de imagen está fijando el usuario en ese momento y que identifica este recorte de imagen dado el caso mediante reconocimiento de imagen, puede continuar procesando esta información y desencadenar una acción deseada:

un tirador puede elegir de este modo una diana deseada, cuyas coordenadas sirven, por ejemplo, como datos de diana de un arma misil;

40 un usuario (por ejemplo en el hogar o en una empresa de producción) puede seleccionar un aparato (por ejemplo, un interruptor de luz, un aparato doméstico o una máquina de herramienta), que se ha de activar, desactivar o controlar de otro modo. Un dispositivo de control recibe la señal hacia donde mira el observador, identifica el aparato o el interruptor que está mirando en ese momento y controla el aparato seleccionado de forma correspondiente a un programa de control predeterminado. Por ejemplo, el usuario mira el interruptor del sistema del televisor, parpadea varias veces (para excluir parpadeos involuntarios) y el dispositivo enciende el televisor. Entonces, el observador mira a un campo de programa determinado y el dispositivo conmuta el televisor al programa asociado que se ha señalado a su vez mediante parpadeo múltiple, etc.

45

Los patrones a fijar por el usuario, a este respecto, no tienen que existir necesariamente en realidad, pueden estar presentes también del todo virtualmente. Por ejemplo, una pantalla de ordenador indica distintos campos que se corresponden respectivamente con un punto de menú a elegir. O tales campos se proyectan mediante el dispositivo directamente sobre la retina del usuario.

50

5.5 Proyección

Durante la proyección de informaciones sobre la retina del ojo, tal como se ha desvelado, por ejemplo, en las solicitudes PCT PCT/EP00/09843, PCT/EO00/09840, PCT/EP00/09841, PCT/EP00/09842 o PCT/EP01/05886 del solicitante, es necesario o ventajoso correlacionar las informaciones (de imagen) reflejadas en el ojo con la dirección

de observación del ojo:

5 si se proyecta al interior la información adicionalmente a la imagen del entorno que el usuario percibe, por ejemplo, mediante una gafa azogada de forma semitranslúcida (véase la sección “dispositivo óptico”) puede ser ventajoso correlacionar la información con la imagen del entorno percibida por la retina de tal manera que la información reflejada al interior parezca en reposo con respecto al entorno. Para esto, por ejemplo, la imagen del entorno reflejada por la retina se puede registrar en el detector, tratar adecuadamente y, aprovechando la orientación establecida del ojo, proyectarse de nuevo al ojo coincidiendo con la imagen del entorno percibida realmente.

10 Del mismo modo se puede tomar, por ejemplo, también adicionalmente por una cámara, una imagen del entorno, tratarse adecuadamente y, aprovechando la orientación establecida del ojo, proyectarse de tal manera en el ojo que parezca coincidente con la imagen realmente percibida. Con ello es posible tomar, por ejemplo, con una cámara una imagen de infrarrojos del entorno y reflejar la imagen del entorno obtenida a partir de esto como información adicional en el ojo para mejorar la visión en el caso de niebla, noche u otras condiciones de visión dificultada.

15 Del mismo modo, la cámara puede presentar una óptica de prismáticos para la ampliación de imágenes alejadas. Entonces, por ejemplo, se puede proyectar en el centro de la imagen del entorno percibida por el ojo un recorte ampliado de la imagen en el ojo, lo que puede presentar, con respecto a un prisma convencional, la ventaja de que no se amplían zonas marginales de la imagen del entorno y, con ello, la orientación del usuario con respecto al entorno no se ve alterada o no tan intensamente. Como alternativa, también se puede proyectar una imagen del entorno completa ampliada en el ojo, que cubre la imagen del entorno percibida de forma natural, compensándose los pequeños movimientos relativos del dispositivo, que se producen, por ejemplo, a partir del temblor natural de los músculos o las sacudidas durante un trayecto en automóvil, de tal manera que la imagen de “prismáticos” aparece en reposo para el usuario. Un dispositivo de prismáticos de este tipo evita los micromovimientos percibidos como molestos en un prisma convencional.

25 Del mismo modo, mediante un establecimiento de la orientación del ojo es posible proyectar una información de tal manera en el ojo que se mueve con respecto al entorno o aparece en reposo con respecto a un objeto en movimiento: por ejemplo, se podría medir la separación con respecto a un vehículo que va por delante y proyectarse de tal manera en el ojo del conductor, que la información aparezca fija con respecto al vehículo que va por delante. El conductor de este modo obtiene informaciones necesarias sin tener que apartar la mirada del vehículo que va por delante. A la inversa, se puede proyectar, por ejemplo, un texto a leer de tal manera en el ojo que aparentemente se mueve delante del foco del observador (es decir, la zona de la imagen percibida sobre la que está dirigido el interés) correspondientemente a un patrón de movimiento predeterminado (por ejemplo, con la misma forma de derecha a izquierda, de forma discreta por grupos de palabras o letras). Del mismo modo, un texto a leer se puede proyectar también en el ojo de tal manera que aparece en reposo con respecto al entorno, teniendo en cuenta, por ejemplo, los cambios de la orientación establecidos durante la proyección del texto.

35 Sin embargo, si se proyecta la información al interior del ojo sin que al mismo tiempo se perciba el entorno de forma natural, tal como es el caso, por ejemplo, en las gafas de realidad virtual en las que el usuario percibe solo las imágenes proyectadas al interior del ojo, entonces la determinación de la dirección de observación del ojo posibilita adaptar las informaciones proyectadas al interior, por ejemplo, la visión de un paisaje virtual a la dirección de observación del observador. Por tanto, si el observador mira hacia la izquierda girando su ojo con respecto a la gafa, un dispositivo de acuerdo con la invención reconoce este cambio de la orientación y modifica correspondientemente el ángulo de observación aparente hacia el paisaje virtual.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la determinación de la ubicación y/o de la orientación de un ojo (680) con:
 - un sistema de detector (651) para el registro de un rayo de luz irradiado por una parte del ojo,
 - un sistema de proyección, que proyecta informaciones de imagen perceptibles sobre un ojo de un usuario,
 - 5 con un irradiador (653) para la emisión de luz y
 - una disposición conductora de luz de proyección para la desviación y/o el enfoque de los rayos de luz emitidos, que comprende uno o varios elementos (623) holográficos; y
 - una cámara que está configurada para la toma de una imagen del entorno, estando configurado el dispositivo de forma portátil,
 - 10 la imagen tomada por la cámara se procesa de tal manera que se identifican patrones significativos del entorno,
 - se establecen cambios de orientación del dispositivo con respecto al entorno mediante la imagen tomada por la cámara,
 - 15 y se establece la orientación del ojo con respecto al entorno mediante el rayo de luz registrado y la imagen tomada por la cámara, comparándose la imagen tomada por la cámara con una imagen del entorno reflejada en la retina o la córnea del ojo.
2. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, proyectándose las informaciones de imagen perceptibles teniendo en cuenta los cambios de la orientación establecidos de tal manera que las informaciones de imagen para el usuario parecen en reposo con respecto al entorno.
- 20 3. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, con un dispositivo de determinación de la orientación para la determinación de la ubicación y/o la orientación del dispositivo con respecto al entorno.
4. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, usándose para la proyección y registro al menos parcialmente el mismo haz luminoso.
- 25 5. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 4, comprendiendo el sistema de detector adicionalmente un dispositivo conductor de luz de detector y formando el dispositivo conductor de luz de detector una parte de la disposición conductora de luz de proyección, al entrar la luz emitida por el irradiador en sentido opuesto en paralelo en el haz luminoso de la luz registrada por el sistema de detector delante, en o detrás del dispositivo conductor de luz de detector.
- 30 6. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, siendo el elemento holográfico un revestimiento holográfico sobre un soporte.
7. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, pudiéndose modificar electrónicamente el comportamiento de reflexión del elemento holográfico.
8. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, siendo el dispositivo parte de una agenda electrónica portátil o un ordenador portátil.
- 35 9. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, estando configurado el dispositivo en forma de una gafa o estando dispuesto o integrado en un casco.
10. Procedimiento para la determinación de la ubicación y/o la orientación de un ojo (680) mediante un dispositivo configurado de forma portátil, con las etapas:
 - registro de un rayo de luz irradiado por una parte del ojo mediante un sistema de detector (651),
 - 40 toma de una imagen del entorno mediante una cámara,
 - proyección de informaciones de imagen perceptibles sobre un ojo de un usuario mediante un sistema de proyección con un irradiador (653) para la emisión de luz y una disposición conductora de luz de proyección para la desviación y/o enfoque de los rayos de luz emitidos, que comprende uno o varios elementos holográficos (623),
 - 45 procesamiento de la imagen tomada por la cámara de tal manera que se identifican patrones significativos del entorno y
 - establecimiento de cambios de la orientación del dispositivo con respecto al entorno mediante la imagen

tomada por la cámara,

establecimiento de la orientación del ojo con respecto al entorno mediante el rayo de luz registrado y la imagen tomada por la cámara, comparándose la imagen tomada por la cámara con una imagen del entorno reflejada en la retina o en la córnea del ojo.

5 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, con la etapa:

proyección de las informaciones de imagen perceptibles mediante los cambios de orientación establecidos de tal manera que las informaciones de imagen para el usuario parecen en reposo con respecto al entorno.

12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 u 11, con la etapa:

10 determinación de la ubicación y/u orientación del dispositivo con respecto al entorno mediante el uso de un dispositivo de determinación de la orientación correspondiente al dispositivo.

Fig. 1

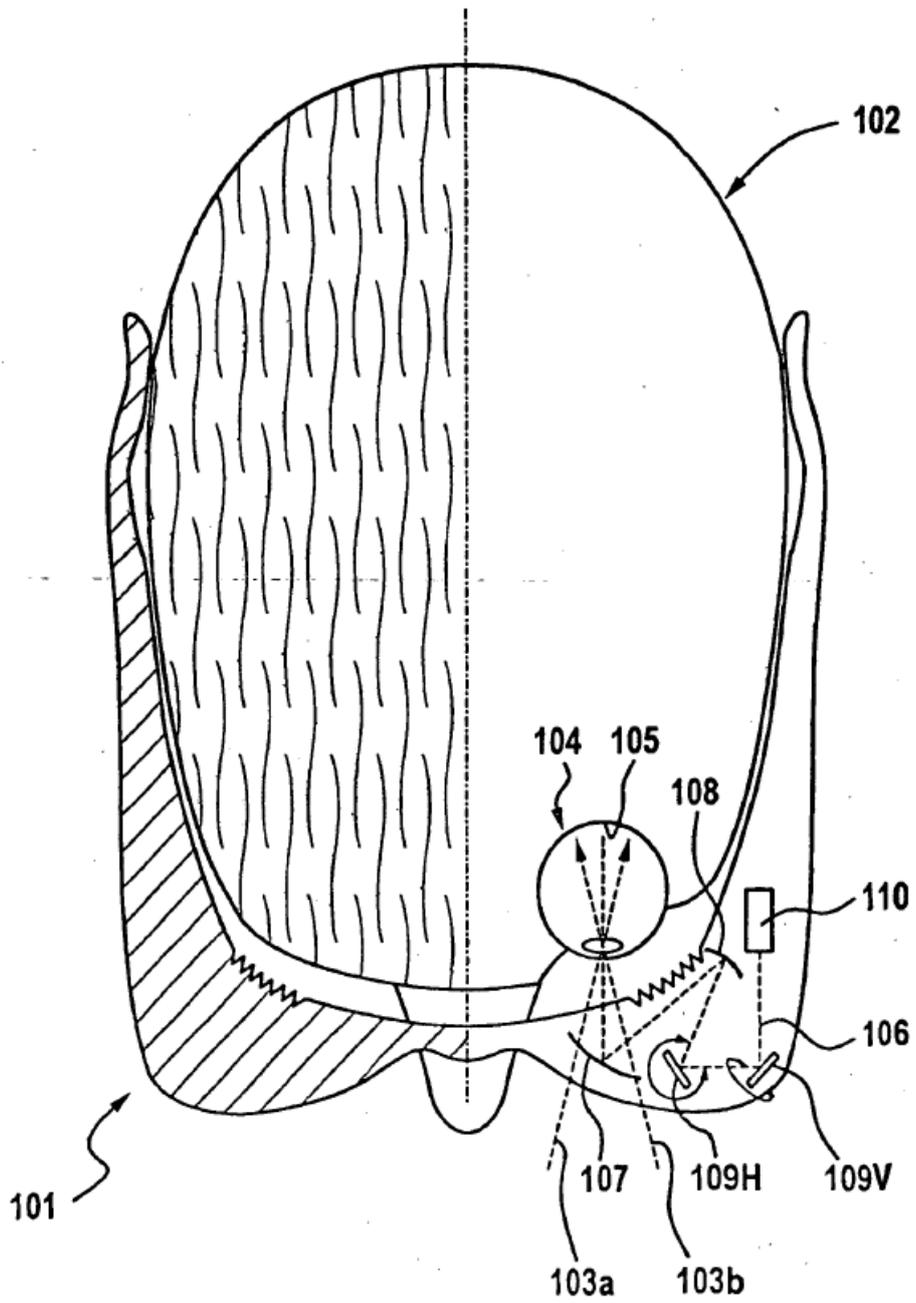


Fig. 2

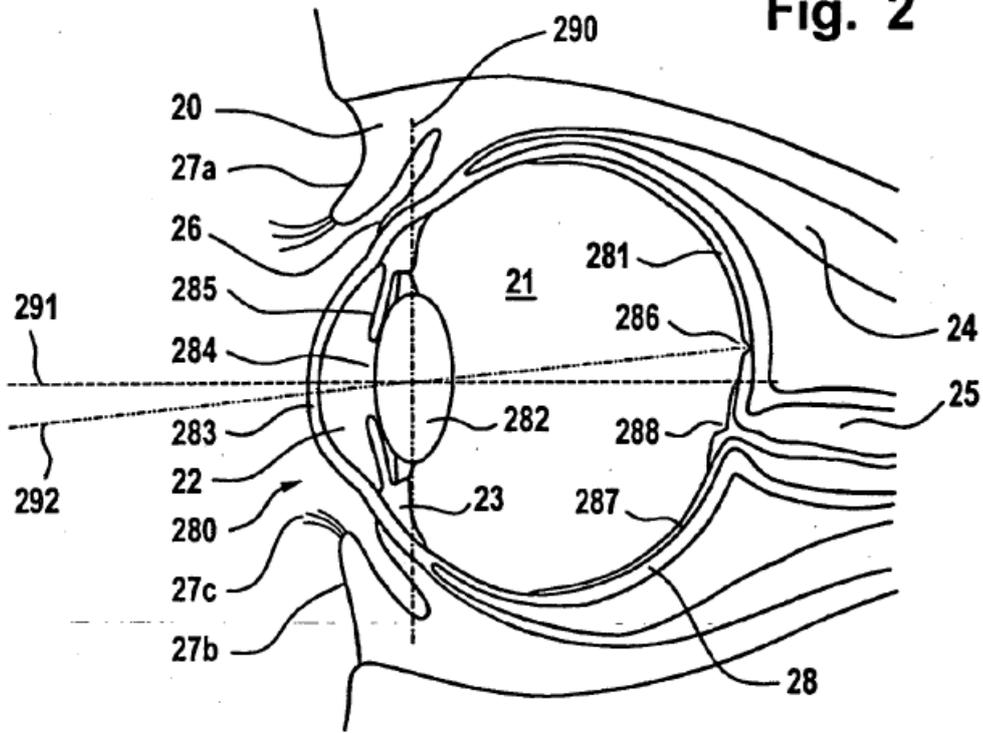


Fig. 3a

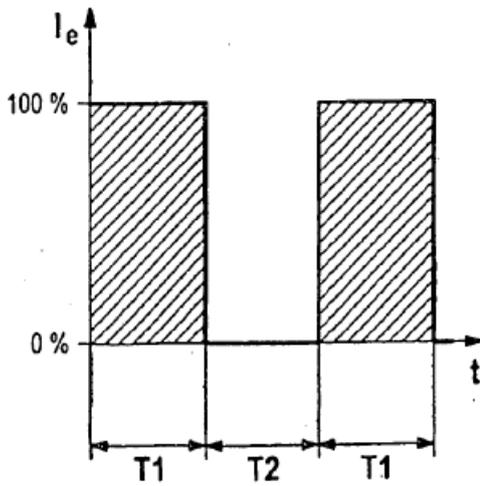
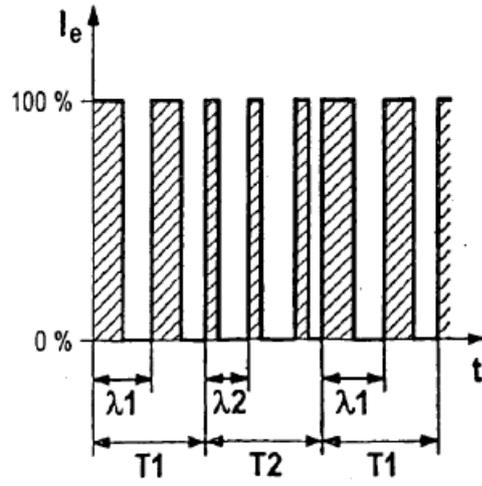


Fig. 3b



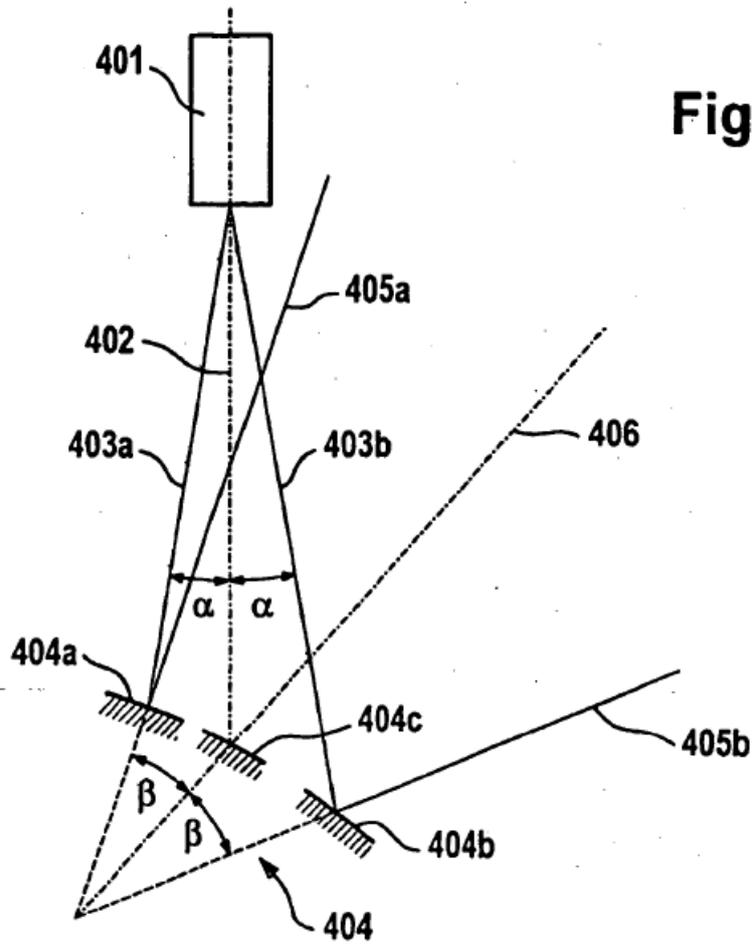


Fig. 4

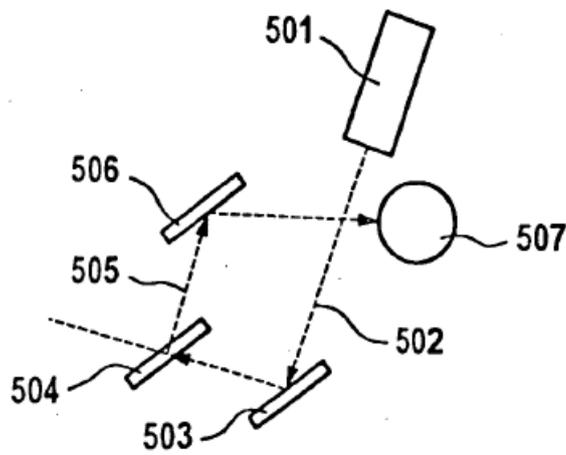
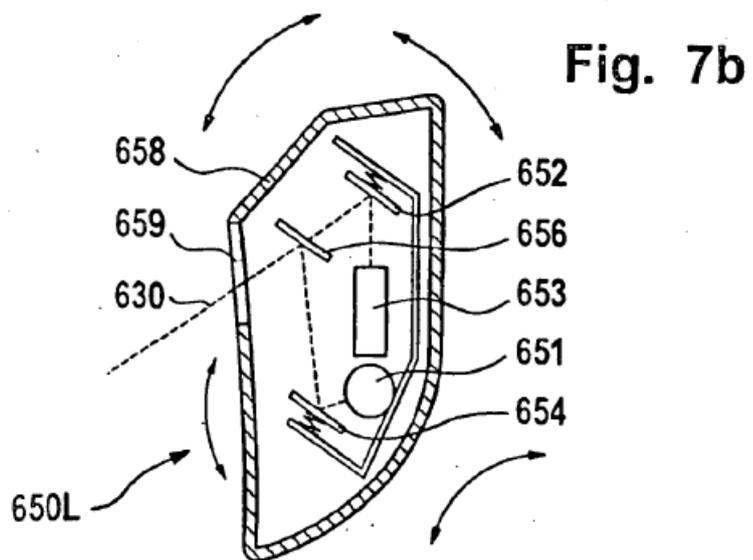
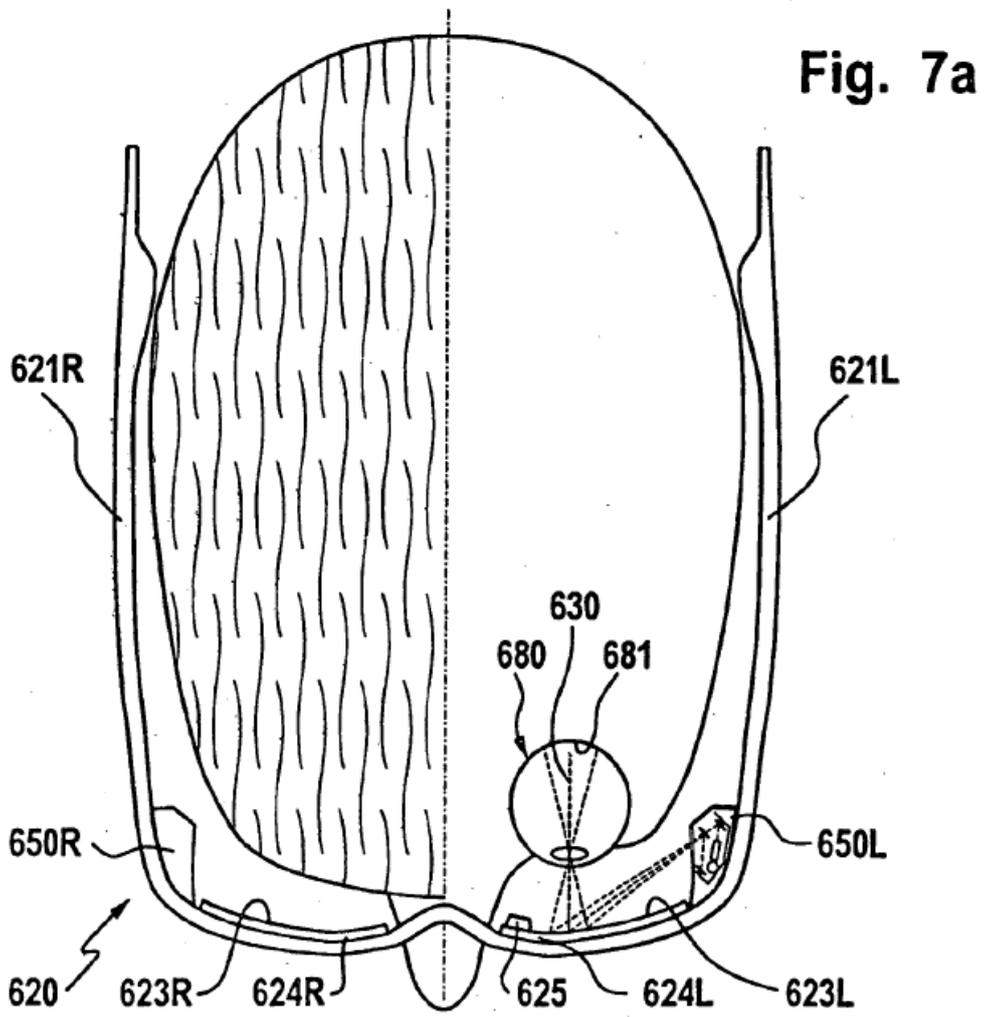


Fig. 5



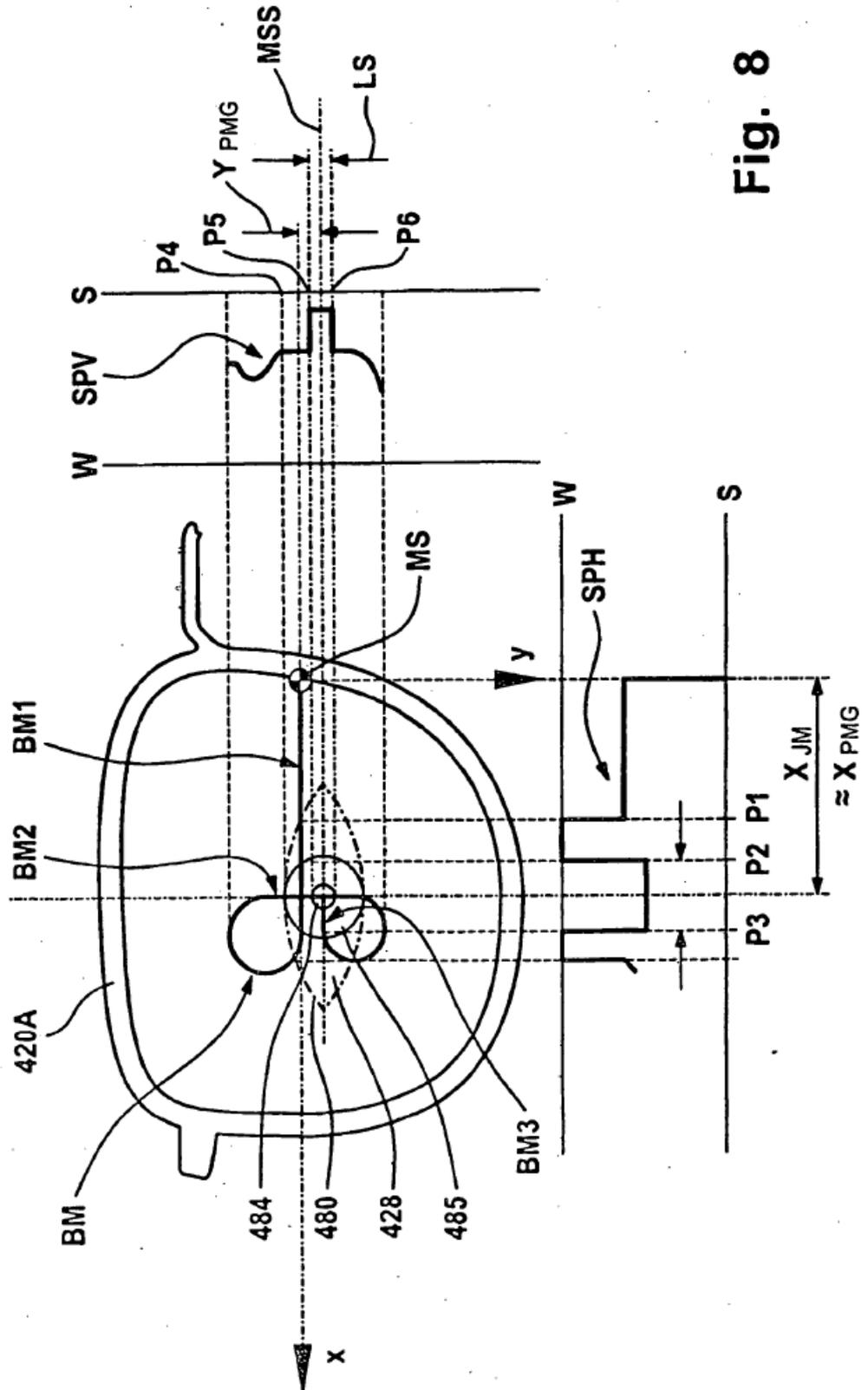
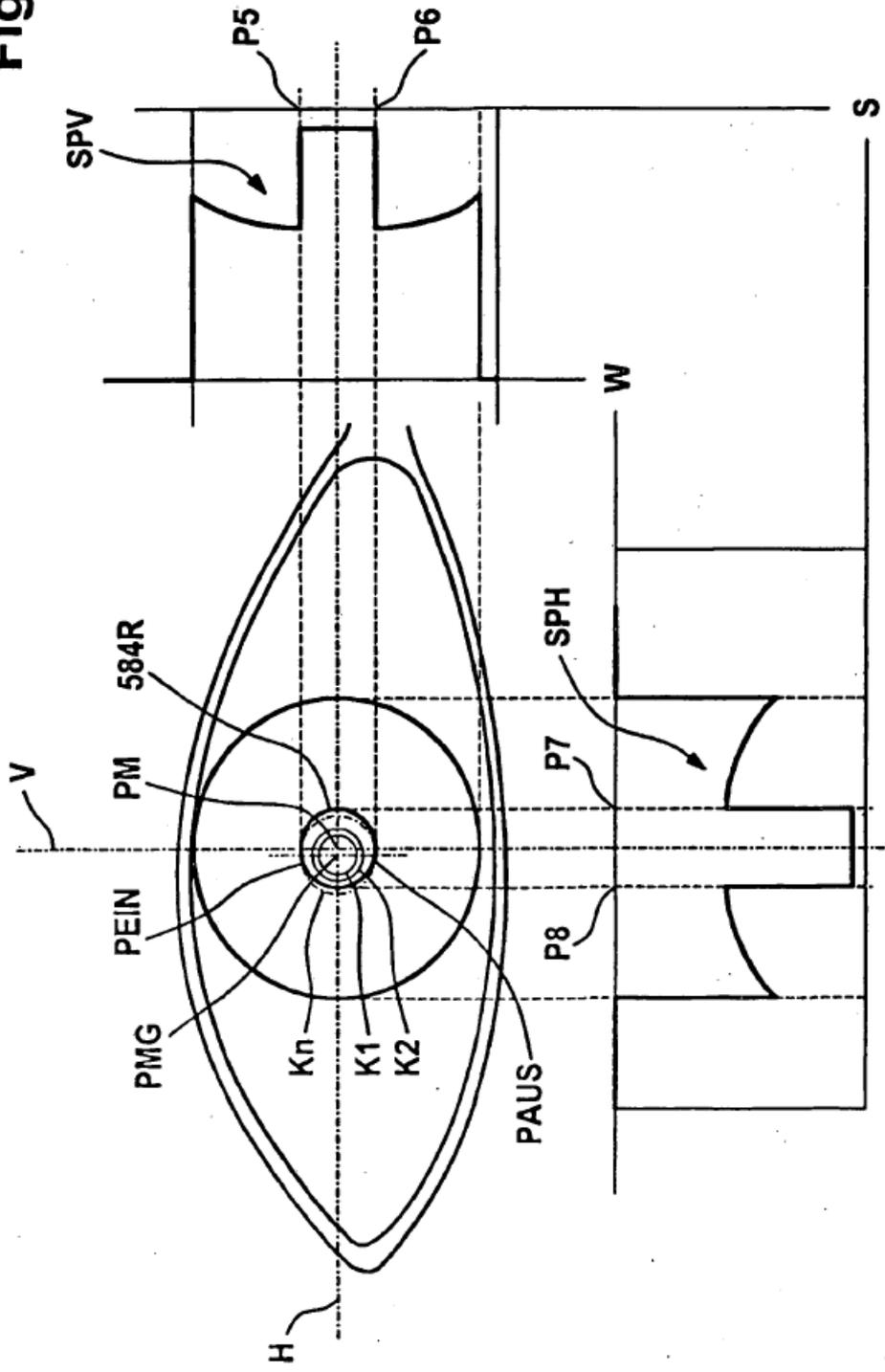


Fig. 8

Fig. 9



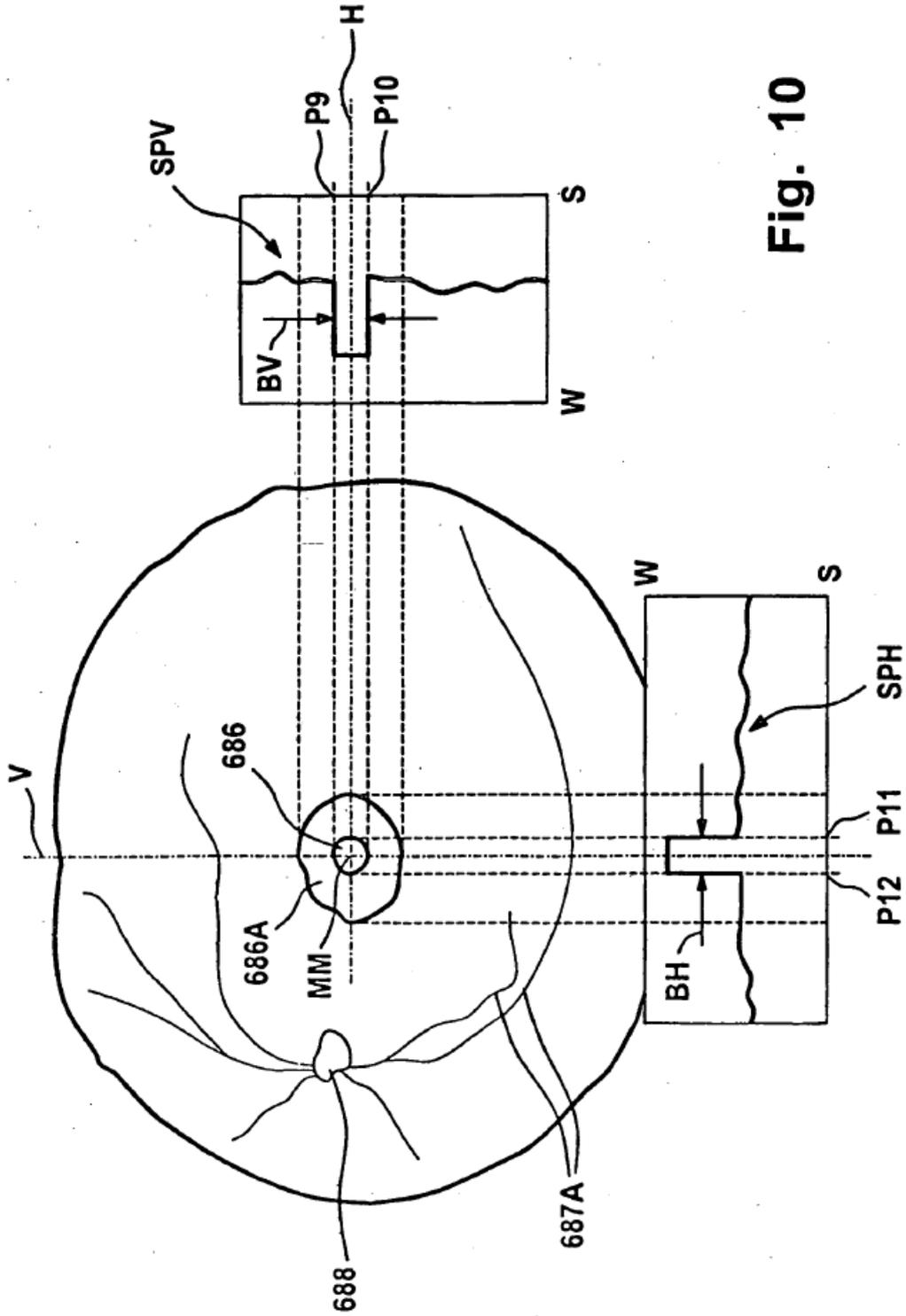


Fig. 10

Fig. 11

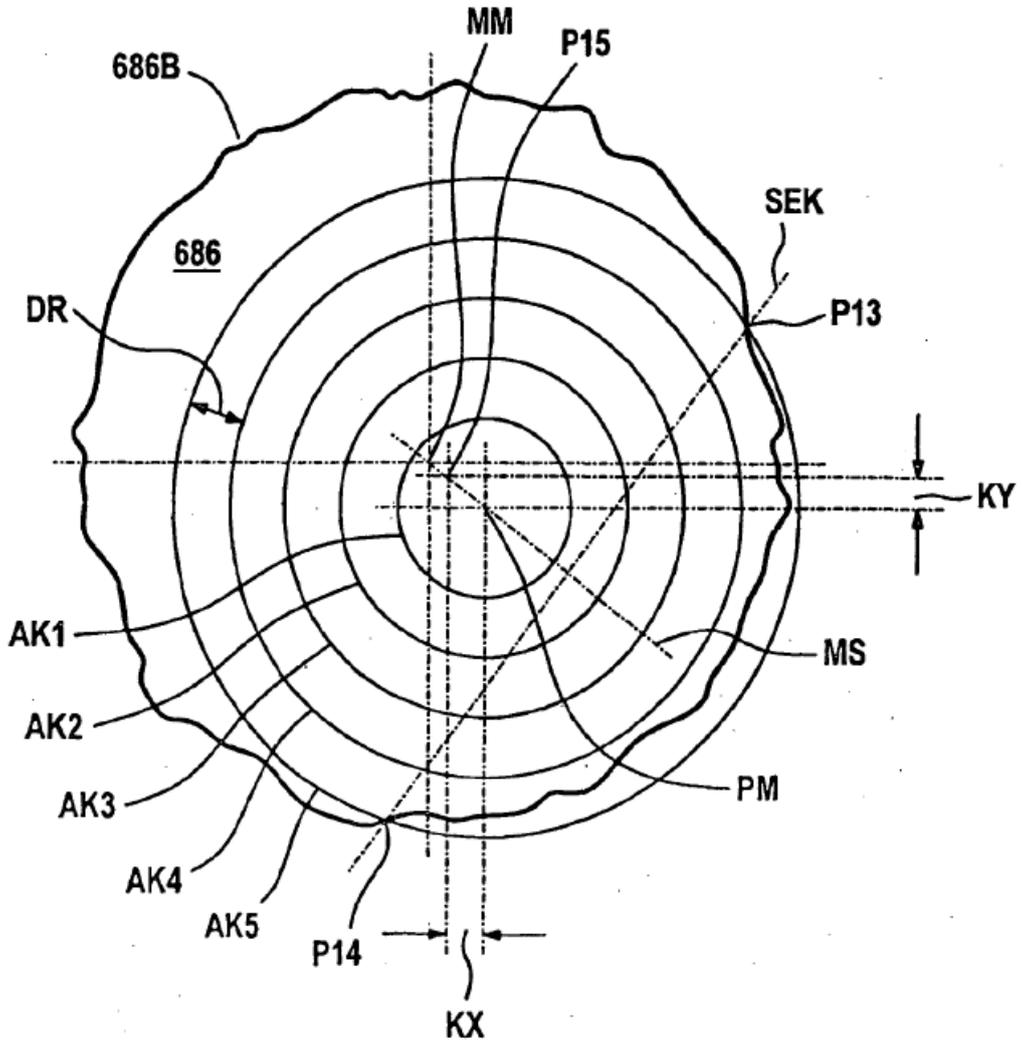


Fig. 12

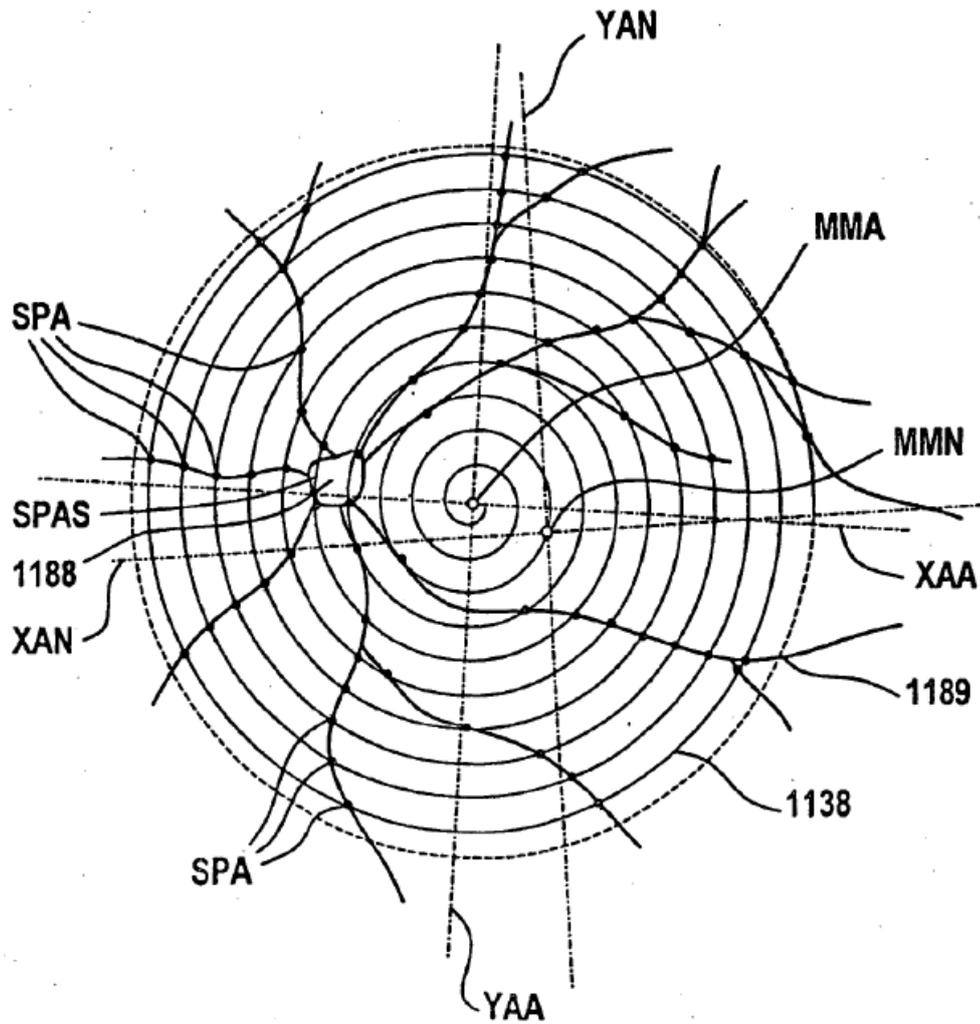


Fig. 13

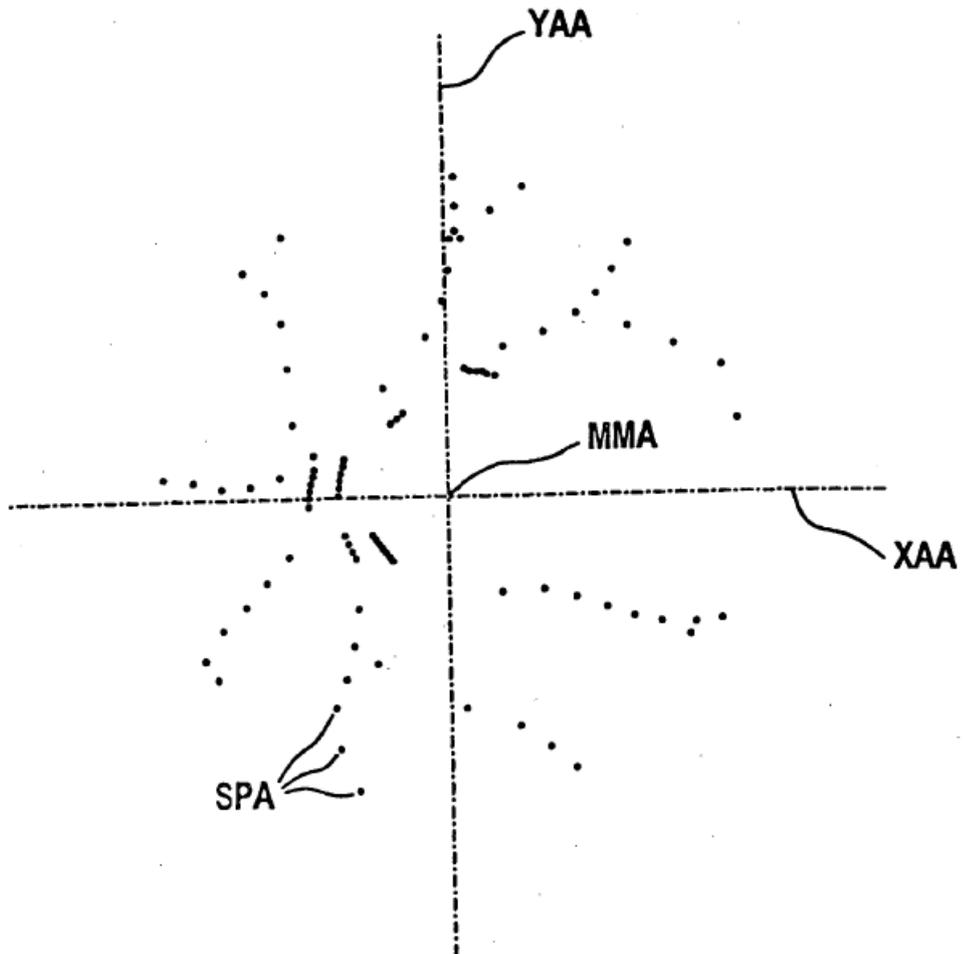


Fig. 14

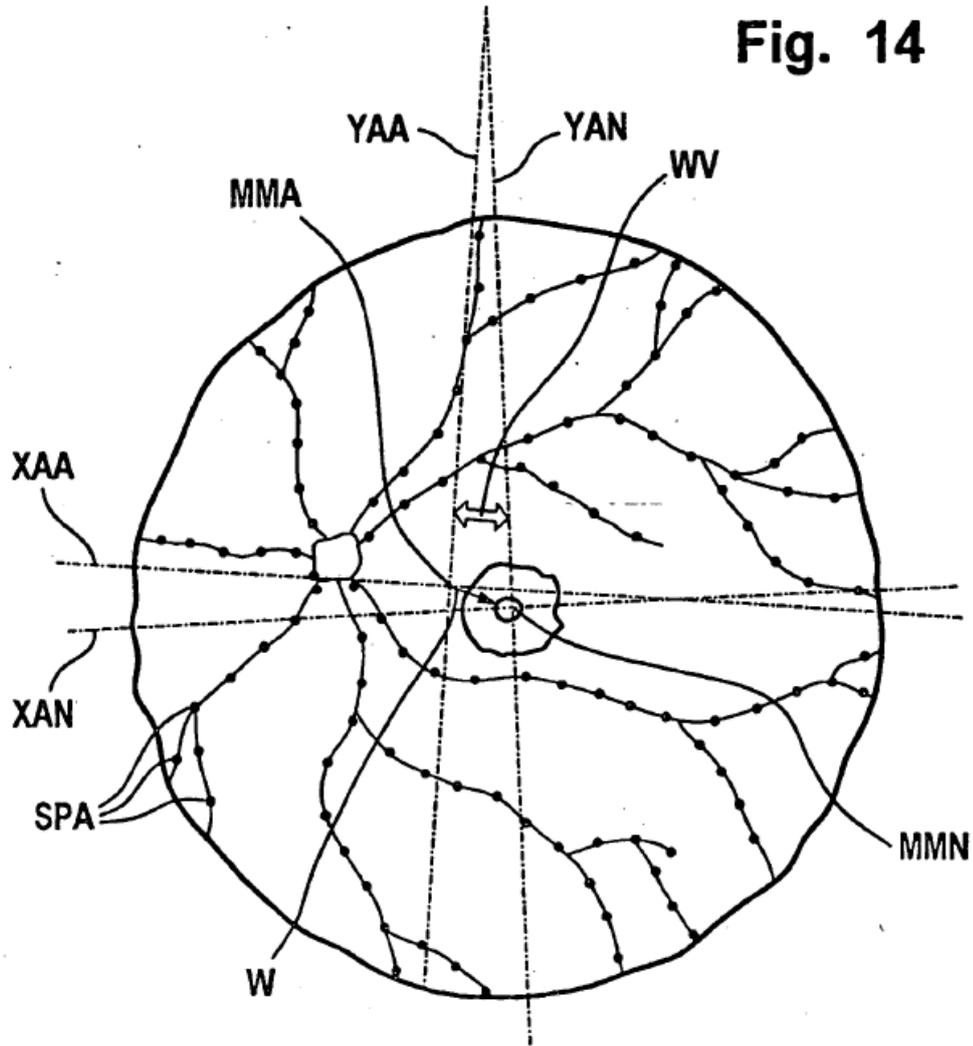
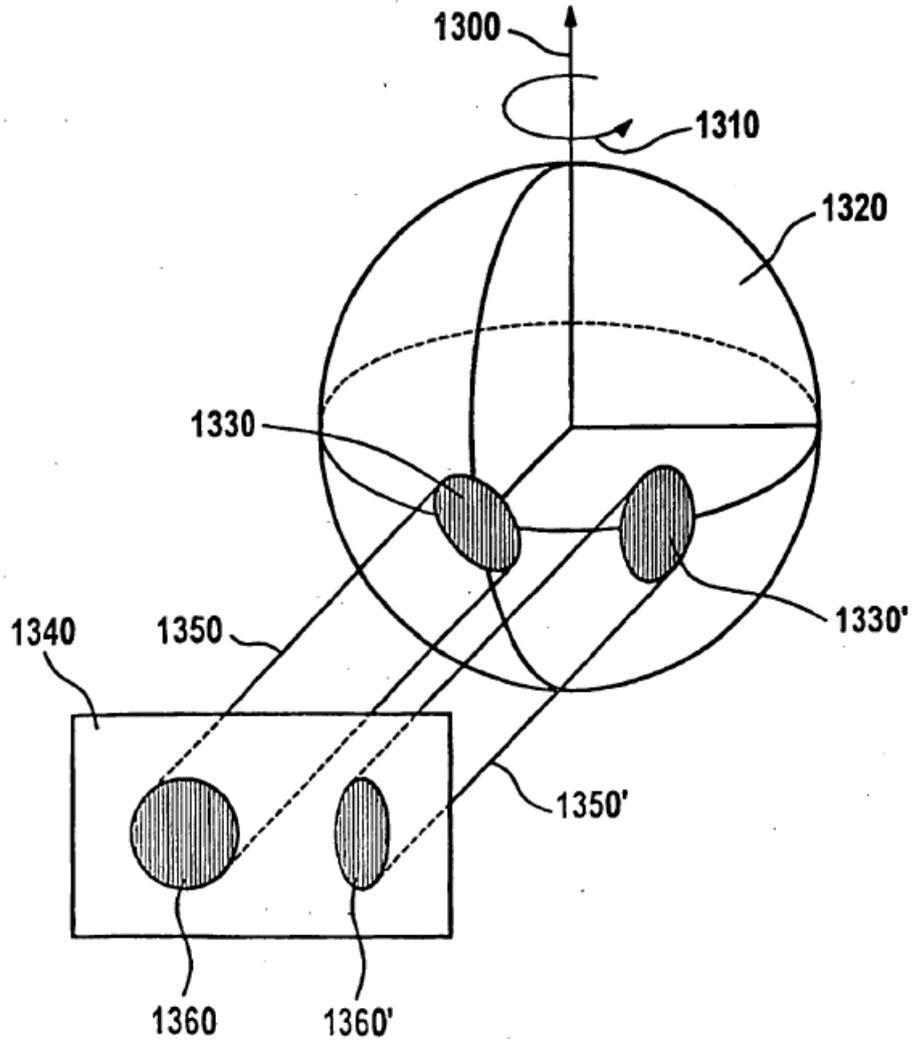


Fig. 15



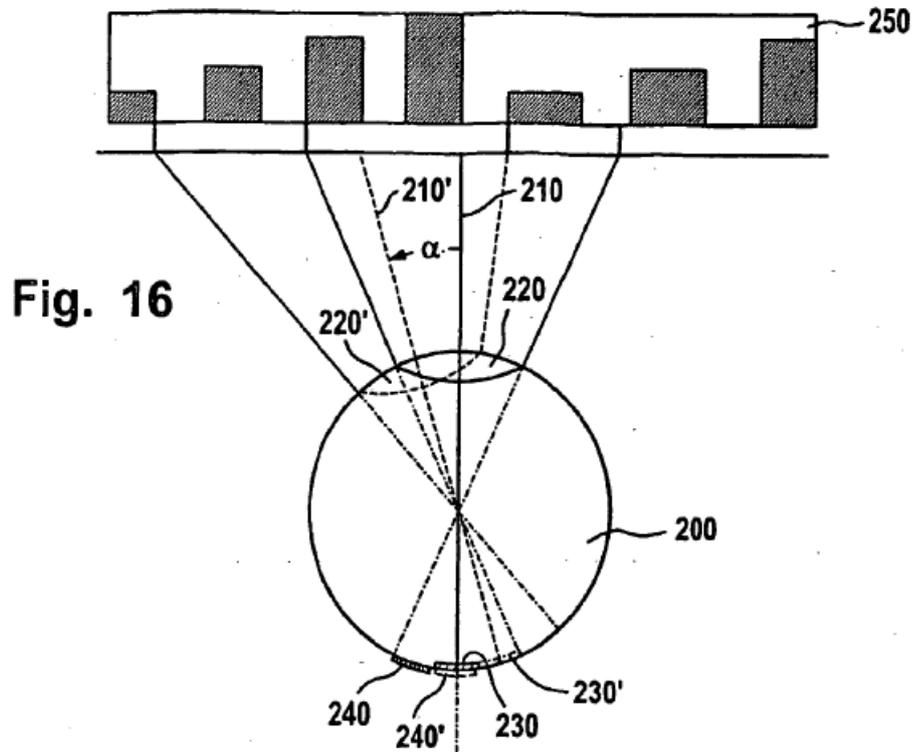


Fig. 16A

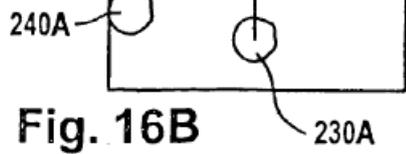
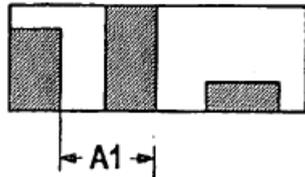


Fig. 16B

Fig. 16C

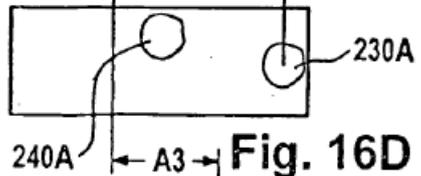
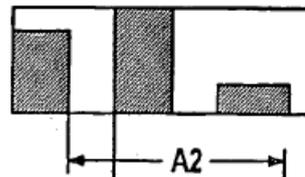


Fig. 16D

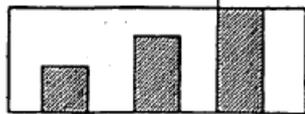


Fig. 16E

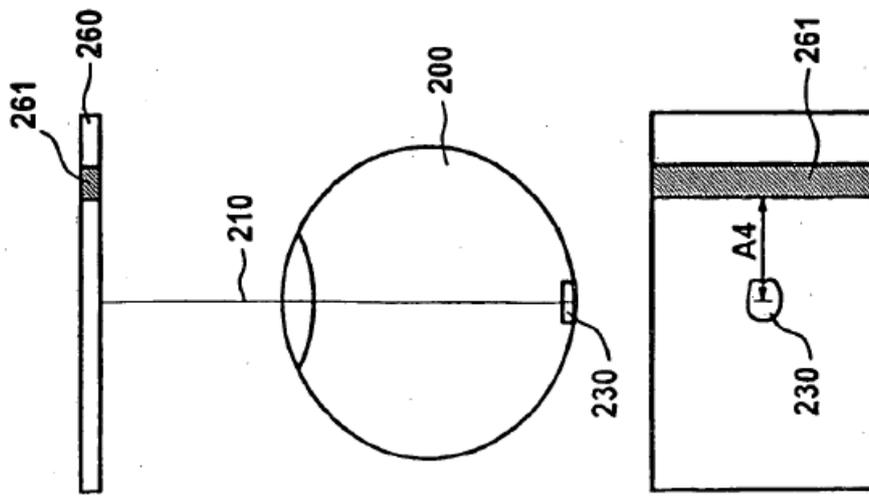
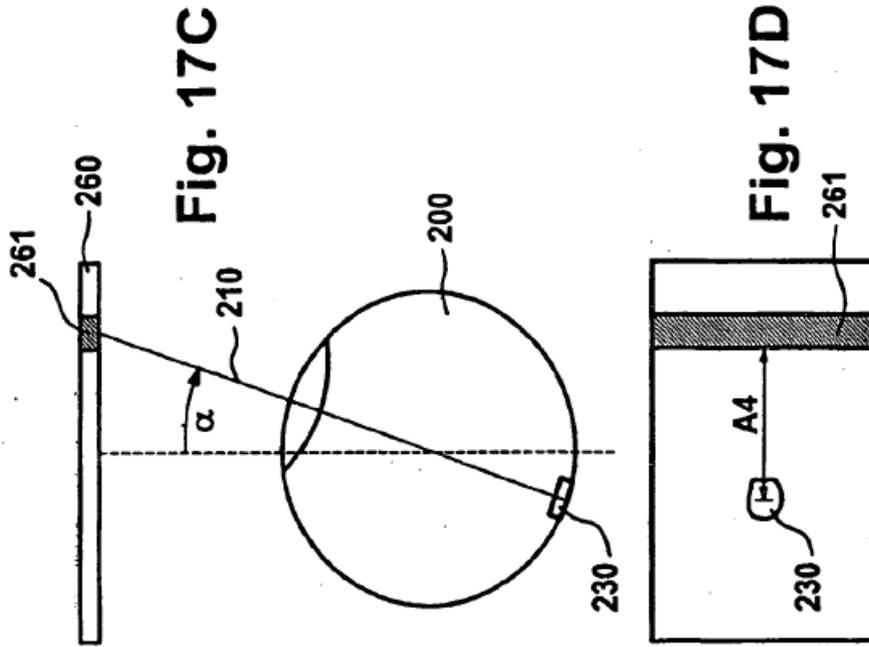


Fig. 18

