

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 367**

51 Int. Cl.:

A61B 3/113 (2006.01)

G06F 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.01.2006 PCT/FI2006/050043**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **02.08.2007 WO07085682**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.01.2006 E 06701396 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2016 EP 1983884**

54 Título: **Dispositivo de seguimiento ocular**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.03.2017

73 Titular/es:
NOKIA TECHNOLOGIES OY (100.0%)
Karaportti 3
02610 Espoo, FI

72 Inventor/es:
NUMMELA, VILLE

74 Agente/Representante:
VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 605 367 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 de seguimiento ocular

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a la determinación de la dirección de la mirada de un ojo.

Antecedentes de la invención

10 La dirección de la mirada de una persona se puede utilizar para seleccionar opciones mostradas en una pantalla de ordenador. Por lo tanto, un dispositivo de seguimiento ocular que proporcione información sobre la dirección de la mirada puede utilizarse, por ejemplo, a modo de dispositivo de puntero y de selección en lugar de un ratón de ordenador.

15 Cuando la luz incide en el ojo, se producen varias reflexiones en los límites del cristalino, la córnea y la retina. Estas reflexiones proporcionan puntos de reflexión conocidos como imágenes de Purkinje. La reflexión en la superficie corneal exterior proporciona la primera imagen de Purkinje, también denominada brillo. La orientación del ojo puede determinarse en función de la posición de la pupila, con respecto a la posición de las primeras imágenes de Purkinje.

20 La Patente de Estados Unidos 4.836.670, que se considera representativa de la técnica anterior más relevante, da a conocer un detector del movimiento ocular, que utiliza un diodo emisor de infrarrojos que condensa su iluminación en un haz paralelo, montado coaxialmente en frente de la lente de una cámara sensible a los infrarrojos, para adquirir una imagen del ojo. La luz reflejada causa un destello desde la superficie de la córnea. Se analiza la imagen del ojo para determinar la ubicación del centro de la pupila y la ubicación del brillo, la una con respecto a la otra, y esta información se utiliza para determinar la dirección de la mirada.

25 El documento EP 942350 da a conocer, de acuerdo con su resumen, un dispositivo de introducción de eje visual y de transferencia de decisiones. Cuando en función de los datos de posición visual se juzga un estado del resultado de detección, tal como el éxito o el fracaso de la detección visual del eje, el parpadeo, la selección de la misma elección, o similares, y un usuario recibe una notificación con información del resultado de detección, indicativa del estado del resultado de detección en respuesta a un resultado de evaluación, mediante el cambio del color de un marco de selección de caracteres, el usuario puede confirmar el resultado de la detección del eje visual y se evita tener que repetir muchas veces operaciones inútiles.

Sumario de la invención

30 El objetivo de la presente invención es proporcionar un método para determinar la dirección de la mirada. El objeto de la presente invención también es proporcionar un dispositivo de seguimiento ocular, para determinar la dirección de la mirada. Un objetivo adicional de la presente invención es proporcionar un dispositivo portátil que comprenda un dispositivo de seguimiento ocular. El objetivo de la presente invención también es proporcionar un producto de programa informático que implemente dicho método.

35 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo de detección de la dirección de la mirada de un ojo, comprendiendo dicho dispositivo al menos:

- una unidad de formación de imágenes para adquirir una imagen de dicho ojo,
- al menos una unidad de iluminación que comprende una óptica de colimación, configurada para proporcionar un primer haz de luz sustancialmente colimado y un segundo haz de luz sustancialmente colimado, teniendo dichos haces de luz colimados diferentes direcciones con respecto a dicho dispositivo, de tal modo que dicho primer haz de luz colimado proporcione un primer punto de reflexión cuando la luz se refleje desde la superficie del ojo, y que dicho segundo haz de luz colimado proporcione un segundo punto de reflexión cuando la luz se refleje desde la superficie del ojo, apareciendo en dicha imagen dichos puntos de reflexión,
- al menos un expansor de haz, para expandir la anchura (W_{OUT}) de los haces de luz colimados (LB1, LB2), y
- 50 - una unidad de procesamiento de datos para determinar la dirección de la mirada del ojo con respecto a dicho dispositivo, en función de la posición de dicho primer punto de reflexión en dicha imagen, en función de la posición de dicho segundo punto de reflexión en dicha imagen, en función de la posición de la pupila y/o del iris del ojo en dicha imagen, y en las direcciones de los haces de luz colimados.

60 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para detectar la dirección de la mirada de un ojo, comprendiendo dicho método al menos:

- ampliar un primer haz de luz sustancialmente colimado, proporcionado la óptica de colimación, y un segundo haz de luz sustancialmente colimado, proporcionado por la óptica de colimación,
- 65 - dirigir el primer haz de luz sustancialmente colimado hacia el ojo, con el fin de proporcionar un primer punto de reflexión cuando la luz se refleje desde la superficie del ojo,

- dirigir el segundo haz de luz sustancialmente colimado hacia el ojo, con el fin de proporcionar un segundo punto de reflexión cuando la luz se refleje desde la superficie del ojo, teniendo dicho segundo haz de luz colimado una dirección diferente a la dirección de dicho primer haz de luz colimado,
 - adquirir una imagen del ojo mediante una unidad de formación de imágenes,
- 5 - determinar la dirección de la mirada de dicho ojo con respecto a dicha unidad de formación de imágenes, en función de la posición de dicho primer punto de reflexión en dicha imagen, en función de la posición de dicho segundo punto reflexión en dicha imagen, en función de la posición de la pupila y/o del iris del ojo en dicha imagen, y en función de las direcciones de los haces de luz colimados.
- 10 De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo portátil que comprende el dispositivo del primer aspecto.

La determinación de la dirección de la mirada es sustancialmente independiente de la distancia entre el ojo y el dispositivo de seguimiento. La determinación también es sustancialmente independiente del movimiento lateral del ojo, y del tamaño de los ojos. De este modo, el ojo se puede mover dentro de un área grande, es decir, no es necesario fijar la posición del dispositivo de seguimiento con respecto a la cabeza del observador.

Las realizaciones de la invención, y sus ventajas, resultarán más evidentes para los expertos en la materia a través de la descripción y ejemplos presentados a continuación en el presente documento, y también a través de las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

En los siguientes ejemplos, se describirán con más detalle las realizaciones de la invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

- La Fig. 1 muestra esquemáticamente la dirección de la mirada, con respecto a un sistema de coordenadas de referencia,
- 30 La Fig. 2 muestra esquemáticamente un dispositivo de seguimiento ocular, para determinar la dirección de la mirada,
- La Fig. 3 muestra esquemáticamente la propagación de un rayo de luz a través de la óptica de formación de imágenes,
- 35 La Fig. 4 muestra esquemáticamente la reflexión de los rayos de luz desde la superficie corneal,
- La Fig. 5a muestra esquemáticamente una imagen del ojo, comprendiendo dicha imagen dos puntos de reflexión,
- 40 La Fig. 5b muestra de forma esquemática las posiciones angulares de los puntos de reflexión y del centro de la pupila,
- La Fig. 6 es un diagrama esquemático que muestra la reflexión de los rayos de luz desde la superficie corneal hacia la unidad de imagen,
- 45 La Fig. 7 es un diagrama esquemático que muestra triángulos relacionados con la determinación de la dirección de la mirada,
- La Fig. 8 es un diagrama esquemático que muestra vectores relacionados con la determinación de la dirección de la mirada, en una situación general tridimensional,
- 50 La Fig. 9 muestra esquemáticamente un dispositivo de seguimiento ocular que comprende dos unidades de iluminación, basadas en lentes de colimación,
- 55 La Fig. 10 muestra esquemáticamente un dispositivo de seguimiento ocular que comprende una unidad de iluminación, basada en lentes de colimación,
- La Fig. 11 muestra esquemáticamente una unidad de iluminación que comprende un expansor de haz difractivo y un emisor de IR,
- 60 La Fig. 12 muestra esquemáticamente una unidad de iluminación que comprende un expansor de haz difractivo, y dos emisores de IR,
- La Fig. 13 muestra esquemáticamente una unidad de pantalla virtual, que comprende un expansor de haz difractivo,
- 65

- La Fig. 14 es una vista tridimensional esquemática de una unidad de pantalla virtual, que comprende un expansor de haz difractivo,
- 5 La Fig. 15 muestra esquemáticamente un dispositivo de seguimiento ocular que comprende una pantalla virtual,
- La Fig. 16 es una vista tridimensional esquemática de un dispositivo de seguimiento ocular que comprende una pantalla virtual,
- 10 La Fig. 17 muestra esquemáticamente una imagen virtual vista a través de una abertura de salida,
- La Fig. 18 muestra esquemáticamente una unidad de pantalla virtual, que comprende emisores de IR adicionales,
- 15 La Fig. 19 muestra, a modo de ejemplo, el posicionamiento de los emisores de IR con respecto a una micropantalla,
- La Fig. 20 muestra esquemáticamente una unidad de pantalla virtual, que comprende emisores de IR adicionales y espejo semirreflectante,
- 20 La Fig. 21 muestra esquemáticamente el acoplamiento de un motor óptico y de una unidad de iluminación con un expansor de haz difractivo,
- La Fig. 22 muestra esquemáticamente dos expansores de haz difractivo apilados, uno mostrando una imagen virtual y el otro proporcionando haces de IR,
- 25 La Fig. 23 muestra esquemáticamente una unidad de formación de imágenes, adaptada para monitorizar el ojo a través de un expansor de haz difractivo,
- La Fig. 24 muestra esquemáticamente un dispositivo de seguimiento ocular, que comprende una pantalla virtual, un expansor de haz difractivo, y espejo semirreflectante,
- 30 La Fig. 25 muestra esquemáticamente un dispositivo de seguimiento ocular, que comprende una pantalla virtual y espejo semirreflectante,
- 35 La Fig. 26 muestra esquemáticamente un dispositivo de seguimiento ocular, que comprende espejo semirreflectante y una pantalla remota que se mira a través de dicho espejo semirreflectante,
- La Fig. 27 muestra esquemáticamente un dispositivo de rastreo ocular, que comprende espejo semirreflectante y objetos reales que miran a través de dicho espejo semirreflectante,
- 40 La Fig. 28 muestra esquemáticamente un dispositivo portátil que comprende un dispositivo de seguimiento ocular, y
- La Fig. 29 es una vista esquemática tridimensional de un dispositivo de seguimiento ocular, que se utiliza como dispositivo de sobremesa.
- 45

Descripción detallada

50 Con referencia a la Fig. 1, la dirección de la mirada GZD del ojo 100 puede estar definida por un ángulo de mirada horizontal α_3 y un ángulo de mirada vertical β_3 , con respecto a la dirección SZ de un sistema de coordenadas de referencia. La dirección SY define la dirección vertical, y la dirección SX define la dirección horizontal del sistema de coordenadas de referencia.

55 La forma real del ojo 100 es ligeramente no esférica, pero la forma de la córnea se puede aproximar a una superficie esférica. En el presente documento, el centro O del ojo 100 se refiere al centro de una esfera de ajuste óptico, estando ajustada dicha esfera con la superficie de la córnea. En el presente documento, el radio R del ojo 100 se refiere al radio de dicha esfera de ajuste óptico.

60 La dirección de la mirada GZD está definida por una línea que pasa por el centro O del ojo 100, y por el centro de ajuste óptico de la pupila 120. La pupila 120 está rodeada por el iris 110. La determinación del centro de ajuste óptico de la pupila también puede determinarse, parcial o totalmente, sobre la base de la ubicación del iris 110.

65 Una línea de referencia REF es paralela a la dirección SZ del sistema de coordenadas de referencia. La posición del ojo 100 se puede mover en las direcciones SX, SY y/o SZ. La línea de referencia REF no pasa, en general, a través del centro O del ojo 100.

Unos objetos 1002, 1003 están situados a una distancia considerable o infinita con respecto al ojo 100. Los objetos 1002, 1003 pueden ser objetos físicos (por ejemplo, cuerpos), imágenes representadas en una pantalla de visualización remota, o imágenes virtuales mostradas en una pantalla virtual.

5 Se asume que se conocen las coordenadas angulares de los objetos 1002 y 1003 con respecto a un punto C de la línea de referencia REF, y que la distancia entre el ojo 100 y los objetos 1002, 1003 es grande en comparación con la distancia entre el punto C y el centro del ojo O. La relación entre las distancias puede ser igual o superior a diez, por ejemplo. Por lo tanto, los objetos 1002, 1003 pueden estar asociados a las direcciones de la mirada. En consecuencia, al conocer los ángulos de mirada α_3 y β_3 se puede determinar cuál es el objeto al que está mirando el ojo 100, es decir, si el ojo 100 está mirando a la estrella 1002 o al hexágono 1003.

10 Con referencia a la Fig. 2, los ángulos de mirada α_3 y β_3 se determinan mediante un dispositivo de seguimiento ocular 700 que comprende una o más unidades de iluminación 300, y una unidad de formación de imágenes 200 (en la Fig. 2 sólo se muestra el ángulo horizontal α_3). Las unidades de iluminación 300 proporcionan al menos dos haces de luz sustancialmente colimados LB1, LB2, que se dirigen hacia el ojo 100, y dichos haces LB1, LB2 presentan diferentes direcciones. La unidad de formación de imágenes 200 proporciona una imagen del ojo 100.

15 La dirección del primer haz colimado LB1 puede identificarse mediante un ángulo horizontal α_1 y un ángulo vertical β_1 entre el haz LB1 y la línea de referencia REF. La dirección del segundo haz colimado LB2 puede identificarse mediante un ángulo horizontal α_2 y un ángulo vertical β_2 entre el haz LB2 y la línea de referencia REF (en la Fig. 2 no se muestran los ángulos verticales β_1 y β_2). L2 indica la distancia entre la unidad de formación de imágenes 200 y el ojo 100.

20 Con referencia a la Fig. 3, la unidad de formación de imágenes 200 comprende una óptica de formación de imágenes 220 y un sensor de imagen 210, que puede ser, por ejemplo, un dispositivo de carga acoplada (CCD). La distancia d1 entre la óptica de formación de imágenes 220 y el sensor de imagen 210 es conocida, y por lo tanto los píxeles del sensor de imagen 210 pueden asociarse a las posiciones angulares de las respectivas características. Por ejemplo, el centro de la pupila P se proyecta en un pixel que tenga una coordenada horizontal X3. El ángulo ϕ_3 entre la línea de referencia REF y la línea PC, desde el centro de la pupila P hasta el punto principal C de la óptica de formación de imágenes 220, puede determinarse sobre la base de la coordenada X3 del correspondiente pixel.

25 La unidad de formación de imágenes 200 puede comprender un medio para el enfoque automático. Las propiedades no ideales de la óptica de formación de imágenes 220 pueden causar la distorsión geométrica de la imagen 201. La distorsión puede corregirse ópticamente y/o mediante procesamiento de señales.

30 Con referencia a la Fig. 4, el haz de luz LB1 se refleja desde la superficie corneal y proporciona una pluralidad de rayos reflejados, que se propagan en varias direcciones diferentes. La abertura de la unidad de formación de imágenes 200 recibe un abanico estrecho de rayos de luz reflejados. Dicho abanico está representado en este caso por un solo rayo NC, que es el promedio ponderado de dicho abanico. El rayo NC se refleja desde un punto de reflexión N sobre la superficie del ojo 100, hasta el punto C principal de la óptica de formación de imágenes 220.

35 También el haz de luz LB2 se refleja desde la superficie corneal hacia la unidad de formación de imágenes 200 (no mostrada en la Fig. 4, por favor véase la Fig. 6). Los rayos reflejados están representados por un solo rayo MC que se refleja desde un punto de reflexión M, sobre la superficie del ojo 100, hasta el punto principal C de la óptica de formación de imágenes 220.

40 La Fig. 5a muestra una imagen 201 del ojo 100, adquirida por la unidad de formación de imágenes 200. El primer haz colimado LB1 de luz se dirige hacia el ojo 100, de tal manera que la reflexión del primer haz LB1 proporciona un primer punto de reflexión G1 que aparece en la imagen 201. El segundo haz colimado LB2 de luz se dirige hacia el ojo 100, de tal manera que la reflexión del segundo haz LB2 proporciona un segundo punto de reflexión G2 que aparece en la imagen 201. Pueden aplicarse algoritmos de análisis de imagen para determinar las coordenadas X1, Y1, X2, Y2 de los puntos de reflexión G1, G2, y las coordenadas X3, Y3 de la pupila P en la imagen 201. Los puntos de reflexión G1, G2, es decir las primeras imágenes de Purkinje, deberían distinguirse de las otras imágenes de Purkinje originadas en el interior del ojo 100.

45 Cuando se cambia la dirección de la mirada, la pupila 120 se mueve con respecto los puntos de reflexión G1, G2.

50 Con referencia a la Fig. 5b, la posición angular ϕ_1 , δ_1 del primer punto de reflexión N sobre la superficie del ojo 100, la posición angular ϕ_2 , δ_2 del segundo punto de reflexión M, y la posición angular ϕ_3 , δ_3 del centro de la pupila P pueden calcularse sobre la base de las coordenadas X1, Y1, X2, Y2, X3, Y3 (Fig. 5a), de acuerdo con el principio mostrado en la Fig. 3.

55 A continuación se describe el algoritmo para determinar la dirección de la mirada, utilizando primero un enfoque bidimensional simplificado. Con referencia a la Fig. 6, el haz LB1 de luz se refleja desde el punto N, y el rayo reflejado NC incide sobre el punto principal C de la óptica de la unidad de formación de imágenes 200. El ángulo de

incidencia γ_1 del haz LB1 con respecto a la normal N1 a la superficie es igual al ángulo de reflexión γ_1 del rayo de luz NC, con respecto a la normal N1 a la superficie. Se puede deducir que:

$$\gamma_1 = \frac{\phi_1 + \alpha_1}{2}, \quad (1)$$

y que:

$$\tau_1 = 180^\circ - \frac{\phi_1 + \alpha_1}{2}. \quad (2)$$

El haz LB2 de luz se refleja desde un punto M, y el rayo reflejado MC incide sobre el punto principal C de la unidad de formación de imágenes 200. El ángulo de incidencia γ_2 del haz LB2 con respecto a la normal N2 a la superficie es igual al ángulo de reflexión γ_2 del rayo de luz MC, con respecto a la normal N2 a la superficie. Se puede deducir que:

$$\gamma_2 = \frac{\phi_2 + \alpha_2}{2}, \quad (3)$$

y que:

$$\tau_2 = 180^\circ - \frac{\phi_2 + \alpha_2}{2}. \quad (4)$$

En la Fig. 6 pueden identificarse los dos triángulos, es decir, el triángulo ONC y el triángulo OMC. Los triángulos tienen un lado común OC, y la longitud de los lados ON y OM es igual al radio R del ojo 100. La posición angular ϕ_7 del centro del ojo O puede ahora determinarse sobre la base de los ángulos τ_1 y τ_2 , usando funciones trigonométricas, (por ejemplo, el teorema del seno) o cálculos vectoriales.

Con referencia a la Fig. 7, pueden identificarse tres triángulos OPC, ONC y OMC. Los ángulos ϕ_5 y ϕ_6 pueden calcularse cuando se conocen los ángulos ϕ_1 , ϕ_2 y ϕ_7 . El punto P es el centro de la pupila 120. El ángulo α_5 puede calcularse ahora sobre la base de los ángulos τ_1 y ϕ_5 . Los triángulos OPC y ONC tienen un lado común OC, y la longitud de los lados ON y OP es igual al radio R del ojo 100. El ángulo α_4 puede determinarse ahora sobre la base de los ángulos τ_1 y τ_3 usando cálculos trigonométricos (por ejemplo, el teorema del seno) o vectoriales. El ángulo de mirada horizontal α_3 puede calcularse ahora usando el ángulo α_4 y la posición angular ϕ_7 del centro del ojo O.

Con referencia a la Fig. 8, el vector OP correspondiente a los ángulos de mirada α_3 y β_3 del ojo 100 se puede determinar, en una situación tridimensional general, usando cálculos vectoriales.

El primer haz colimado LB1 se refleja desde el punto N hasta el punto principal C de la óptica de formación de imágenes 200. El segundo haz colimado LB2 se refleja desde el punto M hasta el punto principal C. En el punto N, la normal a la superficie es N1 y en el punto H la normal a la superficie es N2. El vector de dirección de la primera normal N1 a la superficie es el promedio del vector de dirección del primer haz colimado LB1 y el vector de dirección de la línea CN. El vector de dirección de la segunda normal N2 a la superficie es el promedio del vector de dirección del segundo haz colimado LB2 y el vector de dirección de la línea CM.

Es probable que las normales N1, N2 a la superficie no se corten debido a imprecisiones de medición, y debido a la forma ligeramente no esférica de la córnea. En ese caso, puede determinarse un vector GH auxiliar para encontrar una estimación para el centro del ojo O. El vector auxiliar GH es el vector más corto posible que conecta las normales N1, N2 a la superficie. El vector auxiliar GH es perpendicular a los vectores GN y MH. El vector auxiliar GH es paralelo al producto vectorial de los vectores NG y MG. El punto medio del vector auxiliar GH puede usarse como una estimación para el centro del ojo O. La longitud del vector auxiliar GH puede usarse como una indicación de la precisión de la medición. Ahora se conocen las direcciones de los vectores CN, NG, GH, HM y MC. También se conocen la longitud de los vectores GN y HM, cuya longitud es igual al radio R del ojo 100. Las tres incógnitas restantes, a saber, las longitudes de los vectores CN, GH y MC, se pueden resolver sobre la base de la ecuación vectorial, que establece que los cinco vectores deben hacer un recorrido cerrado:

$$\mathbf{CN} + \mathbf{NG} + \mathbf{GH} + \mathbf{HM} + \mathbf{MC} = \mathbf{0}. \quad (5)$$

La ecuación (5) se ha escrito como un conjunto de tres ecuaciones lineales, una ecuación de dicho conjunto corresponde a los componentes vectoriales en la dirección SX (Fig. 1), una corresponde a los componentes vectoriales en la dirección SY, y una corresponde a los componentes vectoriales en la dirección SZ. Hay tres incógnitas y tres ecuaciones, a partir de las cuales se pueden calcular las incógnitas.

Ahora se conocen las direcciones y las longitudes de los vectores CN, NG, GH, HM y MC en términos del radio R del ojo.

5 La posición del centro del ojo O se aproxima para que esté en el punto medio del vector GH. La posición del centro del ojo O también puede aproximarse mediante un punto que esté en el vector GH. La posición del centro del ojo O también puede aproximarse mediante un punto que esté en el entorno del vector GH.

10 A continuación, se calcula dónde se cruza la línea CP con la superficie del ojo 100, que tiene el centro O y el radio R. El cálculo proporciona dos soluciones. Se selecciona la solución correspondiente a la longitud más corta del vector CP, dado que la otra solución corresponde a una ubicación en el lado posterior del ojo 100.

Ahora se conocen la posición del centro del ojo S y del centro de la pupila P, y la dirección del vector OP ofrece directamente a la dirección de la mirada.

15 En resumen, la determinación de la dirección de la mirada comprende las siguientes etapas:

- determinar las posiciones angulares de los puntos de reflexión N, M en la superficie del ojo 100, sobre la base de las coordenadas de los puntos de reflexión G1, G2 en la imagen 201, adquirida por la unidad de formación de imágenes 200,
- 20 - calcular las direcciones de las normales N1, N2 a la superficie en dichos puntos de reflexión N, M, sobre la base de las direcciones de los haces de luz colimados LB1, LB2 y las direcciones de los vectores CN y CM,
- determinar la dirección del vector auxiliar GH mediante el cálculo del producto cruzado de los vectores de dirección de dichas normales N1, N2 a la superficie,
- calcular las longitudes de los vectores CN, CM y GH,
- 25 - aproximar la posición del centro del ojo O mediante el punto medio de dicho vector auxiliar GH,
- determinar la dirección del vector CP en función de las coordenadas de la pupila y/o del iris en la imagen 201,
- calcular la posición del centro de la pupila P, y
- calcular la dirección del vector OP, siendo dicha dirección la dirección de la mirada.

30 Con referencia a la Fig. 9, el dispositivo de seguimiento ocular 700 puede comprender dos unidades de iluminación 300 para proporcionar los haces de luz sustancialmente colimados LB1, LB2. La óptica de colimación 330 colima la luz invisible emitida por los emisores 321, 322 de luz infrarroja (IR), hacia el ojo 100.

35 La óptica de colimación 330 de las unidades de iluminación 300 puede ser una combinación optimizada de lentes. La óptica de colimación 330 puede comprender lentes de Fresnel. La orientación de las unidades de iluminación 300 puede ser fija o variable, con respecto a la unidad de formación de imágenes 200. La luz emitida puede tener una longitud de onda visible pero pulsada, de tal manera que sea sustancialmente invisible. La luz emitida puede estar en la región UV (ultravioleta), de modo que sea invisible.

40 Con referencia a la Fig. 10, el dispositivo de seguimiento ocular 700 también puede comprender sólo una unidad de iluminación 300 pero dos emisores 321, 322, para proporcionar los haces de luz sustancialmente colimados LB1, LB2.

45 Con referencia a la Fig. 11, la anchura W_{IN} de un haz de luz colimado, proporcionado por una unidad de colimación 310, puede ampliarse mediante un expansor de haz difractivo 400. Una rejilla de entrada 410 acopla la luz para que se propague en un sustrato de guía de ondas 405. La salida rejilla de 420 desacopla la luz del sustrato 405, para proporcionar el haz de luz colimado LB1. La anchura W_{OUT} del haz de salida puede ser sustancialmente mayor que la anchura inicial W_{IN} . Un expansor de haz difractivo se describe, por ejemplo, en la patente US 6.580.529. La unidad de colimación 310 comprende uno o más emisores 321 y una óptica de colimación 330.

50 Con referencia a la Fig. 12, pueden proporcionarse dos haces de luz colimados LB1, LB2 utilizando un solo expansor de haz difractivo 400.

55 Con referencia a la Fig. 13, una unidad pantalla virtual 500 puede comprender un motor óptico 520 y un expansor de haz difractivo 400. El motor óptico 520 comprende una micropantalla 510 y una óptica de visualización 530. La anchura de la abertura de visión se incrementa sustancialmente mediante el acoplamiento del motor óptico 520 con un expansor de haz difractivo 400.

60 La micropantalla 510 puede ser una matriz de diodos emisores de luz (LED), una matriz de cristal líquido (LCD), o un dispositivo de espejo micromecánico (MEMS).

65 La óptica de visualización 530 convierte una imagen real, formada por los píxeles de la micropantalla 510, a una imagen virtual. Cada punto de la micropantalla 510 corresponde con un haz de luz colimado transmitido desde la rejilla de salida 420. Por lo tanto, el ojo 100 del observador visualiza una imagen virtual a una gran distancia o a una distancia infinita.

La unidad pantalla virtual 500 también puede actuar como la unidad de iluminación 300. Pueden utilizarse unos píxeles predeterminados 501, 502 de la micropantalla para proporcionar los haces de luz LB1, LB2 sustancialmente colimados y modulados. Los píxeles 501, 501 pueden modularse de manera que la luz de los haces pueda distinguirse de otra luz. Los píxeles 501, 502 pueden ser emisores de IR.

5 Con referencia a la Fig. 14, el expansor de haz difractivo comprende normalmente tres rejillas 410, 415 y 420. La de rejilla entrada 410 acopla luz con el sustrato de guía de ondas 405. La rejilla intermedia 415 proporciona una expansión de los haces en una primera dirección SX. La rejilla de salida 420 proporciona la expansión de los haces en una segunda dirección SY y desacopla los haces de luz LB1, LB2 desde el expansor de haz difractivo 400. La
10 rejilla de salida 420 también actúa como la abertura de visualización para la imagen virtual representada por el motor óptico 520.

15 Cuando se utilizan unas rejillas difractivas planas 410, 420, la imagen virtual se forma a una distancia infinita. Sin embargo, la distancia entre la imagen virtual y el observador también puede ser más corta que el infinito. Dicha distancia puede estar, por ejemplo, en el intervalo de 1 a 2 metros. Se pueden implementar distancias más cortas que el infinito usando un expansor de haz difractivo curvado, dado a conocer en la solicitud de patente PCT/IB2004/004094. Dicho expansor de haz difractivo comprende al menos un elemento difractivo no plano, que tiene un radio de curvatura finito.

20 Con referencia a la Fig. 15, un dispositivo de seguimiento ocular 700 puede comprender:

- una unidad de iluminación 300 para proporcionar los haces de luz sustancialmente colimados LB1, LB2,
- una unidad pantalla virtual 500,
- una unidad de formación de imágenes 200,
- 25 - una unidad de procesamiento de datos 600,
- una interfaz de comandos 610, y
- una unidad de comunicaciones 620.

30 La interfaz de comandos 610 puede ser un dispositivo de botón pulsador, una palanca de mando o un teclado, que permita a un usuario enviar comandos al dispositivo 700. La interfaz de comandos 610 también puede ser un dispositivo de comando por voz o un dispositivo de reconocimiento de gestos. La unidad de comunicaciones 620 puede ser un módulo de interfaz, para comunicarse con un ordenador o un dispositivo móvil. La unidad de comunicaciones 620 también puede ser un transmisor/receptor óptico o de radio frecuencia, que permita la comunicación a través de internet o de la red de radio.

35 Con referencia a la Fig. 16, el dispositivo de seguimiento ocular 700 puede ser un dispositivo compacto, portátil y ligero.

40 Con referencia a la Fig. 17, el ojo 100 del usuario puede ver una imagen virtual 1000 representada a través de la abertura de salida de una pantalla virtual, por ejemplo, a través de la rejilla de salida 420 del expansor de haz difractivo.

45 La imagen virtual 1000 puede comprender unos objetos representados 1002, 1003, 1003, 1005, por ejemplo una estrella 1002, un hexágono 1003, un símbolo de "OK" 1005 y un signo de interrogación "?" 1004.

50 Los objetos o las ubicaciones de la imagen virtual 1000 están asociados ventajosamente a las direcciones de la mirada. Por lo tanto, cuando el ojo 100 está mirando a un objeto o ubicación decidido por el usuario, sobre la base de la dirección de la mirada se puede determinar a qué objeto o ubicación está mirando el ojo. Adicionalmente, cada objeto o ubicación puede estar asociado a una opción, y el usuario puede seleccionar una opción al mirar el respectivo objeto o ubicación. El usuario puede confirmar la selección, por ejemplo, pulsando un botón de la interfaz de comandos 610 (Figs. 15 y 16). El usuario también puede confirmar la selección si parpadea el ojo, o si mira un objeto o ubicación predeterminado durante un periodo prolongado.

55 Por ejemplo, el usuario puede elegir entre las opciones representadas por el objeto 1002 (estrella) o el objeto 1003 (hexágono), mediante el direccionamiento de su mirada. Si elige el hexágono 1003, puede proporcionar una retroalimentación visual mediante el parpadeo, tras la selección. El usuario puede confirmar la selección, por ejemplo, si mira el símbolo "OK". Sin embargo, el usuario puede solicitar información adicional si mira el signo de interrogación "?".

60 Los objetos 1002, 1003, 1004, 1005 de la imagen virtual 1000 pueden estar asociados a las direcciones de la mirada a nivel de software y/o de hardware, por ejemplo, mediante la conversión de las coordenadas de píxeles de los objetos en coordenadas angulares. Las coordenadas angulares de un objeto representado se pueden comparar con la dirección de la mirada, para determinar si el usuario está o no está mirando dicho objeto.

65 Un cursor 1001 visible o invisible puede estar adaptado para desplazarse sobre la imagen virtual 1000, siguiendo la dirección de la mirada determinada del ojo 100. El cursor 1001 ayuda al usuario a comprender que el dispositivo de

seguimiento 700 está siguiendo realmente su mirada. En otras palabras, el cursor 1001 proporciona retroalimentación visual al usuario.

5 La dirección de la mirada detectada puede calibrarse, por ejemplo, al mover un cursor parpadeante 1001 sobre la imagen virtual 1000, y al solicitar al usuario que mire el cursor 1001. Adicionalmente, puede solicitarse al usuario que pulse el botón de la interfaz de comandos 610 cuando esté mirando realmente el cursor 1001.

10 Con referencia a las Figs. 18 y 19, pueden fijarse dos o más emisores 321, 322 de luz infrarroja (IR) cerca de la micropantalla 510 de una unidad de pantalla virtual 500. De este modo la unidad de pantalla virtual 500 también puede actuar como la unidad de iluminación 300, proporcionando dos o más haces de luz sustancialmente colimados LB1, LB2.

15 La Fig. 19 muestra, a modo de ejemplo, el posicionamiento de los emisores IR 321, 322, 323, 324 con respecto al marco 511 de la micropantalla 510. Usando esta disposición, la unidad de iluminación 300 puede proporcionar tres, cuatro o más haces de luz sustancialmente colimados, que se propaguen en diferentes direcciones. El tercer haz, y los haces adicionales, se propagan en una dirección que está fuera del plano definido por las direcciones del primer haz LB1 y el segundo haz LB2. El uso de tres o más haces puede proporcionar una mayor precisión. La curvatura, es decir el radio, del ojo 100 puede ser diferente en las direcciones vertical y horizontal. Por lo tanto, el uso de tres o más haces puede permitir corregir errores que se produzcan debido a la forma no esférica del ojo 100.

20 Con referencia a la Fig. 20, la luz de los emisores 321, 322 de luz infrarroja (IR) se puede combinar con la luz emitida desde la micropantalla 510, a través de un espejo semirreflectante 350. El espejo semirreflectante 350 puede ser un espejo dicróico que transmita la luz visible y refleje la luz IR. El espejo semirreflectante 350 puede ser un espejo semitransparente o un espejo polarizante.

25 Con referencia a la Fig. 21, el motor óptico 520 y la unidad de colimación 310 pueden acoplarse lado a lado con el mismo expansor de haz difractivo 400.

30 Con referencia a la Fig. 22, los expansores de haz difractivos 400 se pueden apilar, de manera que la luz emitida por un primer expansor se transmita a través de un segundo expansor, que sea al menos parcialmente transparente. El primer expansor puede emitir luz visible y el segundo expansor puede emitir luz IR.

35 Con referencia a la Fig. 23, el expansor de haz difractivo 400 puede ser parcialmente transparente. La unidad de formación de imágenes 200 puede estar adaptada para controlar el ojo 100 a través del expansor de haz difractivo 400.

40 Con referencia a la Fig. 24, un dispositivo de seguimiento ocular 700 puede comprender un espejo semirreflectante 350 para combinar la luz emitida por la unidad de pantalla virtual 500 con los haces de luz LB1, LB2, proporcionados por la una o más unidades de iluminación 300. La unidad de pantalla virtual 500 puede comprender un expansor de haz difractivo 400. También las unidades de iluminación 300 pueden comprender expansores de haz difractivos 400. El dispositivo de seguimiento 700 puede comprender adicionalmente una unidad de procesamiento de datos, una interfaz de comando 610, y una unidad de comunicaciones 620.

45 Con referencia a la Fig. 25, un dispositivo de seguimiento ocular 700 puede comprender un espejo semirreflectante 350, para combinar la luz emitida por la unidad de pantalla virtual 500 con los haces de luz colimados LB1, LB2. La imagen virtual y los haces de luz colimados LB1, LB2 pueden proporcionarse usando sólo la óptica de lente 530, 220, 330, es decir, sin usar expansores de haz difractivos.

50 Con referencia a la Fig. 26, el usuario también puede mirar una pantalla remota 900. La luz emitida por la pantalla remota 900 se puede combinar con los haces de luz colimados LB1, LB2, utilizando el espejo semirreflectante 350. El dispositivo de seguimiento ocular 700 puede comprender adicionalmente una unidad de procesamiento de datos, una interfaz de comandos 610, y una unidad de comunicaciones 620. La posición del dispositivo de seguimiento 700 puede estar fija con respecto a la pantalla remota 900.

55 Alternativamente, el dispositivo de seguimiento 700 puede comprender una unidad de formación de imágenes adicional 250, para controlar la posición angular de la pantalla remota 900 con respecto al dispositivo de seguimiento 700. Esta información es necesaria para asociar la dirección de la mirada a una ubicación en la pantalla remota 900. La unidad de formación de imágenes adicional 250 también puede estar adaptada para controlar las posiciones angulares de los objetos que aparezcan en la pantalla 900, con respecto al dispositivo de seguimiento 700.

60 En lugar del espejo semirreflectante, el usuario también puede mirar a la pantalla 900 a través de un expansor de haz 400, que sea transparente en el intervalo visible de las longitudes de onda.

65 Con referencia a la Fig. 27, el usuario también puede mirar unos objetos físicos 1002 (una casa), 1003 (un coche) a través del espejo semirreflectante 350. La posición del dispositivo de seguimiento 700 puede estar fija con respecto a los objetos, o puede comprender una unidad de formación de imágenes adicional 250 para monitorizar las

5 posiciones angulares de los objetos con respecto al dispositivo de seguimiento 700. Así, los objetos, las ubicaciones de los objetos, y/o las características del paisaje pueden estar asociados a las direcciones de la mirada. Por ejemplo, se puede determinar si el usuario está mirando la casa 1002 o el coche 1003. Adicionalmente, los objetos 1002, 1003 pueden estar asociados a las opciones, de tal manera que pueda seleccionarse una opción si se mira el objeto en cuestión.

Con referencia a la Fig. 28, un dispositivo portátil 750 puede comprender un dispositivo de seguimiento ocular 700.

10 La distancia entre el ojo 100 y el dispositivo de seguimiento 700 puede ser inferior o igual a 0,2 m. La anchura de los haces de luz colimados LB1, LB2 puede ser superior o igual a 20 mm, para permitir la libertad de mover el dispositivo de seguimiento 700 con respecto al ojo 100. La anchura de los haces de luz colimados LB1, LB2 también puede ser superior o igual a 10 cm. El expansor de haz difractivo permite implementar haces anchos, sin aumentar considerablemente el tamaño y el peso del dispositivo 700.

15 Con referencia a la Fig. 29, el dispositivo de seguimiento ocular 700 también puede utilizarse como dispositivo de sobremesa. El dispositivo de seguimiento ocular 700 se puede adaptar para que monitorice el ojo 100 a una distancia, que esté, por ejemplo, en el intervalo de 0,5 a 1 m con respecto al ojo 100. El usuario puede mirar los objetos 1002, 1003, que pueden ser imágenes representadas en una pantalla de visualización 900 u objetos físicos reales.

20 La dirección de la mirada determinada puede asociarse a uno de los objetos 1002, 1003, si se combina la información de dirección de la mirada con la posición del ojo 100 con respecto al dispositivo de seguimiento 700. La asociación no podrá hacerse sólo sobre la base de la dirección de la mirada a menos que los objetos 1002, 1003 estén lejos, en comparación con la distancia entre el ojo 100 y el dispositivo de seguimiento 700. Puede necesitarse también la posición del ojo 100 con el fin de efectuar la asociación. La posición horizontal y la posición vertical del ojo, así como la distancia del ojo 100 con respecto al dispositivo de seguimiento 700, se pueden determinar usando información de la distancia proporcionada por un monitor de distancia 260, y analizando la imagen proporcionada por la unidad de formación de imágenes 200. El monitor de la distancia puede ser, por ejemplo, un medidor óptico de la distancia. La información de la posición también puede obtenerse usando dos unidades de formación de imágenes, y mediante determinando la distancia, la posición horizontal y la posición vertical mediante triangulación, a partir de las imágenes del ojo adquiridas por dichas unidades de formación de imágenes.

35 El ojo 100 del usuario puede visualizar uno de los objetos 1002, 1003. Se utiliza la información de dirección de la mirada, junto con las coordenadas de píxeles de los objetos y la posición del ojo 100, para determinar cuál es el objeto que el usuario está mirando, por ejemplo, si el usuario está mirando la estrella 1002 o el hexágono 1003 representados en la pantalla 900.

40 Cuando se utiliza como dispositivo de sobremesa, el dispositivo de seguimiento 700 puede comprender uno o más expansores de haz 400 que tengan una abertura de salida amplia, a fin de permitir al usuario una libertad adecuada para mover la cabeza. Alternativamente, el dispositivo de seguimiento 700 puede comprender medios para cambiar las direcciones de los haces colimados LB1, LB2, de tal manera que incidan sobre los ojos 100 del usuario cuando el usuario mueva la cabeza. La información necesaria para seguir los movimientos de la cabeza puede obtenerse, por ejemplo, mediante el análisis de la imagen proporcionada por la unidad de formación de imágenes 200.

45 El dispositivo de seguimiento ocular 700 puede ser, puede ser parte de, o puede usarse en combinación con, un dispositivo seleccionado de la siguiente lista: un dispositivo portátil, un dispositivo con capacidades inalámbricas de telecomunicación, un dispositivo de formación de imágenes, un escáner de imágenes, una cámara digital, un teléfono móvil, una consola, un dispositivo de grabación/reproducción de música (basado por ejemplo en el formato MP3), un transmisor o receptor de control remoto, un reloj de pulsera, una brújula, un dispositivo de monitorización del ritmo cardíaco, instrumentos médicos, aparatos para personas discapacitadas, un instrumento de medición, un instrumento de medición industrial, un dispositivo de control de procesos, un dispositivo de localización del blanco, un dispositivo de puntería, un dispositivo de navegación, un asistente digital personal (PDA), un comunicador, un dispositivo portátil de Internet y un ordenador de mano. El dispositivo de seguimiento ocular 700 puede comprender una batería, una unidad de telecomunicación, dispositivos de audio y/o unidades de almacenamiento de datos. El dispositivo de seguimiento ocular 700 puede estar unido a un sombrero, gorra o casco.

60 El método de acuerdo con la presente invención también puede implementarse utilizando un producto de programa informático. Pueden proporcionarse datos en bruto mediante un sistema que comprenda la unidad de formación de imágenes 200 y los medios para proporcionar los haces de luz colimados LB1, LB2. Los datos en bruto pueden comprender la imagen completa 201 del ojo 100 o sólo las coordenadas de los puntos de reflexión G1, G2 y de la pupila P. El producto de programa informático comprende secciones de código de programa informático almacenadas en un medio legible, que cuando se ejecuta a través de un procesador 600 determina la dirección de la mirada sobre la base de los datos y las direcciones de los haces de luz LB1, LB2.

65 El producto de programa informático puede ser, por ejemplo, un disco CD-ROM, o una tarjeta de memoria que comprenda dicho programa. Las secciones de código de programa informático de dicho producto pueden

descargarse desde páginas web. El programa informático puede instalarse, por ejemplo, en un ordenador portátil que esté conectado con una unidad de formación de imágenes 200.

5 La interfaz de usuario, por ejemplo de un ordenador o un dispositivo móvil, puede basarse parcial o completamente en el seguimiento de la dirección de la mirada. El usuario puede dar órdenes a altas velocidades, dirigiendo su mirada. Por ejemplo, puede escribirse y procesarse texto si se seleccionan con la mirada letras, palabras o frases enteras representadas.

10 Cuando el dispositivo de seguimiento 700 está fijado a un sombrero, la información de dirección de la mirada se puede combinar con información adicional sobre la posición y/o la orientación de la cabeza, con respecto al entorno. La posición de la cabeza con respecto al entorno puede determinarse, por ejemplo, usando un GPS (Sistema de Posicionamiento Global), una brújula y/o una radiobaliza de referencia adaptados para enviar ultrasonidos, señales de seguimiento por infrarrojos o por radiofrecuencia.

15 El dispositivo de seguimiento ocular 700 puede adaptarse para representar visualmente imágenes virtuales de tal manera que el usuario pueda ver las imágenes virtuales representadas y también objetos físicos reales, de forma sustancialmente simultánea. Ese tipo de dispositivo de seguimiento 700 puede usarse como parte de un sistema de realidad aumentada.

20 El dispositivo de seguimiento ocular 700 puede acoplarse con un equipo remoto. El procesamiento de señales asociado a la determinación de la dirección de la mirada se puede llevar a cabo en un ordenador o unidad de procesamiento de datos remoto.

25 La unidad de pantalla virtual puede utilizarse para representar visualmente imágenes en movimiento o fijas, por ejemplo, una película, fotografías, páginas web, diagramas y/o texto.

Las unidades de iluminación 300 también pueden implementarse utilizando fuentes de luz, por ejemplo láseres, que emitan de manera inherente haces de luz colimados.

30 Los expansores de haz pueden basarse en una óptica difractiva, en combinaciones de lentes, en prismas apilados y/o en medios espejos apilados.

35 El expansor de haz difractivo 400 puede implementarse usando patrones periódicos de relieve superficial. El expansor de haz difractivo 400 también puede ser un expansor de haz difractivo holográfico, que comprenda variaciones periódicas de índice refractivo, a implementar mediante técnicas de fabricación holográficas.

40 La solicitud de patente US2004/0062502 da a conocer un expansor de haz con una o más interfaces de superficie para mejorar la uniformidad de color en el expansor de haz, por ejemplo, cuando expanda simultáneamente haces de luz roja, verde y azul.

La solicitud de patente PCT/FI2003/000948 da a conocer un elemento difractivo de rejilla de división, para equilibrar la eficiencia de difracción con respecto a las variaciones en el ángulo de incidencia. Dicho elemento puede usarse en el expansor de haz difractivo 400.

45 La micropantalla 510 puede ser una matriz bidimensional de modulación de la luz reflexiva, emisora o transmisiva. La micropantalla 510 puede ser una matriz de diodos emisores de luz (LED, OLED (diodo orgánico emisor de luz)), un conjunto de microespejos mecánicos (pantalla MEMS), o una matriz de celdas de cristal líquido (cristal líquido sobre silicio). La micropantalla 510 también se puede implementar usando haces de luz escaneados optomecánicamente, por ejemplo, utilizando un haz de luz modulada, que se desvíe y/o desplace mediante espejos giratorios.

50 El dispositivo de seguimiento ocular 700 puede comprender dos pantallas virtuales adyacentes, una para el ojo izquierdo y una para el ojo derecho. Las pantallas virtuales pueden controlarse por separado, para representar visualmente imágenes virtuales tridimensionales. Cuando una persona mira una imagen tridimensional representada visualmente, se puede utilizar la diferencia entre la dirección de la mirada del ojo izquierdo y la dirección de la mirada del ojo derecho para proporcionar información de distancia relacionada con dicha imagen.

55 El dispositivo de seguimiento ocular 700 se puede adaptar para monitorizar por separado la dirección de la mirada de los ojos izquierdo y derecho. Cuando el usuario está mirando un objeto remoto, se puede utilizar la diferencia entre la dirección de la mirada del ojo izquierdo y la dirección de la mirada del ojo derecho para proporcionar información de distancia relacionada con dicho objeto. Esta realización se puede usar en aplicaciones de realidad aumentada.

60 En los siguientes ejemplos también se ilustran aspectos adicionales de la invención:

65

Ejemplo 1: Un dispositivo (700) para detectar la dirección de la mirada (α_3, β_3) de un ojo (100), comprendiendo dicho dispositivo (700) al menos:

- 5 - una primera unidad de formación de imágenes (200), para adquirir una imagen (201) de dicho ojo 100,
- al menos una unidad de iluminación (300) para proporcionar un primer haz de luz sustancialmente colimado (LB1) y un segundo haz de luz sustancialmente colimado (LB2), teniendo dichos haces de luz colimados (LB1, LB2) diferentes direcciones con respecto a dicho dispositivo (700) de manera que dicho primer haz de luz colimado (LB1) proporcione un primer punto de reflexión (G1) cuando se refleje luz desde la superficie del ojo (100), y de manera que dicho segundo haz de luz colimado (LB1) proporcione un segundo punto de reflexión (G2) cuando se refleje luz desde la superficie del ojo (100), apareciendo dichos puntos de reflexión (G1, G2) en dicha imagen (201), y
- 10 - una unidad de procesamiento de datos (600) para determinar la dirección de la mirada (α_3, β_3) del ojo 100 con respecto a dicho dispositivo (700), sobre la base de la posición de dicho primer punto de reflexión (G1) en dicha imagen (201), de la posición de dicho segundo punto de reflexión (G2) en dicha imagen (201), de la posición de la pupila (120) y/o del iris (110) del ojo (100) en dicha imagen (201) y de las direcciones de los haces de luz colimados (LB1, LB2).

20 Ejemplo 2: El dispositivo (700) de acuerdo con el ejemplo 1, que comprende adicionalmente al menos un expansor de haz para expandir la anchura (W_{OUT}) de los haces de luz colimados (LB1, LB2).

Ejemplo 3: El dispositivo (700) de acuerdo con el ejemplo 2, en el que dicho expansor de haz es un expansor de haz difractivo (400).

25 Ejemplo 4: El dispositivo (700) de acuerdo con el ejemplo 2 o 3, en el que dicha primera unidad de formación de imágenes (200) está adaptada para visualizar el ojo (100) a través de dicho expansor de haz (400), que es al menos parcialmente transparente a las longitudes de onda de los haces de luz colimados (LB1, LB2).

30 Ejemplo 5: El dispositivo (700) de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 1 a 4, en el que la anchura (W_{OUT}) del primer haz de luz colimado (LB1) es superior o igual a 20 mm.

Ejemplo 6: El dispositivo (700) de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 1 a 5, en el que dicha unidad de iluminación (300) comprende al menos un dispositivo semiconductor (321, 322) para emitir luz infrarroja invisible.

35 Ejemplo 7: El dispositivo (700) de acuerdo con cualquiera de los ejemplos anteriores 1 a 6, que comprende adicionalmente una unidad de pantalla virtual (500) para representar visualmente imágenes virtuales (1000).

Ejemplo 8: El dispositivo (700) de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 1 a 7, que está adaptado para asociar un objeto (1002, 1003) o una ubicación a una dirección de la mirada.

40 Ejemplo 9: El dispositivo (700) de acuerdo con el ejemplo 8, que comprende adicionalmente espejo semirreflectante (350) adaptado para reflejar o transmitir dichos haces de luz colimados (LB1, LB2) hacia el ojo (100), en el que el ojo (100) puede visualizar dicho objeto (1002, 1003) y/o dicha ubicación a través de dicho espejo semirreflectante (350).

45 Ejemplo 10: El dispositivo (700) de acuerdo con el ejemplo 8 o 9, que comprende una unidad de formación de imágenes adicional (250) para monitorizar la posición angular de dicho objeto (1002, 1003), o la ubicación con respecto a dicho dispositivo (700).

50 Ejemplo 11: El dispositivo (700) de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 1 a 10, que comprende adicionalmente una interfaz de comandos (610) para enviar comandos a la unidad de procesamiento de datos (600), a fin de confirmar una selección de una opción asociada a la dirección de la mirada determinada (α_3, β_3).

55 Ejemplo 12: El dispositivo de acuerdo con cualquiera de los ejemplos anteriores 1 a 11, que comprende adicionalmente medios (260) para determinar la distancia (L2) entre dicho ojo (100) y dicha primera unidad de formación de imágenes (200).

60 Ejemplo 13: El dispositivo (700) de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 1 a 12, que comprende adicionalmente medios para cambiar la dirección de dicho primer haz luz colimado (LB1) y/o la dirección de dicho segundo haz de luz colimado (LB2) con respecto a dicho dispositivo (700).

Ejemplo 14: Un método para detectar la dirección de la mirada (α_3, β_3) de un ojo (100), comprendiendo dicho método al menos:

- 65 - dirigir un primer haz de luz sustancialmente colimado (LB1) hacia el ojo (100), con el fin de proporcionar un primer punto de reflexión (G1) cuando la luz se refleje desde la superficie del ojo (100),

- dirigir un segundo haz de luz sustancialmente colimado (LB2) hacia el ojo (100), con el fin de proporcionar un segundo punto de reflexión (G2) cuando la luz se refleje desde la superficie del ojo (100), teniendo dicho segundo haz de luz colimado (LB2) una dirección diferente a la dirección de dicho primer haz de luz colimado (LB1),
- adquirir una imagen (201) del ojo (100) mediante una primera unidad de formación de imágenes (200),
- determinar la dirección de la mirada (α_3 , β_3) de dicho ojo (100) con respecto a dicha primera unidad formación de imágenes (200) sobre la base de la posición de dicho primer punto de reflexión (G1) en dicha imagen (201), de la posición de dicho segundo punto de reflexión (G2) en dicha imagen (201), de la posición de la pupila (120) y/o del iris (110) del ojo (100) en dicha imagen (201) y de las direcciones de los haces de luz colimados (LB1, LB2).

Ejemplo 15: El método de acuerdo con el ejemplo 14, en el que al menos uno de dichos haces de luz colimados (LB1, LB2) se proporciona usando uno o más expansores de haz difractivos (400).

Ejemplo 16: El método de acuerdo con el ejemplo 14 o 15, en el que la anchura (W_{OUT}) de los haces de luz colimados (LB1, LB2) es superior o igual a 20 mm.

Ejemplo 17: El método de acuerdo con cualquiera de los ejemplos anteriores 14 a 16, en el que la distancia (L2) entre la primera unidad de formación de imágenes (200) y el ojo (100) es inferior o igual a 0,2 m.

Ejemplo 18: El método de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 14 a 17, que comprende adicionalmente asociar un objeto (1002, 1003) o una ubicación a una dirección de la mirada (α_3 , β_3).

Ejemplo 19: El método de acuerdo con el ejemplo 18, que comprende adicionalmente determinar la posición angular de dicho objeto (1002, 1003) o dicha ubicación con respecto a dicha primera unidad de formación de imágenes (200), sobre la base de una imagen de dicho objeto o ubicación adquirida por una unidad de formación de imágenes adicional (250).

Ejemplo 20: El método de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 14 a 19, que comprende adicionalmente:

- representar visualmente una imagen virtual (1000), y
- asociar una ubicación de dicha imagen virtual (1000) a una dirección de la mirada.

Ejemplo 21: El método de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 14 a 20, que comprende adicionalmente seleccionar una opción o un objetivo sobre la base de la dirección de la mirada detectada (α_3 , β_3) de dicho ojo (100).

Ejemplo 22: El método de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 14 a 21, que comprende adicionalmente variar la dirección de dicho primer haz de luz colimado (LB1) y/o la dirección de dicho segundo haz de luz colimado (LB2).

Ejemplo 23: El método de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 14 a 22, en el que dicho primer haz colimado (LB1) y dicho segundo haz colimado (LB2) se proporcionan usando píxeles (501, 502) de una micropantalla (510).

Ejemplo 24: El método de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 14 a 23, en el que dicho primer haz colimado (LB1) y dicho segundo haz colimado (LB2) se proporcionan usando dispositivos semiconductores emisores de luz (321, 322).

Ejemplo 25: El método de acuerdo con cualquiera de los anteriores ejemplos 14 a 24, que comprende adicionalmente enviar datos de imagen a una unidad de procesamiento de datos remota (600), y llevar a cabo dicha determinación en la unidad de procesamiento de datos remota (600).

Ejemplo 26: Un dispositivo portátil (750) que comprende un dispositivo de seguimiento ocular para detectar una dirección de la mirada (α_3 , β_3) de un ojo (100), comprendiendo dicho dispositivo de seguimiento (700) al menos:

- una primera unidad de formación de imágenes (200), para adquirir una imagen (201) de dicho ojo 100,
- al menos una unidad de iluminación (300) para proporcionar un primer haz de luz sustancialmente colimado (LB1) y un segundo haz de luz sustancialmente colimado (LB2), teniendo dichos haces de luz colimados (LB1, LB2) diferentes direcciones con respecto a dicho dispositivo (700) de manera que dicho primer haz de luz colimado (LB1) proporcione un primer punto de reflexión (G1) cuando se refleje luz desde la superficie del ojo (100), y de manera que dicho segundo haz de luz colimado (LB1) proporcione un segundo punto de reflexión (G2) cuando se refleje luz desde la superficie del ojo (100), apareciendo dichos puntos de reflexión (G1, G2) en dicha imagen (201), y

- una unidad de procesamiento de datos (600) para determinar la dirección de la mirada (α_3, β_3) del ojo 100 con respecto a dicho dispositivo (700), sobre la base de la posición de dicho primer punto de reflexión (G1) en dicha imagen (201), de la posición de dicho segundo punto de reflexión (G2) en dicha imagen (201), de la posición de la pupila (120) y/o del iris (110) del ojo (100) en dicha imagen (201) y de las direcciones de los haces de luz colimados (LB1, LB2).

Ejemplo 27: El dispositivo portátil (750) de acuerdo con el ejemplo 26, que comprende adicionalmente capacidades de comunicación inalámbrica.

Ejemplo 28: Un producto de programa informático para determinar la dirección de la mirada (α_3, β_3) de un ojo (100), sobre la base de datos proporcionados por un sistema que comprende:

- una primera unidad de formación de imágenes (200), para adquirir una imagen (201) de dicho ojo 100,
- medios de iluminación para proporcionar un primer haz de luz sustancialmente colimado (LB1) y un segundo haz de luz sustancialmente colimado (LB2), teniendo dichos haces de luz colimados (LB1, LB2) diferentes direcciones con respecto a dicha unidad de formación de imágenes (200), de manera que dicho primer haz de luz colimado (LB1) proporcione un primer punto de reflexión (G1) cuando se refleje luz desde la superficie del ojo (100), y de manera que dicho segundo haz de luz colimado (LB2) proporcione un segundo punto de reflexión (G2) cuando se refleje luz desde la superficie del ojo (100), apareciendo dichos puntos de reflexión (G1, G2) en dicha imagen (201), y

comprendiendo dicho producto de programa informático unas secciones de código de programa informático almacenadas en un medio legible, que cuando se ejecutan mediante un procesador (600) sirven para determinar la dirección de la mirada (α_3, β_3) de dicho ojo (100) con respecto a dicha unidad de formación de imágenes (200) sobre la base de la posición de dicho primer punto de reflexión (G1) en dicha imagen (201), de la posición de dicho segundo punto de reflexión (G2) en dicha imagen (201), de la posición de la pupila (120) y/o del iris (110) del ojo (100) en dicha imagen (201) y de las direcciones de los haces de luz colimados (LB1, LB2).

Ejemplo 29: El producto de programa informático de acuerdo con el ejemplo 28, en el que dichas secciones de código de programa informático son para:

- determinar la posición angular de un primer punto de reflexión (N) y la posición angular de un segundo punto de reflexión (M) sobre la superficie del ojo (100), sobre la base de las coordenadas de dichos dos puntos de reflexión (G1, G2),
- determinar la dirección de una primera superficie normal (N1) en dicho primer punto de reflexión (N) y una segunda superficie normal (N2) en dicho segundo punto de reflexión (M), sobre la base de las direcciones de dichos haces de luz colimados (LB1, LB2) y las direcciones de un primer vector (CN) y un segundo vector (CM), estando designado dicho primer vector (CN) por el punto principal (C) de dicha unidad de formación de imágenes (200) y dicho primer punto de reflexión (N), y estando designado dicho segundo vector (CM) por el punto principal (C) de dicha unidad de formación de imágenes (200) y dicho segundo punto de reflexión (M),
- determinar un tercer vector (GH) que sea sustancialmente perpendicular a dichas superficies normales (N1, N2),
- determinar las longitudes de dichos primer vector (CN), segundo vector (CM) y tercer vector (GH),
- aproximar la posición del centro del ojo mediante un punto (O) sobre el tercer vector (GH), siendo dicho punto preferiblemente el punto medio del tercer vector (GH),
- determinar la dirección de un cuarto vector (CP) sobre la base de las coordenadas de la pupila y/o del iris en dicha imagen (201), estando designado dicho cuarto vector (CP) por el punto principal (C) de dicha unidad de formación de imágenes (200) y el centro de pupila (P),
- determinar la posición del centro de la pupila (P), y
- proporcionar la dirección de la mirada (α_3, β_3) sobre la base de la posición de dicho centro de ojo aproximado (O) y el citado centro de pupila (P).

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (700) para detectar la dirección de la mirada (α_3, β_3) de un ojo (100), comprendiendo dicho dispositivo (700) al menos:
- 5
- una primera unidad de formación de imágenes (200) para adquirir una imagen (201) de dicho ojo 100,
 - al menos una unidad de iluminación (300) que comprende una óptica de colimación, configurada para proporcionar un primer haz de luz sustancialmente colimado (LB1), y un segundo haz de luz sustancialmente colimado (LB2), teniendo dichos haces de luz colimados (LB1, LB2) diferentes direcciones con respecto a dicho dispositivo (700) de manera que dicho primer haz de luz colimado (LB1) proporcione un primer punto de reflexión (G1) cuando se refleje luz desde la superficie del ojo (100), y de manera que dicho segundo haz de luz colimado (LB2) proporcione un segundo punto de reflexión (G2) cuando se refleje luz desde la superficie del ojo (100), apareciendo dichos puntos de reflexión (G1, G2) en dicha imagen (201), y
 - al menos un expansor de haz para expandir la anchura (W_{OUT}) de los haces de luz colimados (LB1, LB2), y
 - una unidad de procesamiento de datos (600) para determinar la dirección de la mirada (α_3, β_3) del ojo (100) con respecto a dicho dispositivo (700), sobre la base de la posición de dicho primer punto de reflexión (G1) en dicha imagen (201), de la posición de dicho segundo punto de reflexión (G2) en dicha imagen (201), de la posición de la pupila (120) y/o del iris (110) del ojo (100) en dicha imagen (201) y de las direcciones de los haces de luz colimados (LB1, LB2).
- 10
- 15
- 20
2. El dispositivo (700) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho expansor de haz es un expansor de haz difractivo (400).
3. El dispositivo (700) de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que dicha primera unidad de formación de imágenes (200) está adaptada para visualizar el ojo (100) a través de dicho expansor de haz (400), que es al menos parcialmente transparente a las longitudes de onda de los haces de luz colimados (LB1, LB2).
- 25
4. El dispositivo (700) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 3, que comprende adicionalmente una unidad de pantalla virtual (500) para representar visualmente imágenes virtuales (1000).
- 30
5. El dispositivo (700) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 4, que está adaptado para asociar un objeto (1002, 1003) o una ubicación a una dirección de la mirada.
6. El dispositivo (700) de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende adicionalmente un espejo semirreflectante (350) adaptado para reflejar o transmitir dichos haces de luz colimados (LB1, LB2) hacia el ojo (100), en donde el ojo (100) puede visualizar dicho objeto (1002, 1003) y/o dicha ubicación a través de dicho espejo semirreflectante (350).
- 35
7. Un método para detectar la dirección de la mirada (α_3, β_3) de un ojo (100), comprendiendo dicho método al menos:
- 40
- expandir un primer haz de luz sustancialmente colimado, proporcionado por una óptica de colimación, y un segundo haz de luz sustancialmente colimado, proporcionado por una óptica de colimación,
 - dirigir el primer haz de luz sustancialmente colimado (LB1) hacia el ojo (100), con el fin de proporcionar un primer punto de reflexión (G1) cuando la luz se refleje desde la superficie del ojo (100),
 - dirigir el segundo haz de luz sustancialmente colimado (LB2) hacia el ojo (100), con el fin de proporcionar un segundo punto de reflexión (G2) cuando la luz se refleje desde la superficie del ojo (100), teniendo dicho segundo haz de luz colimado (LB2) una dirección diferente a la dirección de dicho primer haz de luz colimado (LB1),
 - adquirir una imagen (201) del ojo (100) mediante una primera unidad de formación de imágenes (200),
 - determinar la dirección de la mirada (α_3, β_3) de dicho ojo (100) con respecto a dicha primera unidad formación de imágenes (200) sobre la base de la posición de dicho primer punto de reflexión (G1) en dicha imagen (201), de la posición de dicho segundo punto de reflexión (G2) en dicha imagen (201), de la posición de la pupila (120) y/o del iris (110) del ojo (100) en dicha imagen (201) y de las direcciones de los haces de luz colimados (LB1, LB2).
- 45
- 50
- 55
8. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que al menos uno de dichos haces de luz colimados (LB1, LB2) se proporciona usando uno o más expansores de haz difractivos (400).
9. El método de acuerdo con las reivindicaciones 7 u 8, que comprende adicionalmente asociar un objeto (1002, 1003) o una ubicación a una dirección de la mirada (α_3, β_3).
- 60
10. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 7 a 9, que comprende adicionalmente:
- representar visualmente una imagen virtual (1000), y
 - asociar una ubicación de dicha imagen virtual (1000) a una dirección de la mirada.
- 65

11. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 7 a 10, en el que dicho primer haz colimado (LB1) y dicho segundo haz colimado (LB2) se proporcionan usando píxeles (501, 502) de una micropantalla (510).
- 5 12. Un dispositivo portátil (750) que comprende un dispositivo para detectar la dirección de la mirada de un ojo de acuerdo con la reivindicación 1.

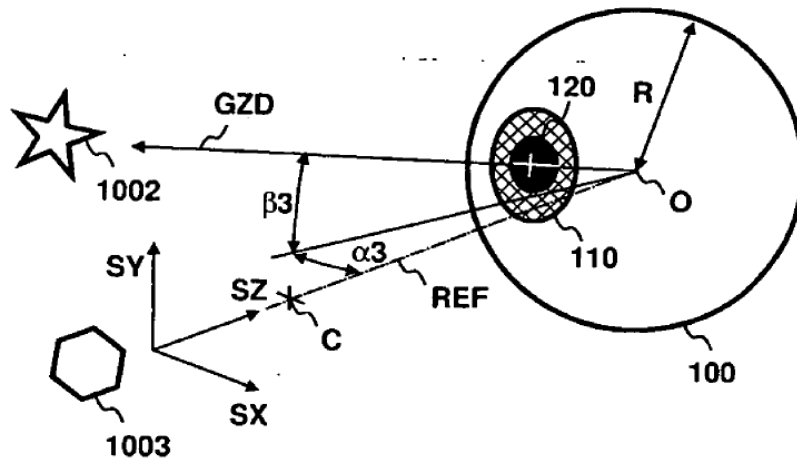


Fig 1

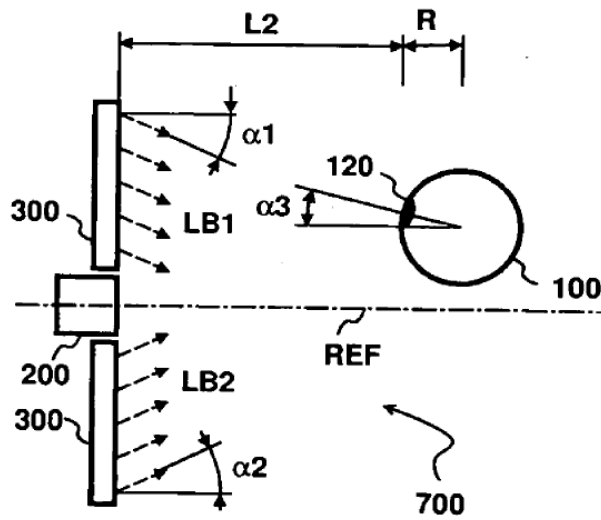


Fig 2

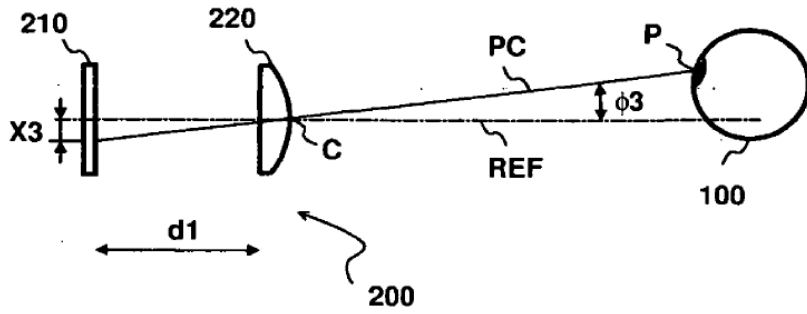


Fig 3

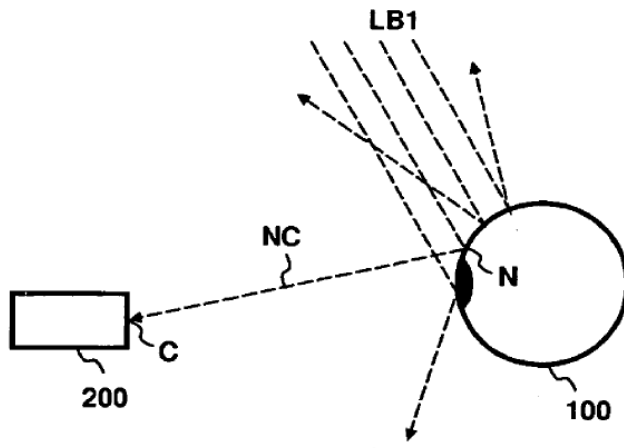


Fig 4

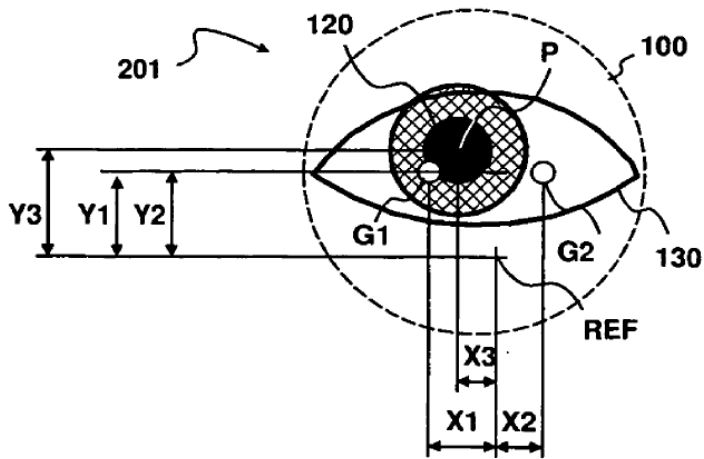


Fig 5a

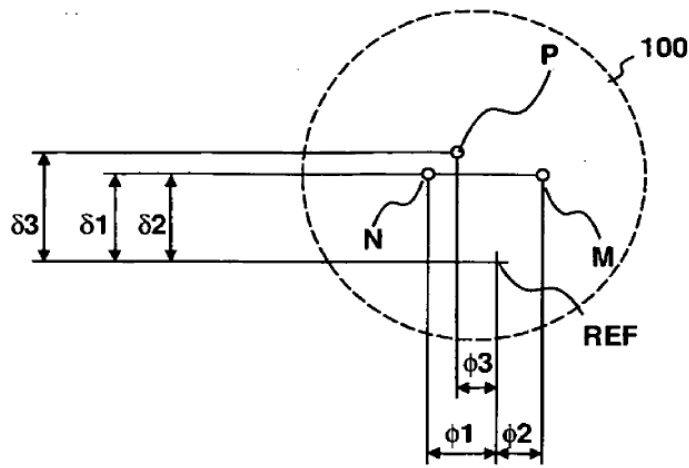


Fig 5b

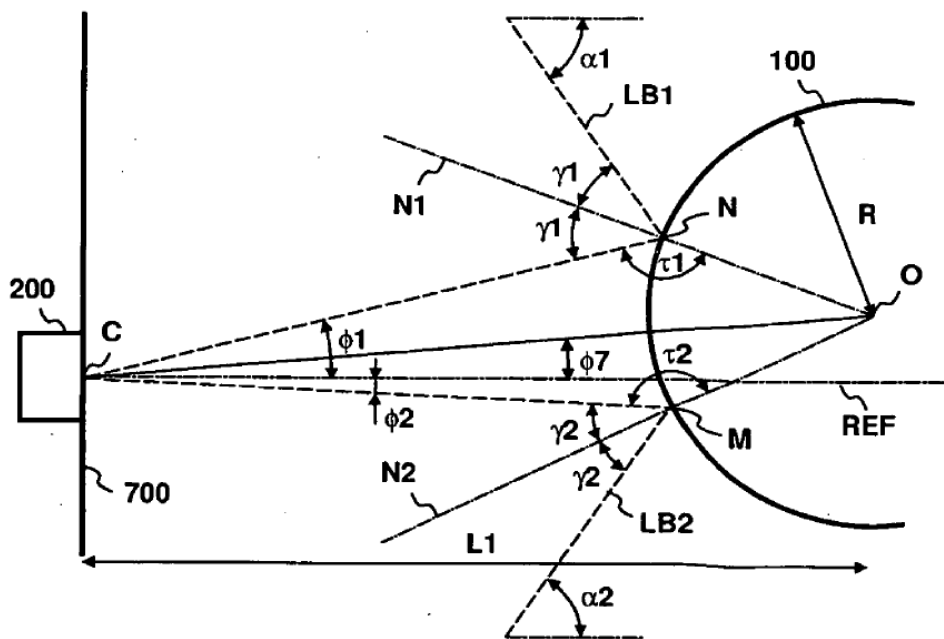
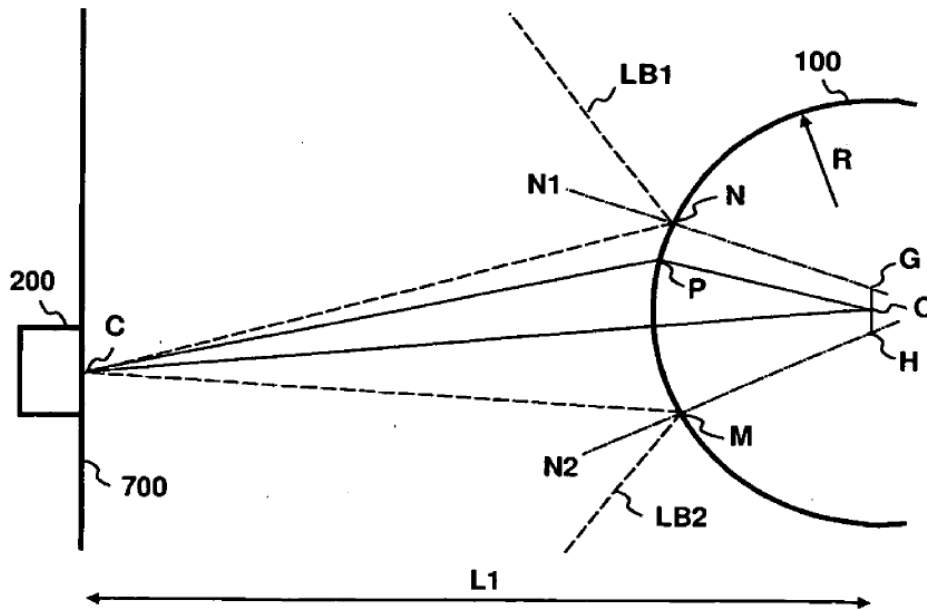
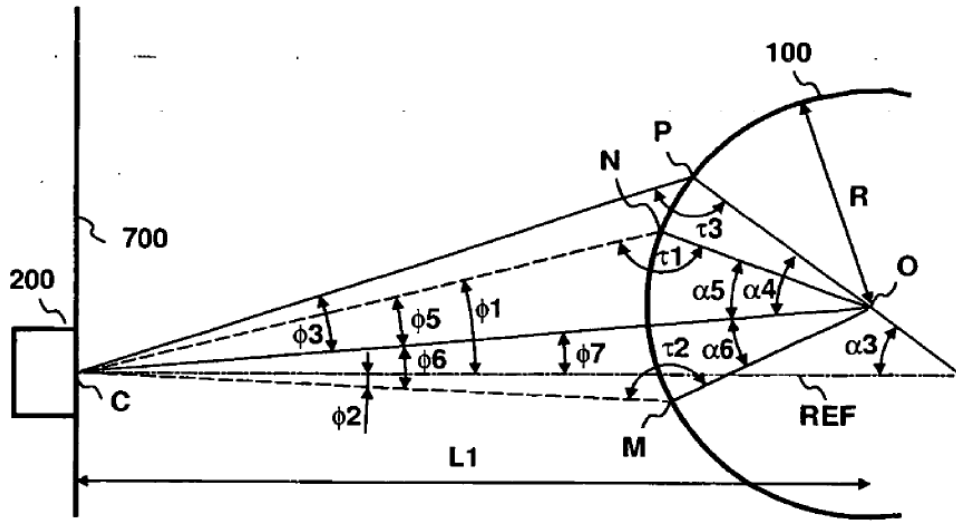


Fig 6



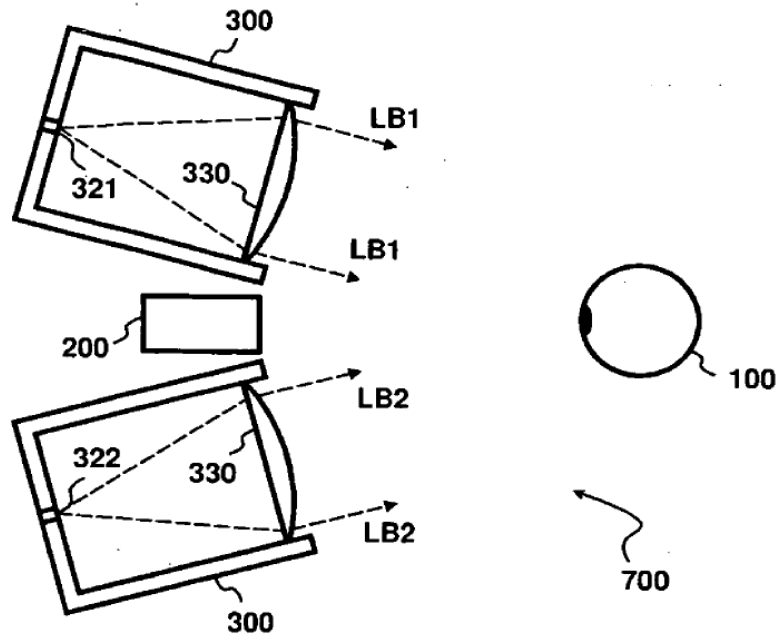


Fig 9

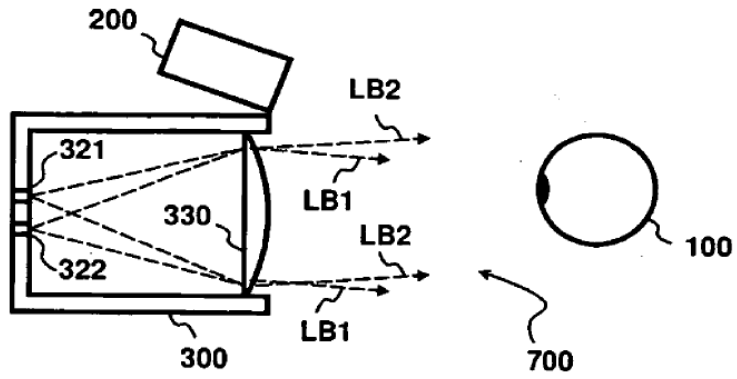


Fig 10

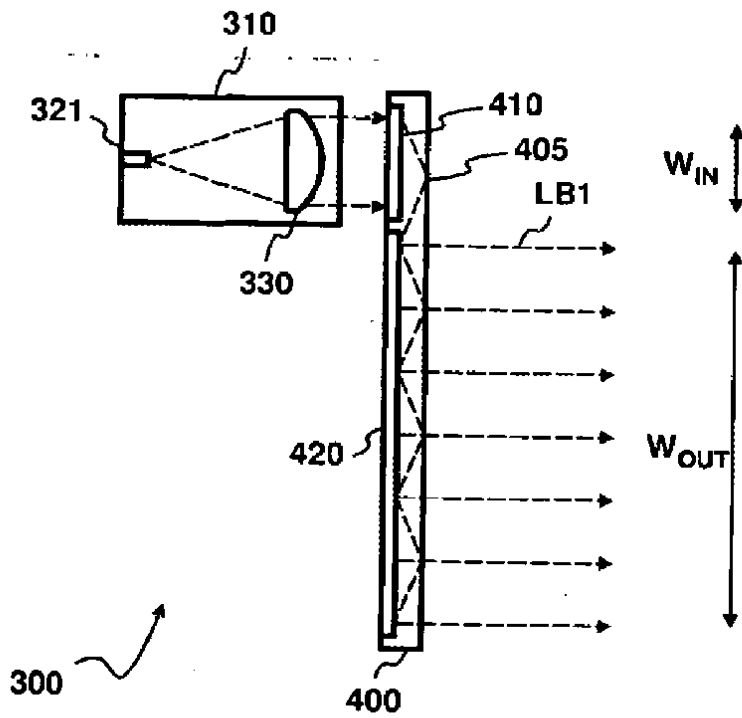


Fig 11

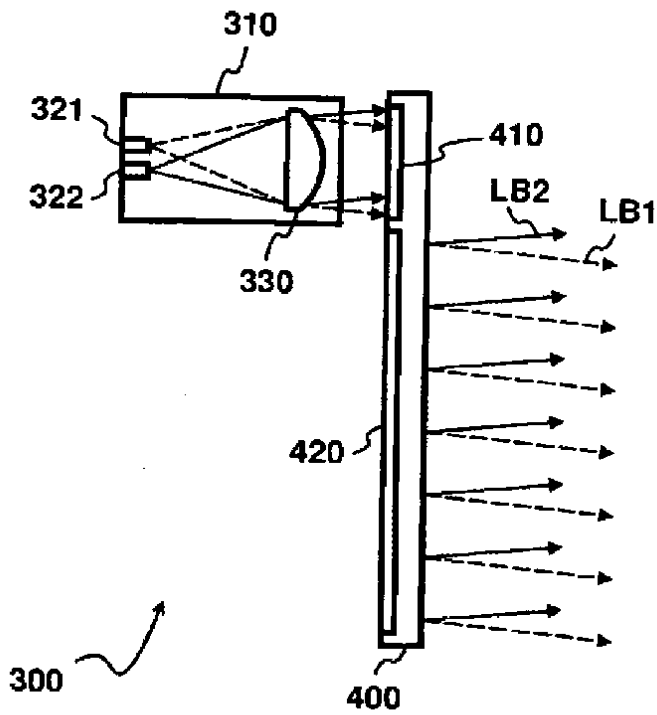


Fig 12

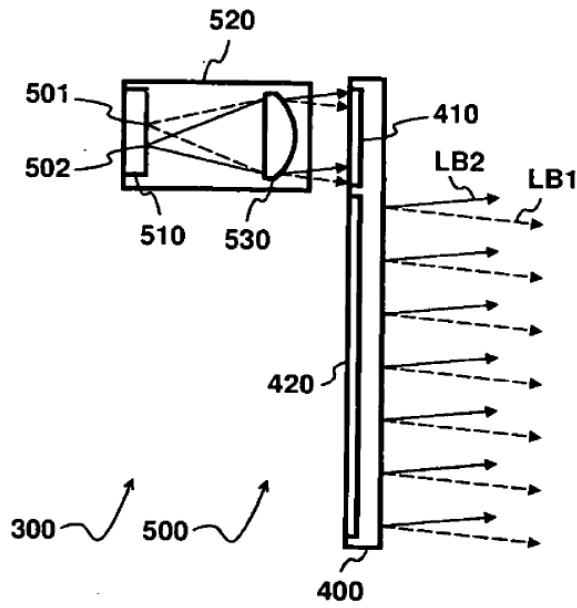


Fig 13

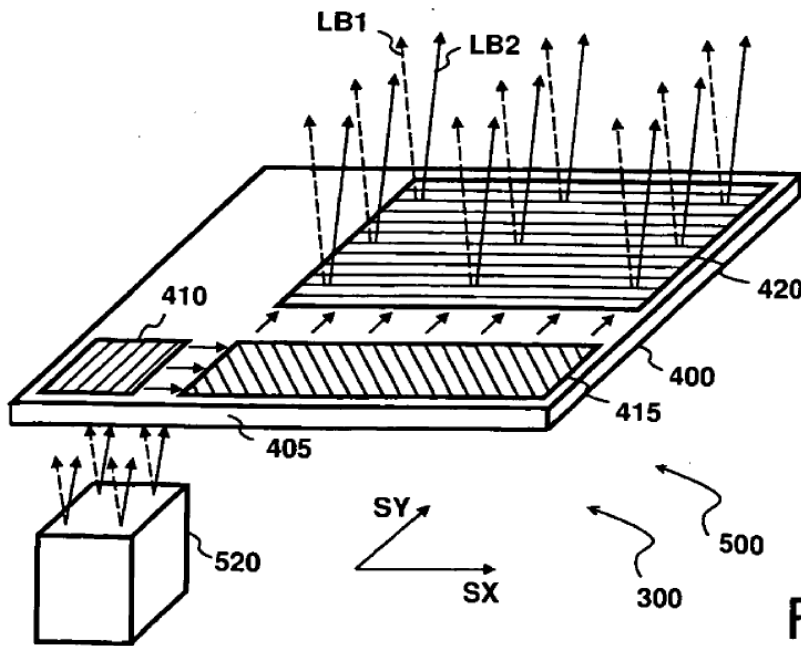
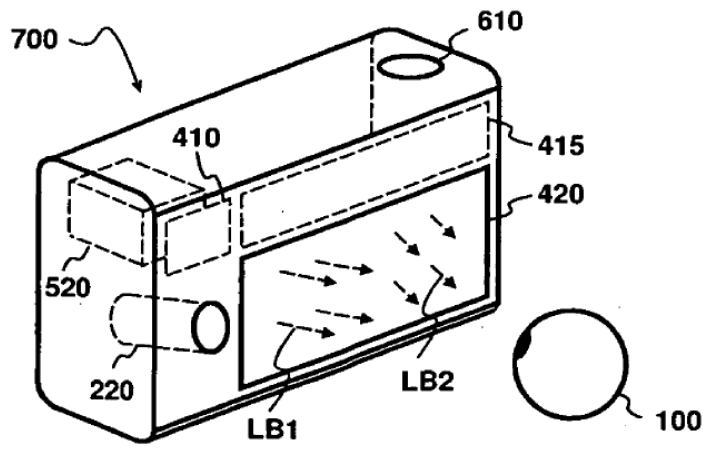
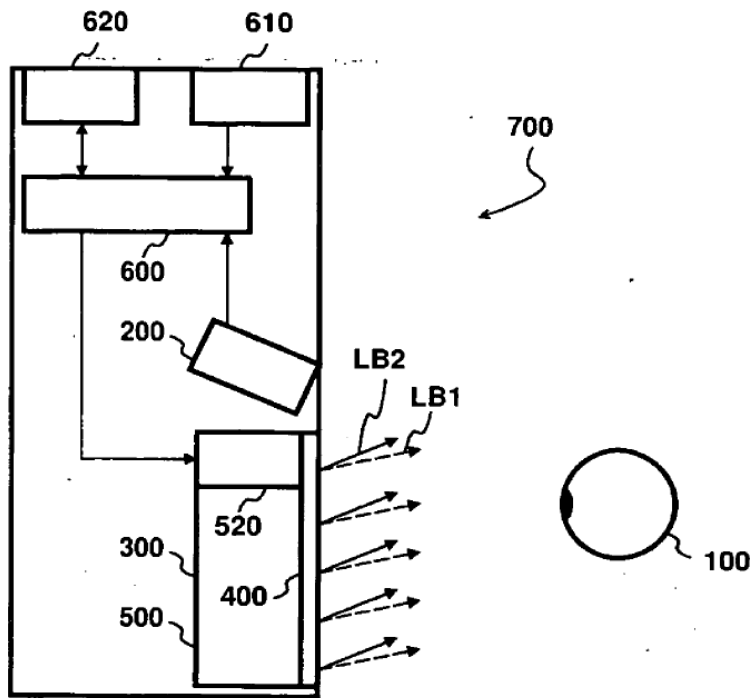
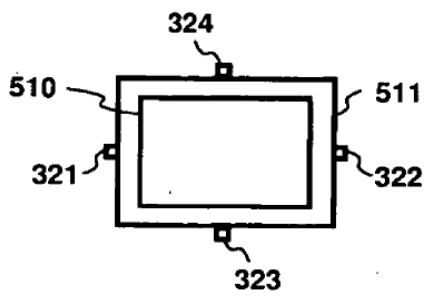
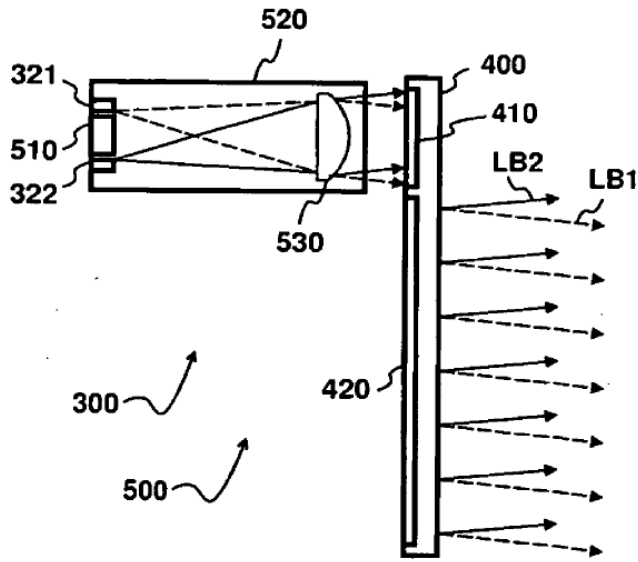
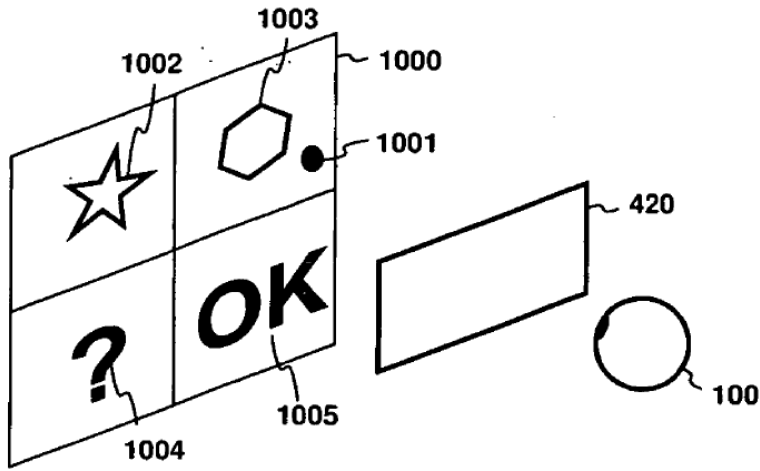


Fig 14





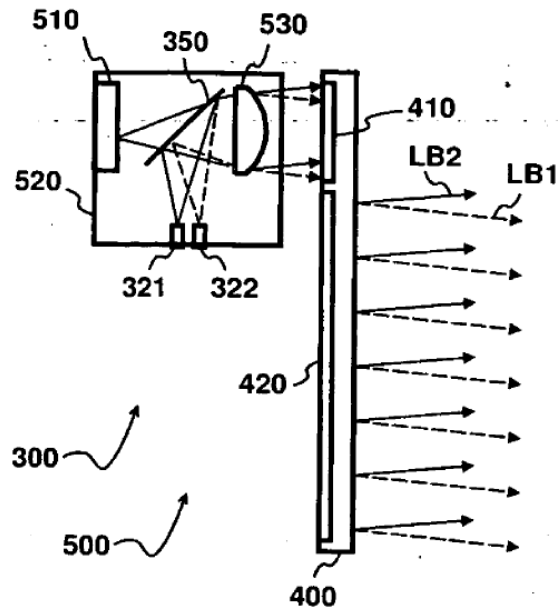


Fig 20

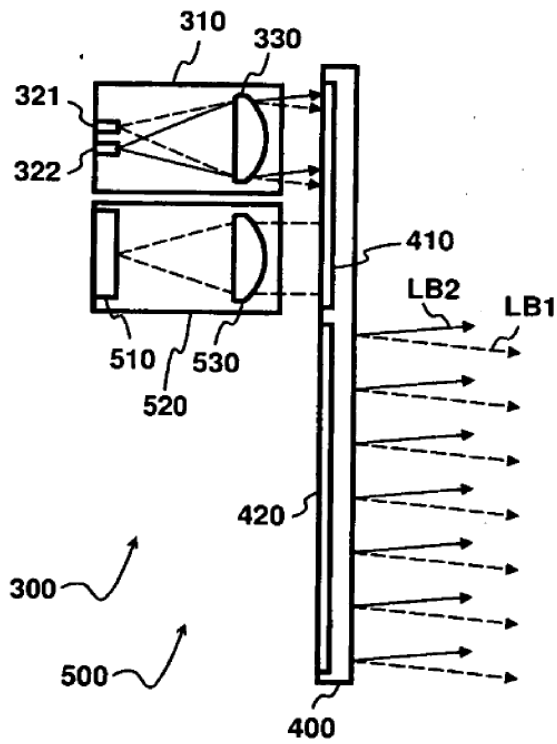


Fig 21

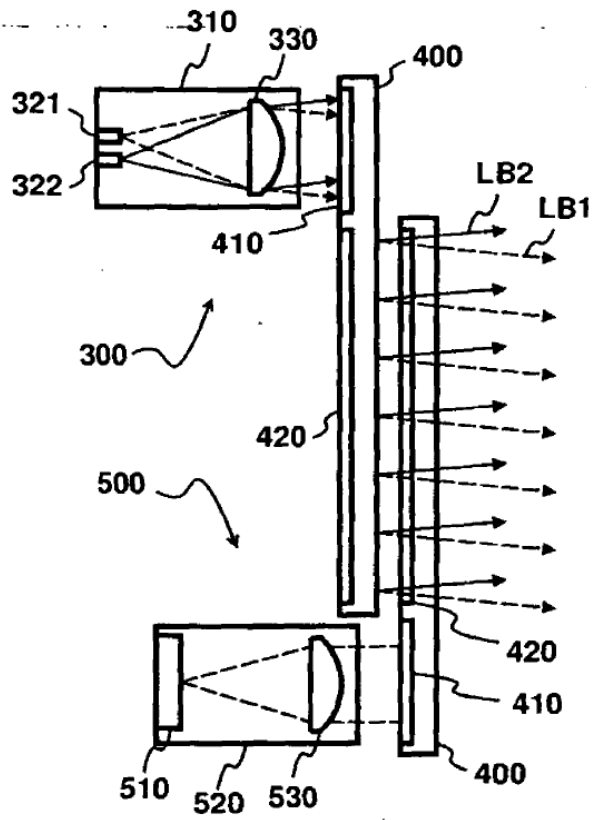


Fig 22

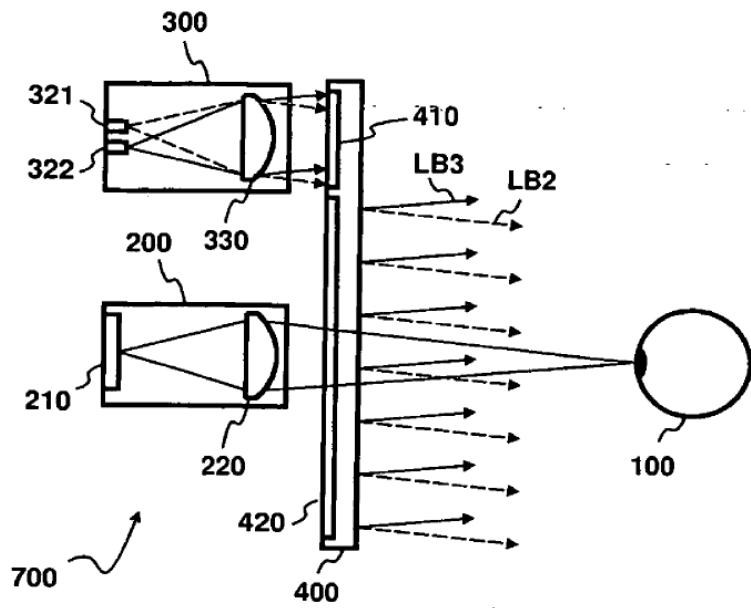


Fig 23

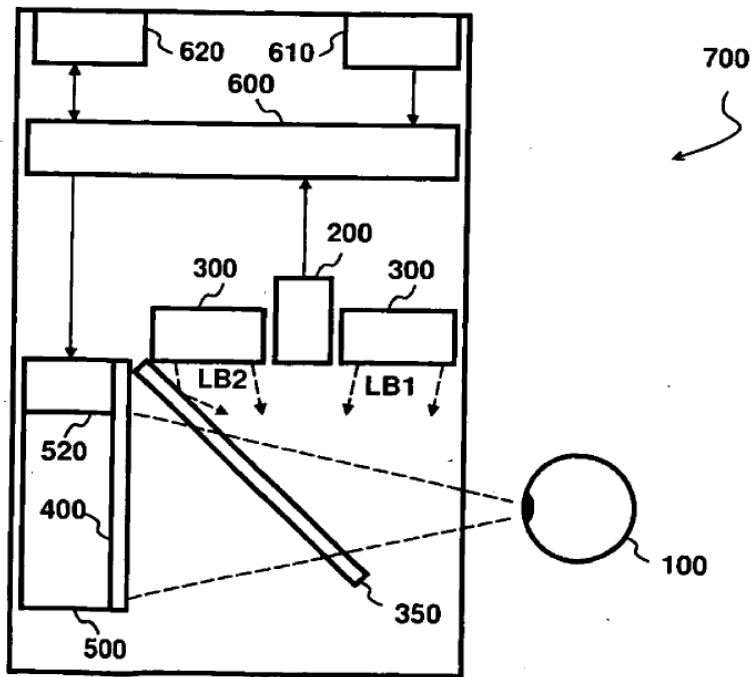


Fig 24

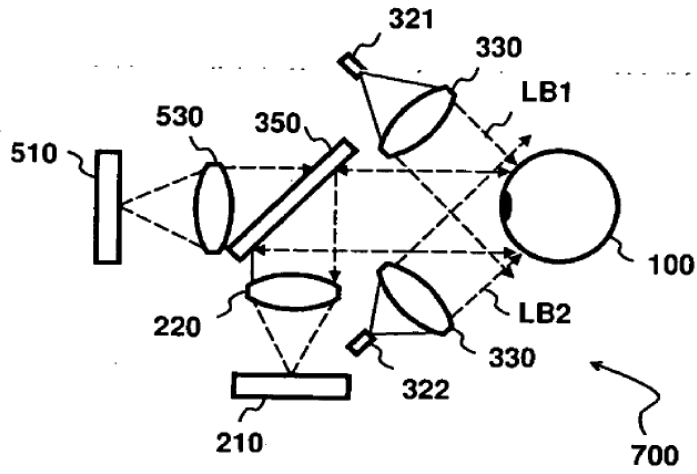


Fig 25

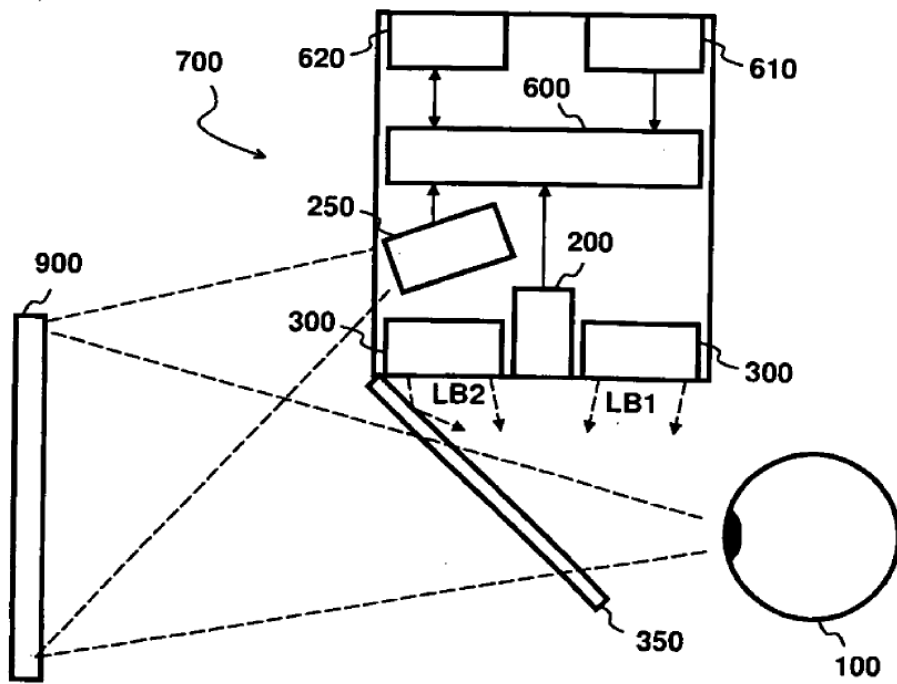


Fig 26

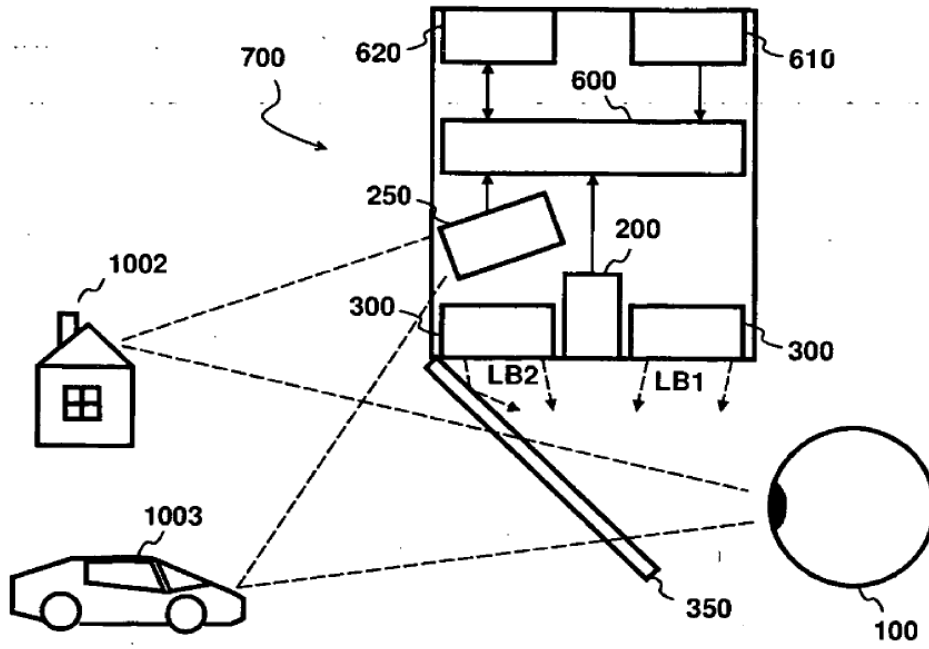


Fig 27

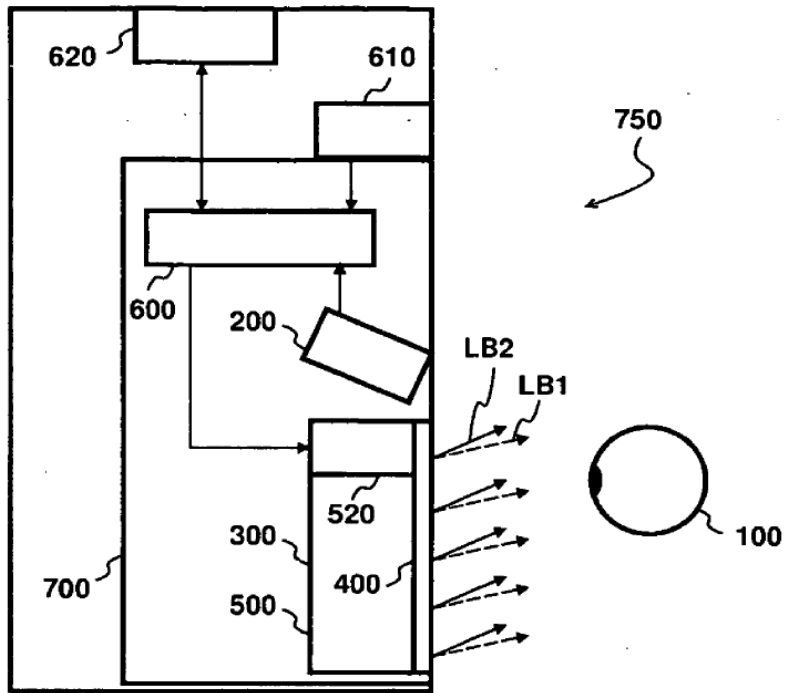


Fig 28

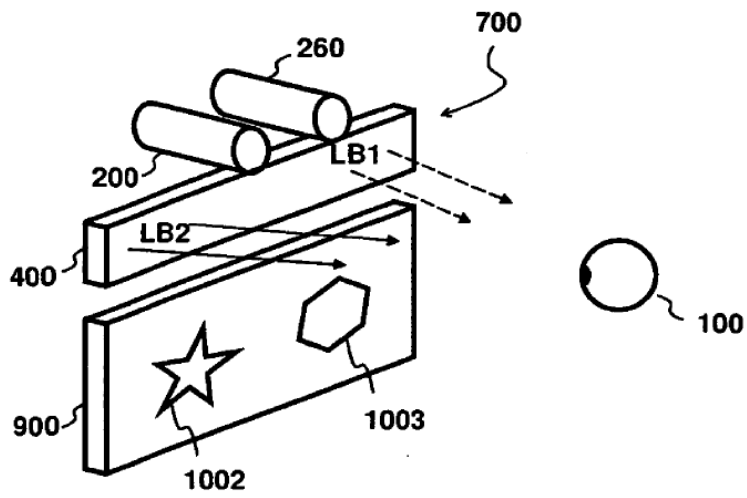


Fig 29