

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 553 441**

51 Int. Cl.:

A61B 3/113

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.07.2013** **E 13735379 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2015** **EP 2734102**

54 Título: **Detección de estrabismo**

30 Prioridad:

06.07.2012 GB 201212093
12.04.2013 GB 201306713

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.12.2015

73 Titular/es:

IRISS MEDICAL TECHNOLOGIES LIMITED
(100.0%)
Acre House, 11/15 William Road
London NW1 3ER, GB

72 Inventor/es:

MAOR, RON URIEL;
BARNARD, NIGEL ANDREW SIMON y
YASHIV, YUVAL

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 553 441 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

Detección de estrabismo

5 Campo técnico

La invención se refiere a un método, aparato y sistema para detectar estrabismo en una imagen de los ojos de un sujeto.

10 Antecedentes

La detección del estrabismo en sujetos se realiza normalmente de forma manual. En tales circunstancias, un médico experimentado evalúa los ojos de un sujeto usando la "prueba de Hirschberg", que es una prueba bien establecida, aunque aproximada, para comprobar si las pupilas de los ojos son simétricas cuando están enfocadas y fijadas sobre una diana colocada directamente delante de las mismas.

En general, la prueba de Hirschberg se realiza haciendo brillar una luz en los ojos de un sujeto desde una fuente de luz situada directamente delante de los ojos, haciendo que el paciente enfoque sobre la luz o un objeto justo al lado de la misma, y viendo si la distancia entre la reflexión de la luz y el centro de la pupila parece de la misma magnitud y dirección en ambos ojos.

Las pequeñas diferencias en cada uno de los ojos en un sujeto son difíciles de determinar manualmente y, por tanto, es fácil equivocarse, incluso para los médicos experimentados. Normalmente, las diferencias con un valor cualquiera menor de aproximadamente 1 mm son demasiado pequeñas para verlas de forma fiable. Las dificultades con la prueba empeoran cuando el sujeto es un niño pequeño, puesto que es difícil conseguir que un niño se fije y enfoque sobre una diana durante un tiempo lo suficientemente largo como para evaluar cada ojo. Por lo tanto, la decisión de si los ojos son simétricos a menudo se hace rápidamente y sin información completa. También es una prueba que requiere una habilidad considerable, motivo por el cual es poco práctica para muchos escenarios de prueba, tal como realizar la prueba en todos los niños preescolarizados en una zona dada.

El documento US 2009/153799 desvela un equipo de revisión de la vista que comprende un dispositivo de captura de imágenes, una luz de prueba y un dispositivo para captar la atención para animar a una persona a mirar hacia el dispositivo de captura de imagen. La luz de prueba se sitúa cerca de la cámara a una distancia fuera del eje suficiente para producir foto-refracción. Se desvela la determinación de un índice de estrabismo y comprende determinar las diferencias entre las desviaciones horizontal y vertical desde un centro de una reflexión instantánea y un centro de una pupila para cada ojo representado por un reflejo retinal y convertir los valores de desviación en un valor de índice de estrabismo.

40 Sumario

En un primer aspecto de acuerdo con la invención, se proporciona un método para procesar al menos una imagen para detectar estrabismo. La al menos una imagen se ha obtenido usando un aparato que comprende una fuente de luz y una diana desviada de la fuente de luz. Para cada uno de los ojos izquierdo y derecho del sujeto, se determina una distancia de desviación de reflexión, que es una distancia entre un punto de referencia del ojo y una reflexión de una fuente de luz en el ojo. Se determina una diferencia entre la distancia de desviación de reflexión y una distancia de desviación de reflexión de referencia para el ojo izquierdo o derecho correspondiente. La distancia de desviación de reflexión de referencia se ha determinado basándose en las posiciones relativas de la fuente de luz, la diana y la cabeza del sujeto. Se determina si la diferencia es menor que un valor umbral de diferencia.

Opcionalmente, la imagen se ha obtenido usando un aparato en el que la fuente de luz y la diana están situados en un plano del dispositivo perpendicular a un eje que define la dirección en la que está mirando el sujeto.

Opcionalmente, la imagen se ha obtenido usando un aparato en el cual una de la fuente de luz y la diana están situadas delante del sujeto en el eje que define la dirección en la que está mirando el sujeto, de manera que la diana, la fuente de luz y la cabeza del sujeto forman un triángulo rectángulo.

Opcionalmente, la imagen se ha obtenido usando un aparato en el cual la fuente de luz está situada en el eje que define la dirección en la que está mirando el sujeto.

Opcionalmente, el método comprende además obtener la imagen.

Opcionalmente, la diana comprende un objeto para llamar la atención y obtener la imagen comprende hacer operar el objeto para llamar la atención para atraer la atención de un sujeto de manera que los ojos del sujeto se fijen sobre la diana.

Opcionalmente, la imagen puede obtenerse mientras el objeto para llamar la atención está operativo.

Opcionalmente, el objeto para llamar la atención comprende uno o más de una luz, una luz parpadeante y un medio para generar un sonido.

Opcionalmente, el método comprende además dar instrucciones al sujeto para fijar sus ojos sobre la diana.

Opcionalmente, la distancia de desviación de reflexión de referencia se ha determinado basándose en una distancia desde la fuente de luz hasta la diana y una distancia desde la fuente de luz hasta la diana respecto a la cabeza del sujeto.

Opcionalmente, la distancia de desviación de reflexión de referencia se ha determinado basándose en la distancia desde el plano del dispositivo hasta la cabeza del sujeto a lo largo del eje que define la dirección en la que está mirando el sujeto.

Opcionalmente, el método comprende además determinar la distancia de desviación de reflexión de referencia.

Opcionalmente, el punto de referencia del ojo comprende el centro de la pupila del ojo.

Opcionalmente, el método comprende además determinar que no está presente estrabismo en la imagen de los ojos del sujeto si la diferencia es menor que el umbral de diferencia.

Opcionalmente, la al menos una imagen comprende una pluralidad de imágenes, y cada una de la pluralidad de imágenes se ha obtenido con una diana en una localización diferente respecto a la fuente de luz.

Opcionalmente, la pluralidad de imágenes se ha obtenido con la diana en una pluralidad de localizaciones separadas angularmente respecto a la fuente de luz.

Opcionalmente, la pluralidad de localizaciones separadas angularmente está separada angularmente de forma equitativa.

Opcionalmente, el método comprende además determinar si el número de imágenes en el que la diferencia es menor que el valor umbral de diferencia es mayor que un valor umbral de la imagen.

Opcionalmente, el método comprende además, si el número de imágenes es mayor que el valor umbral de la imagen, determinar que el sujeto no tiene un bizqueo concomitante.

Opcionalmente, el valor umbral de diferencia es un valor umbral inferior y el método comprende además, si la diferencia es mayor que el valor umbral inferior, determinar si la diferencia es mayor que un valor umbral superior.

Opcionalmente, el método comprende además determinar que el sujeto no está mirando a la diana si la diferencia es mayor que el umbral superior.

En un segundo aspecto de acuerdo con la invención, se proporciona un producto de programa informático que comprende un código de programa formativo configurado, cuando se ejecuta en un ordenador, para realizar el método descrito en este documento.

En un tercer aspecto de acuerdo con la invención, se proporciona un sistema que comprende un procesador configurado para llevar a cabo el método descrito en este documento.

Opcionalmente, el sistema comprende además una cámara y una fuente de luz, cada una de ellas en comunicación eléctrica con el procesador, en el que la cámara está configurada para obtener imagen mientras la fuente de luz está emitiendo luz.

En un cuarto aspecto de acuerdo con la invención, se proporciona un sistema para procesar al menos una imagen para detectar estrabismo, comprendiendo el sistema: una cámara; una fuente de luz; una diana desviada de la fuente de luz; y un procesador en comunicación eléctrica con la cámara y la fuente de luz, en el que la cámara está configurada para capturar una imagen mientras la fuente de luz está emitiendo luz y en el que el procesador está configurado para llevar a cabo el método descrito en este documento.

En un quinto aspecto de acuerdo con la invención, se proporciona un kit de partes que comprende: un aparato como se describe en este documento; y una diana.

En un sexto aspecto de acuerdo con la invención, se proporciona un dispositivo para procesar al menos una imagen para detectar estrabismo, obteniéndose la imagen usando un aparato que comprende una fuente de luz y una diana desviada de la fuente de luz, comprendiendo el dispositivo: un interfaz de entrada configurada para recibir datos de

imagen desde una cámara; una memoria para almacenar los datos de imagen recibidos desde la cámara; y un procesador configurado para procesar los datos de imagen, para cada uno de los ojos izquierdo y derecho del sujeto, determinando, en los datos de imagen, una distancia de desviación de reflexión, que es la distancia entre un punto de referencia del ojo y una reflexión de una fuente de luz del ojo, determinando una diferencia entre la distancia de desviación de reflexión y una distancia de desviación de reflexión de referencia para el ojo izquierdo o derecho correspondiente, en el que la distancia de desviación de reflexión de referencia se ha determinado basándose en una posición relativa de la fuente de luz, la diana y la cabeza del sujeto, y determinando si la diferencia es menor que un valor umbral de diferencia.

Opcionalmente, el dispositivo comprende además una cámara configurada para obtener los datos de imagen y transmitir los datos de imagen a la interfaz de entrada.

Opcionalmente, el dispositivo comprende además una fuente de luz, en la que la cámara está configurada para obtener los datos de imagen mientras la fuente de luz está emitiendo luz.

Opcionalmente, el dispositivo comprende además una pantalla configurada para mostrar a un usuario información relacionada con si el sujeto que tiene estrabismo o no.

Breve descripción de los dibujos

Se describirán ahora realizaciones ejemplares de la invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1A es una representación esquemática de un sistema para detectar estrabismo en un sujeto;

la Figura 1B es una representación esquemática en bloques de un sistema para detectar estrabismo en un sujeto;

la Figura 2 es un esquema de una distribución de un sistema para detectar estrabismo en un sujeto;

la Figura 3 es un esquema ampliado del ojo izquierdo de la Figura 2;

la Figura 4 es un diagrama de flujo que muestra un método para detectar estrabismo en un sujeto; y

la Figura 5 es un sistema para detectar estrabismo en un sujeto.

Descripción

En general, se desvela en este documento un método, aparato y sistema para detectar estrabismo en una imagen de los ojos de un sujeto, capturándose la imagen mediante una cámara usando una fuente de luz y una diana que está desviada de la fuente de luz. La diana desviada proporciona un punto focal para un sujeto, al que se le pueden dar instrucciones (o al que se atrae mediante una luz y/o un sonido) para mirar a la diana cuando se captura una imagen. Mediante el conocimiento de la posición relativa del sujeto, la fuente de luz y la diana, pueden determinarse datos de referencia que pueden compararse con datos determinados a partir de la imagen capturada para detectar estrabismo.

Durante una prueba de Hirschberg manual, un sujeto enfoca la vista sobre una fuente de luz localizada directamente delante de él y un médico evalúa la separación relativa entre la reflexión de la fuente de luz y el centro de la pupila en cada ojo. Este proceso puede automatizarse capturando una imagen y realizando técnicas de procesamiento de formación de imágenes. Los inventores han apreciado que existe un problema con este tipo de detección de estrabismo si un sujeto relaja sus ojos durante la prueba. Los sujetos, en particular niños, normalmente no fijan ni enfocan sobre una localización dada durante largos periodos, por lo que, cuando se está realizando la prueba, sus ojos a menudo se relajan y "posan la mirada en una distancia intermedia". Si se está realizando una prueba de Hirschberg en un sistema automatizado, sin un médico experimentado, esto provoca el problema de que el sistema automatizado es incapaz de distinguir entre los ojos enfocados y fijados en una localización correcta y los ojos que están relajados. Cuando la acomodación (enfoque) de un sujeto se relaja, puede no verse un estrabismo que de lo contrario sería evidente. Adicionalmente, cuando los ojos de un sujeto no se fijan, caen a una posición que mira directamente hacia el frente. Por lo tanto, usando una prueba de Hirschberg típica, si un sujeto relaja sus ojos por ejemplo cuando está "soñando despierto" puede parecer que está mirando directamente hacia delante y no tener estrabismo, lo que conduce a un mayor número de falsos negativos resultantes de esta prueba.

La Figura 1A muestra esquemáticamente un sistema 100 para detectar estrabismo. El sistema 100 comprende una fuente de luz y una diana 104. La fuente de luz 102, por ejemplo, puede ser un flash usado en un conjunto de cámara. En el sistema ejemplar 100 de la Figura 1A, la fuente de luz 102 está directamente delante de la cabeza del sujeto 106. Es decir, la cabeza del sujeto 106 está orientada hacia la fuente de luz 102 para definir un eje 108. El eje 108 se extiende a través del centro de la cabeza del sujeto en una dirección hacia delante desde la cara del sujeto y pasa a través del centro de la fuente de luz 102.

La diana 104 está desviada de la fuente de luz 102 en una dirección perpendicular al eje 108 por una distancia 110. En los sistemas ejemplares, la diana puede estar desviada de la fuente de luz por una distancia en el intervalo de 5 cm a 10 cm.

Los inventores han apreciado que el problema definido anteriormente puede resolverse si el sujeto enfoca sobre la diana desviada durante la prueba. En el sistema 100 de la Figura 1A, la cabeza del sujeto 106 permanece alineada con el eje 108, mientras los ojos del sujeto se hacen girar a una línea de visión mostrada mediante la línea discontinua 112. De esta manera, el problema de relajación de los ojos de un sujeto se supera puesto que los ojos relajados siempre caen en una posición que mira directamente hacia delante, que será inmediatamente obvia durante la prueba. Es decir, si el sujeto empieza a soñar despierto, sus ojos se relajarán y mirarán a lo largo del eje 108.

El sistema incluye también una cámara (114 en la Figura 1 B) que puede estar colocada con la fuente de luz 102 y un procesador (122 en la Figura 1B). La cámara puede estar localizada alternativamente en otras posiciones en otros sistemas ejemplares. Además, se observa que en otros sistemas ejemplares, la cabeza del sujeto puede estar mirando hacia la diana y los ojos pueden girar para enfocar sobre una fuente de luz. De hecho, en sistemas alternativos, la cabeza de un sujeto, una fuente de luz, una diana y una cámara pueden tener cualquier posición relativa siempre y cuando estas posiciones relativas sean conocidas o se hayan medido, y puedan definirse por una o más distancias y/o ángulos.

En la Figura 1 B se muestra un esquema de bloques del sistema 100. La fuente de luz 102, la diana 104 y la cámara 114 están en comunicación eléctrica con un dispositivo 116. Más específicamente, la fuente de luz 102, la diana 104 y una cámara 114 están en comunicación eléctrica con una interfaz de entrada 118 del dispositivo 116. La diana 104 se muestra en la Figura 1 B en comunicación eléctrica con el dispositivo 116 mediante la interfaz de entrada 118 puesto que la diana puede transmitir y recibir datos hacia y desde el dispositivo 116. Por ejemplo, la diana 104 puede proporcionar un elemento para llamar la atención, tal como una luz parpadeante, o una imagen o un sonido, para alentar a un sujeto a enfocar sobre la diana, pudiendo el elemento para llamar la atención estar controlado por el dispositivo 116. Además, la diana 104 puede incluir uno o más sensores configurados para recoger datos y transmitir esos datos al dispositivo 116. Sin embargo, se observa que no se requiere que la diana 104 esté en comunicación eléctrica con el dispositivo 116 y puede ser cualquier objeto desviado de la fuente de luz 102.

El dispositivo 116 comprende también una memoria 120 para almacenar datos recibidos desde la fuente de luz 102, la diana 104 o la cámara 114. Para ello, la memoria 120 está en comunicación eléctrica con la interfaz de entrada 118.

El dispositivo 116 comprende también un procesador 122 para procesar los datos almacenados en la memoria 120. En particular, el procesador 122 está configurado para procesar datos de imagen recibidos desde la cámara 114 y almacenados en la memoria 120. La operación del procesador 122 al procesar los datos de imagen se analiza con mayor detalle más adelante.

El dispositivo comprende también una pantalla 124 para mostrar información a un usuario del dispositivo 116. La pantalla 124 puede estar configurada, por ejemplo, para mostrar los resultados de una prueba para determinar si un sujeto tiene estrabismo, como se expone más adelante. En ciertas realizaciones, la pantalla 124 puede estar configurada también para recibir entradas desde un usuario a través de una superficie táctil. Otros dispositivos pueden permitir entradas de un usuario a través de otros medios, tales como un teclado.

Las comunicaciones eléctricas se muestran como enlaces físicos en la Figura 1 B, pero se observa que las comunicaciones eléctricas pueden proporcionarse por otros medios, tales como un sistema de comunicaciones inalámbrico o una red.

En el sistema ejemplar descrito en este documento, la fuente de luz 102 se coloca con la cámara 114 en un único dispositivo 116. Además, el procesador 122 se coloca con la fuente de luz 102 y la cámara 114 en el mismo dispositivo 116. El dispositivo 116 puede ser una cámara, un teléfono inteligente, una PDA, un portátil, un oftalmoscopio o cualquier otro dispositivo capaz de capturar imágenes y comprenda capacidad de procesador. Sin embargo, se observa que, en otros sistemas ejemplares, cada uno de la fuente de luz 102, la cámara 114 y el procesador 122 pueden estar localizados en dispositivos diferentes. En un sistema ejemplar particular, la fuente de luz 102 y la cámara 114 pueden estar incluidas en un único dispositivo, configurado además para almacenar las imágenes capturadas. Las imágenes capturadas pueden transferirse después a un dispositivo diferente que comprende un procesador, que está configurado para procesar las imágenes capturadas como se desvela en este documento.

La Figura 2 muestra un sistema ejemplar 100 para detectar estrabismo. El sistema comprende un dispositivo 200 que comprende la cámara 114, la fuente de luz 102 y el procesador 122. La diana 104 está desviada del dispositivo 200 por la distancia d_{11} 110. El dispositivo 200 y la diana 104 están localizados cada uno en un plano del dispositivo definido por la línea discontinua 202, que es perpendicular al eje 108 y paralela a un plano de orientación definido por la línea discontinua 204. El plano de la cara 204 es el plano definido por la cara del sujeto, mostrado

esquemáticamente en la Figura 2, que atraviesa la parte delantera de un ojo derecho 206 y un ojo izquierdo 208 de un sujeto.

El ojo derecho 206 y el ojo izquierdo 208 están separados por una distancia, d_{ojos} , 210. El dispositivo 200, y más específicamente la fuente de luz 102 y la cámara 114 están centradas en el ojo derecho 206 y el ojo izquierdo 208 y situadas a una distancia d_{d-f} 212 alejada del plano 204. En la práctica, la distancia, d_{d-f} , 212 puede no estar definida con tanta precisión como se describe en la Figura 2 y, por ejemplo, puede medirse, simplemente como la distancia desde la fuente de luz hasta la cabeza del sujeto. Sin embargo, la distancia, d_{d-f} , 212 normalmente está en intervalo de 0,5 metros a 3 metros y, por lo tanto, las imprecisiones en la medición de la distancia, d_{d-f} , 212 no afectarán en gran medida a la determinación de la desviación de reflexión de referencia (descrita más adelante). En otras realizaciones ejemplares, la distancia d_{d-f} 212 puede medirse por la cámara 114.

La fuente de luz 102 está configurada para emitir luz hacia los ojos 206, 208 a lo largo de las líneas 214 y 216. Esto da como resultado las reflexiones de la fuente de luz vistas en las posiciones 218, 220 en los ojos 206, 208, donde la luz emitida 214, 216 entra en contacto con los ojos 206, 208. La fuente de luz se refleja desde la córnea de los ojos 206, 208.

Los ojos 206, 208 ven la diana 104 usando la fovea 222, 224, la parte central de la mácula en la parte trasera de los ojos 206, 208. La fovea 222, 224 ve la diana 104 a través de las pupilas del ojo (mostrado en la Figura 3) a largo de unas líneas de visión 226, 228.

La Figura 3 muestra una vista esquemática ampliada del ojo izquierdo de la Figura 2. A las características correspondientes de la Figura 3 que también aparecen en la Figura 2 se les dan los mismos números de referencia.

Se define un ángulo, kappa, 300 entre la línea de visión 228 y una línea tomada desde la fovea 224 y el centro de la pupila 302. El ángulo kappa es un alguno conocido dentro del campo de la oftalmología y, por lo tanto, conocido para un experto en la materia. Normalmente, el ángulo kappa es de aproximadamente tres grados para la mayoría de sujetos. En los aparatos y métodos ejemplares desvelados en este documento, puede suponerse que el ángulo kappa es de tres grados, o algún otro valor promedio de kappa para una población particular. En otros aparatos y métodos ejemplares, el ángulo kappa puede haberse medido previamente para un sujeto y puede usarse ese valor medido. Además, puede definirse un ángulo alfa 304 en un centro 306 del ojo 208 entre un punto medio hipotético 308 del ojo 208 y el punto de reflexión de la fuente de luz 220. El ángulo alfa 304 se muestra también en la Figura 2 entre el eje 108 y la línea de visión 216. El ángulo alfa 304 mostrado en la Figura 2 tiene el mismo valor que el ángulo alfa 304 mostrado en la Figura 3, puesto que son ángulos correspondientes. El punto medio hipotético 308 del ojo 208 es el punto en el cual una línea tomada desde el punto central 306 y paralela al eje 108 interseca la superficie del ojo 208. Este punto medio hipotético 308 ayuda en el cálculo de los datos de referencia, como se expone a continuación.

Haciendo referencia a las Figuras 2 y 3, pueden determinarse datos de referencia que representan la distancia de desviación de reflexión esperada 310 en un ojo no estrábico. La distancia de desviación de reflexión 310 es la distancia entre el centro de la pupila 302 y la reflexión de la fuente de luz 220. Se expone a continuación un método ejemplar para calcular una distancia de desviación de reflexión de referencia 310 para el ojo izquierdo 208. Puede conseguirse un método similar para el ojo derecho 206.

El ángulo alfa 304 se determina mediante:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{d_{ojos}/2}{d_{d-f}} \right)$$

Esto supone que la distancia d_{d-f} es igual a la distancia desde el plano del dispositivo 202 hasta el centro 306 del ojo 208, que es una suposición segura si d_{d-f} es mucho mayor que el radio del ojo 208. La distancia en línea recta d_{r-m} , entre la reflexión de la fuente de luz 220 y el punto medio hipotético 308 se determina entonces mediante:

$$d_{r-m} = \tan(\alpha)r$$

donde r es el radio del ojo 208, es decir, la distancia desde el centro 306 hasta el punto medio hipotético 308.

Puede definirse un ángulo beta entre la línea de visión 228 y una línea recta paralela al eje 108 y que conecta la fovea izquierda 224 con el plano del dispositivo 202. Suponiendo que la fovea 224 está directamente detrás del centro 306 del ojo 208, que es una suposición segura si d_{d-f} es relativamente grande para r y el ángulo de la línea de visión es suficientemente pequeño, el ángulo beta puede determinarse mediante:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{d_{l-t} - \frac{d_{ojos}}{2}}{d_{d-f}} \right)$$

ahora, la distancia entre el punto medio hipotético 308 en la superficie del ojo 208 y el centro de la pupila 302 puede determinarse mediante:

$$d_{m-p} = \text{sen}(\beta + \kappa) d$$

donde d es el diámetro del ojo 208.

La distancia de desviación de reflexión de referencia se determina por tanto mediante:

$$d_{\text{desviación}} = d_{f-m} + d_{m-p}$$

Lo anterior describe un método ejemplar para determinar la desviación de reflexión de referencia. Se observa que pueden emplearse otros muchos métodos usando funciones trigonométricas básicas. El método descrito anteriormente hace ciertas suposiciones, que mejoran la velocidad sin tener un impacto significativo sobre el valor de desviación de reflexión de referencia determinado. Las suposiciones están basadas en el hecho de que la distancia, d_{d-f} , 212 es mucho mayor que la distancia en el área de la cara del sujeto, por ejemplo el radio del ojo, y que los ángulos de las líneas de visión 226, 228 para el eje 108 son pequeños. Sin embargo, pueden usarse métodos más precisos para determinar la desviación de reflexión de referencia si tales suposiciones fueran inseguras, es decir, si la magnitud relativa de la distancia d_{d-f} 212 y las distancias en el área de la cara del sujeto, por ejemplo el radio del ojo, y los ángulos de las líneas de visión 226, 228 respecto al eje 108, empiezan a afectar significativamente la precisión de la distancia de desviación de reflexión de referencia.

Cuando se realiza una prueba para detectar estrabismo, se dan instrucciones a un sujeto para que mire a la fuente de luz 102 y dirija sus ojos 206, 208 hacia y enfoque sobre la diana 104. Entonces se toma una imagen con la cámara 114.

Haciendo referencia a la Figura 4, se muestra un método ejemplar de procesamiento de la imagen para la detección de estrabismo.

Los datos de referencia, que pueden formar parte de una tabla de consulta, se proporcionan de manera que incluyen datos indicativos de los valores de píxel (por ejemplo intensidades y colores) asociados con diferentes características dentro de la cara del sujeto, y datos indicativos de valores de píxel asociados con diferentes características dentro de la región del ojo del sujeto. Por ejemplo, los datos de referencia pueden incluir intervalos para valores RGB típicos para diversos tipos de piel, intervalos para valores RGB típicos para píxeles de la esclerótica, intervalos para valores RGB típicos para píxeles de la pupila, etc.

Los datos de imagen se reciben 400 por el procesador 122 desde la memoria 120. El procesador 122 pre-procesa 402 los datos de imagen para determinar si comprende tanto el ojo izquierdo como el derecho 206, 208 del sujeto y determinar la localización de los ojos 206, 208. Para ello, el procesador 122 usa los datos de referencia descritos anteriormente para determinar si los píxeles de los datos de imagen comprenden píxeles relacionados con las regiones de ojo izquierdo y derecho del sujeto.

Una vez que se determina que los datos de imagen incluyen los ojos 206, 208 del sujeto, se determinan 404 las localizaciones precisas de las características del ojo. Para determinar las localizaciones precisas para las características del ojo, el procesador 122 reclasifica los píxeles dentro de los datos de imagen y procesa y analiza estos datos. Más específicamente, en un ejemplo no limitante de la invención, se usa el brillo relativo de los píxeles para determinar, para cada caso ojo 206, 208, valores precisos del parámetro para el centro de la reflexión de la fuente de luz 218, 220 y el centro de la pupila 302. En sistemas ejemplares, el procesador 122 está configurado para localizar el centro de reflexión de la fuente de luz 218, 220 y el centro de la pupila 302 para cada uno de los ojos izquierdo y derecho 206, 208.

Se determina una localización aproximada de cada uno de los ojos 206, 208 agrupando y contando píxeles adyacentes asociados con diferentes partes/características de cada región del ojo, por ejemplo, las zonas de la pupila y la esclerótica. Se calcula un centro ponderal de estos píxeles, que se toma como el centro aproximado del ojo 206, 208. Se define un rectángulo alrededor de cada centro ponderal que tiene una anchura cuatro veces mayor que su altura y que cubre un área cuatro veces el número de píxeles en cada región del ojo.

Los píxeles se reclasifican dentro del rectángulo usando una técnica de reclasificación basada en los valores RGB para píxeles de diferentes características en la región del ojo. Más específicamente, en cada región del ojo, se realiza un recuento de los píxeles mediante los valores RGB considerando que en una región del ojo típica hay píxeles relacionados con la esclerótica, que tienen valores de RGB de aproximadamente 200, 200, 200 y píxeles relacionados con las pestañas o la pupila, que tienen valores RGB de aproximadamente 30, 15, 15. Debe entenderse que estos valores, y valores similares mencionados más adelante, son ejemplos no limitativos de los datos de referencia.

Asimismo, se identifican los píxeles más brillantes dentro de cada rectángulo (región del ojo) de los ojos izquierdo y derecho 206, 208 para localizar la reflexión de la fuente de luz 218, 220. Estos píxeles pueden tener valores RGB de aproximadamente 254, 252, 250.

El procesador 122 cuenta el número de píxeles más brillantes que están relacionados con la reflexión de la fuente de luz 218, 220, y calcula los centros ponderales aproximados de las reflexiones de la fuente de luz 218, 220 en cada ojo. Después, se determina un radio aproximado de la reflexión de la fuente de luz 218, 220 (que es suficientemente grande para cubrir la reflexión de la fuente de luz 218, 220) como la raíz cuadrada del número de píxeles de reflexión de la fuente de luz y se define una región cuadrada limitante alrededor de cada reflexión de la fuente de luz 218, 220 que tiene lados dos veces el tamaño del radio.

Los valores aproximados de los parámetros de centro y radio de la reflexión de la fuente de luz 218, 220 se usan para llegar a valores más precisos de la siguiente manera.

Dentro de cada cuadrado limitado, los píxeles se reclasifican de acuerdo con los datos de referencia correspondientes alrededor de valores típicos de los píxeles de reflexión de la fuente de luz, teniendo los píxeles de límite de la reflexión de la fuente de luz normalmente valores intermedios entre muy brillante y muy oscuro, y otros píxeles. Se calcula un centro 218, 220 de la reflexión de la fuente de luz ponderal más preciso para cada ojo 206, 208 usando el brillo de los píxeles de reflexión de la fuente de luz por su peso. Cuando se calcula el centro ponderal, un píxel brillante cuenta como un píxel y un píxel del límite cuenta como menos que un píxel en proporción a cómo de brillante es. Por tanto, un píxel que está a medio camino entre totalmente brillante y totalmente oscuro se contará como medio píxel. El centro recién calculado en unidades de píxel puede ser un número entero o no.

Entonces, el centro de la zona de la pupila de cada ojo está localizado en una región rectangular. La reflexión de la fuente de luz 218, 220 se retira del rectángulo. Por lo tanto, el procesador 122 hace una copia de la región rectangular y procesa esa imagen copiada para retirar la reflexión de la fuente de luz 218, 220 de la misma y reemplazar los píxeles respectivos por píxeles relacionados con la pupila. Los píxeles asociados con el área cubierta por la reflexión de la fuente de luz 218, 220 se asignan ahora con valores RGB que son un promedio ponderal de otros píxeles de la parte del ojo cercana. A cada uno de los píxeles reemplazados se le asigna un valor de RGB del píxel más cercano fuera de la reflexión de la fuente de luz 218, 220, dando como resultado una sustitución aproximada de la reflexión de la fuente de luz 220 por las zonas de la pupila y el iris. Los píxeles de sustitución dentro de la reflexión de la fuente de luz retirada 218, 220 se reclasifican como correspondientes a la pupila, el iris, la esclerótica y otros (incluyendo piel, pestañas, etc.), como se ha indicado anteriormente, utilizando los datos de referencia correspondientes.

Más específicamente, los píxeles oscuros en cada región del ojo se clasifican como píxeles relacionados con la pupila que tienen valores RGB de aproximadamente 12, 12, 12 y se determina el número de estos píxeles. Después, se determina un centro ponderal de estos píxeles oscuros y se considera como un centro aproximado de la pupila. Un radio aproximado de la pupila, que es suficientemente grande para cubrir la zona de la pupila, se determina como la raíz cuadrada del número de píxeles asociados con la pupila y un cuadrado que tiene un lado de dos veces el radio se define como rodeando el centro aproximado.

Los píxeles en el cuadrado del límite se reclasifican como "píxeles de pupila" (normalmente muy oscuros), "píxeles del borde de la pupila" (normalmente tienen valores ligeramente más brillantes) y "otros píxeles". Se calcula un centro ponderal usando esta clasificación donde a los píxeles del borde de la pupila se les da un peso proporcional a su oscuridad. El resultado se considera un centro preciso de la pupila 302 para cada ojo, que puede ser o no un número entero en unidades de píxeles.

El centro de la pupila 302 de cada ojo se usa como un punto de referencia dentro del ojo para determinar 406, para cada ojo, la distancia de desviación de reflexión 310, es decir, la distancia entre la reflexión de la fuente de luz 218, 220 y el centro de la pupila 302. Se observa que pueden usarse otros puntos en la imagen como un punto de referencia para determinar la distancia de desviación de reflexión 310. Por ejemplo, puede usarse un reflejo retinal, que es una reflexión de la luz de la retina del ojo, como un punto de referencia para determinar la distancia de desviación de reflexión 310. Como se ha explicado anteriormente, una fuente de luz usada en los métodos y aparatos ejemplares puede emitir luz que tiene cualquier longitud de onda y esa luz, por tanto, puede usarse para generar un reflejo retinal. Por ejemplo, en los métodos y aparatos ejemplares específicos, el reflejo retinal puede generarse usando luz visible luz o luz infrarroja.

La distancia desviada de reflexión determinada 310 se compara con la distancia de desviación de reflexión de referencia descrita anteriormente para calcular una diferencia entre las dos 408.

Se determina entonces 410 si la diferencia es menor que un valor umbral de diferencia, que puede usarse para determinar si el sujeto tiene estrabismo. En particular, si la diferencia es menor que el umbral de diferencia, el sistema 100 determina que el sujeto no tiene estrabismo.

Los valores umbral de diferencia ejemplares pueden estar en el intervalo 0,07 mm a 0,13 mm. Un valor umbral de diferencia ejemplar particular es 0,1 mm.

El resultado de la determinación 410 se presenta al usuario a través de la pantalla 124.

Si se determina que la diferencia es mayor que el valor umbral de diferencia, esto puede indicar que el sujeto no está mirando a la diana, o que el sujeto es estrábico y está mirando a la diana. Por lo tanto, si la diferencia es mayor que el valor umbral de diferencia, el sistema 100 puede producir una indicación para el usuario de que se le debe realizar de nuevo la prueba.

Haciendo referencia a la Figura 5, se muestra una disposición de un sistema con la diana 104 en una pluralidad de localizaciones con respecto a la fuente de luz 102. En la Figura 5, se muestra una pluralidad de dianas 104a a 104h en diferentes localizaciones en el plano del dispositivo 202. Sin embargo, se observa que el sistema puede comprender solo una única diana 104 que puede moverse a cada una de las localizaciones diferentes. El plano del dispositivo 202 es paralelo a la hoja de papel en la que está dibujada la Figura 5.

En el sistema ejemplar de la Figura 5, ocho dianas 104a a 104h están situadas separadas de forma angular equitativamente con respecto a la fuente de luz 102. Además, la distancia desde la fuente de luz 102 a cada una de las dianas 104a a 104h es la misma. Como resultado, las dianas 104a a 104h están localizadas en la circunferencia de un círculo hipotético con la fuente de luz 102 en el centro. Se observa que sistemas ejemplares alternativos pueden tener otros números de dianas y/u otras disposiciones de dianas.

Cuando se determina si un sujeto tiene estrabismo usando el sistema de la Figura 5, se obtienen ocho imágenes y cada una se procesa como se ha desvelado anteriormente. En cada una de las ocho imágenes, un sujeto fija sus ojos en una de las dianas 104a a 104h diferentes. En el sistema ejemplar de la Figura 5, puede usarse la misma distancia de desviación de reflexión de referencia para cada imagen capturada puesto que la distancia entre la fuente de luz 102 y cada una de las dianas 104a a 104h es la misma. Como alternativa, puede determinarse una distancia de desviación de reflexión de referencia diferente para cada imagen.

En particular, puede requerirse la determinación de distancias de desviación de reflexión de referencia diferentes en sistemas en los que la distancia entre la fuente de luz 102 y cada una de las dianas 104a a 104h no son iguales. En tales casos, los principios de determinar la desviación de reflexión de referencia que se han descrito anteriormente se aplican para cada imagen cambiando los valores, según sea necesario.

El uso del sistema de la Figura 5 permite la detección de un bizqueo concomitante en una pluralidad de imágenes. Un bizqueo concomitante es uno en el que un ojo afectado tiene un bizqueo en cada dirección hacia la que mira el sujeto. Todos los músculos del ojo están trabajando apropiadamente y, por lo tanto, también se denomina bizqueo no parálítico. Con un bizqueo concomitante los ojos del sujeto siempre miran en direcciones diferentes. Como el sistema de la Figura 5 obtiene una pluralidad de imágenes, cada una con el sujeto mirando en una dirección diferente, puede determinarse la existencia de un bizqueo concomitante.

En los sistemas y métodos ejemplares, puede usarse un umbral de la imagen con lo que, si un número de imágenes en las cuales la diferencia es menor que el umbral de diferencia inferior es mayor que el umbral de imagen, se determina que el sujeto no tiene un bizqueo concomitante.

En el sistema ejemplar de la Figura 5, el umbral de la imagen puede ser cinco imágenes. En otros sistemas ejemplares, el umbral de la imagen puede ser mayor que el 50 % del número de imágenes capturadas.

Los sistemas y métodos ejemplares pueden comprender un umbral de diferencia inferior (definido anteriormente) y un valor umbral de diferencia superior, que es mayor que el valor umbral inferior mencionado anteriormente. El valor umbral superior es para determinar si un sujeto está mirando a la diana o no. Es decir, si la diferencia entre la distancia de desviación de reflexión determinada y la diferencia de desviación de reflexión de referencia es tan grande que es mayor que el umbral superior, eso indica que el sujeto no debe estar mirando a la diana. Por lo tanto, si la diferencia es mayor que el valor umbral superior, se dan instrucciones al usuario para que realice otra prueba como se ha descrito anteriormente y los resultados de la prueba actual se descartan.

En los sistemas ejemplares, el procesador 122 puede determinar la distancia de desviación de reflexión de referencia 310 basándose en las posiciones relativas de la fuente de luz 102, la diana 104 y el sujeto. Esta información puede proporcionarse mediante un usuario del sistema, que puede medir las distancias respectivas

entre la fuente de luz 102, la diana 104 y el sujeto e introducir estas distancias en el procesador. El procesador puede determinar entonces la distancia de desviación de reflexión de referencia 310 como parte del método de la Figura 4.

5 Sin embargo, se observa que una característica esencial de los sistemas y métodos desvelados en este documento que el procesador 122 determine la distancia de desviación de reflexión de referencia 310. En los sistemas y métodos ejemplares, pueden capturarse imágenes mientras que el sistema está dispuesto en una distribución predeterminada con respecto al sujeto. Es decir, la distancia entre la fuente de luz 102 y la diana 104 y la distancia
10 entre el plano de la cara 202 y el plano del dispositivo 204 puede predefinirse y el sistema 100 puede estar dispuesto de manera que se despliegue de la forma predefinida. En tales casos, la distancia de desviación de reflexión de referencia 310 puede calcularse por adelantado y suministrarse al procesador.

Los sistemas ejemplares pueden comprender un dispositivo que incluye una parte de cámara configurada para tomar fotografías junto con una fuente de luz, tal como un flash de la cámara y una diana de fijación, tal como una
15 luz LED parpadeante de colores. En los sistemas ejemplares, la diana de fijación no forma parte de la parte de cámara en sí misma, sino que está desviada hacia un lado por una distancia, normalmente en el intervalo de 5 a 10 cm. La parte de cámara puede ser equidistante de cada ojo, estando normalmente orientada hacia el paciente directamente.

20 Se observa que tomar una imagen de un sujeto no es una característica esencial de los sistemas y métodos desvelados en este documento. En los sistemas ejemplares, las imágenes pueden haberse tomado previamente y en localizaciones lejanas del procesador y pueden transmitirse al procesador para detectar el estrabismo.

Se observa que el término "cámara" abarca cualquier cámara o sensor configurado para detectar radiación
25 electromagnética en cualquier parte del espectro electromagnético. Por consiguiente, la cámara puede estar configurada para capturar imágenes usando radiación electromagnética en cualquier parte del espectro electromagnético. Por consiguiente, la cámara puede comprender uno o más sensores para detectar radiación electromagnética en cualquier parte del espectro electromagnético.

30 En los métodos y aparatos específicos desvelados en este documento, la cámara puede configurarse para capturar imágenes usando el espectro de luz que abarca luz infrarroja, luz visible y luz ultravioleta. Por consiguiente, la cámara puede comprender uno o más sensores para detectar una o más de radiación electromagnética infrarroja, radiación electromagnética visible y radiación electromagnética ultravioleta.

35 Además, una fuente de luz usada en los métodos y aparatos ejemplares puede estar configurada para emitir radiación electromagnética correspondiente a la radiación electromagnética detectada por la cámara. Si la cámara está configurada para capturar imágenes usando radiación electromagnética infrarroja, una fuente de luz puede configurarse para emitir radiación electromagnética infrarroja y análogamente para radiación electromagnética visible y radiación electromagnética ultravioleta. En los métodos y aparatos ejemplares, la fuente de luz 102 que está
40 desviada de la diana 104 puede estar configurada para emitir luz infrarroja. Como alternativa, la fuente de luz 102 puede estar configurada para emitir luz visible y el sistema 100 puede comprender una o más fuentes de luz adicionales que están configuradas para emitir luz infrarroja y/o ultravioleta. La una o más fuentes de luz adicionales pueden estar dispuestas para generar una reflexión retinal detectable por la cámara 114.

45 En otros aparatos y métodos ejemplares, la fuente de luz 102 puede estar configurada para emitir luz infrarroja continua y para generar un reflejo retinal y un reflejo corneal sobre el ojo de un sujeto. La cámara 114 puede funcionar para obtener una imagen infrarroja del ojo de un sujeto y el reflejo retinal y/o el reflejo corneal pueden usarse para determinar si la imagen es indicativa de estrabismo.

50 Ventajosamente, las imágenes infrarrojas desveladas en este documento pueden capturarse en condiciones de oscuridad, de manera que aumenta la dilatación de la pupila (y por tanto el reflejo retinal).

Como se usa en este documento, la expresión "radiación electromagnética infrarroja" abarca radiación electromagnética que tiene una frecuencia en un intervalo de 300 GHz a 400 THz (una longitud de onda en el
55 intervalo de 1 mm a 750 μm). Adicionalmente, la radiación infrarroja puede dividirse en tres subgrupos: infrarrojo lejano, que abarca radiación electromagnética que tiene una frecuencia de 300 GHz a 30 THz (una longitud en el intervalo de 1 mm a 10 μm); infrarrojo medio, que abarca radiación electromagnética que tiene una frecuencia en un intervalo de 30 THz a 120 THz (una longitud de onda en el intervalo de 10 μm a 2,5 μm); e infrarrojo cercano, que abarca radiación electromagnética que tiene una frecuencia en un intervalo de 120 THz a 400 THz (una longitud de
60 onda en el intervalo de 2,5 μm a 750 nm).

Como se usa en este documento, la expresión "radiación electromagnética visible" abarca toda la luz visible para el ojo humano, que incluye radiación electromagnética que tiene una frecuencia en un intervalo de 400 THz a 790 THz (una longitud de onda en el intervalo de 750 nm a 380 nm).

65

Como se usa en este documento, la expresión “radiación electromagnética ultravioleta” abarca radiación electromagnética que tiene una frecuencia en un intervalo de 30 PHz a 790 THz (una longitud de onda en el intervalo de 10 nm a 380 nm).

- 5 Se observa también que el término “imagen”, como se usa en este documento, abarca datos de video e incluso datos de imagen. Por consiguiente, los métodos y aparatos desvelados en este documento pueden implementarse usando datos de video y/o también datos de imagen de la cámara. Es decir, la cámara puede configurarse para capturar datos de video y/o incluso datos de imagen. Adicionalmente, pueden realizarse métodos sobre datos de video y/o incluso datos de imagen. Los datos de video e incluso los datos de imagen pueden capturarse usando
- 10 radiación electromagnética en cualquier parte del espectro electromagnético, como se ha expuesto anteriormente.

Además, se observa que los métodos y aparatos desvelados en este documento

- 15 La persona experta podrá concebir otras realizaciones de la invención sin alejarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas. En particular, aunque la invención se ha descrito con referencia a la determinación del estrabismo, se apreciará que puede ser posible aplicarla a otras afecciones del ojo.

REIVINDICACIONES

1. Un método para procesar al menos una imagen para detectar estrabismo, en el que la al menos una imagen se ha obtenido usando un aparato que comprende una fuente de luz y una diana desviada de la fuente de luz,
5 comprendiendo el método, para cada uno de los ojos izquierdo y derecho del sujeto:

determinar, a partir de la imagen, una distancia de desviación de reflexión, que es la distancia entre un punto de referencia del ojo y una reflexión de una fuente de luz en el ojo;
determinar una diferencia entre la distancia de desviación de reflexión y una distancia de desviación de reflexión
10 de referencia para el ojo izquierdo o derecho correspondientes, en donde la distancia de desviación de reflexión de referencia se ha determinado basándose en posiciones relativas de la fuente de luz, la diana y la cabeza del sujeto; y
determinar si la diferencia es menor que un valor de umbral de diferencia.
- 15 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la imagen se ha obtenido usando un aparato en el que una de la fuente de luz y la diana está situada delante del sujeto en un eje que define la dirección hacia la que está orientado el sujeto, de manera que la diana, la fuente de luz y la cabeza del sujeto forman un triángulo rectángulo.
- 20 3. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, que comprende además obtener la imagen.
4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la distancia de desviación de reflexión de referencia se ha determinado basándose en una distancia desde la fuente de luz hasta la diana y una distancia desde la fuente de luz o la diana hasta la cabeza del sujeto.
- 25 5. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además determinar que no hay estrabismo presente en la imagen de los ojos del sujeto si la diferencia es menor que el umbral de diferencia.
6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una imagen comprende una pluralidad de imágenes, y en el que cada una de la pluralidad de imágenes se ha obtenido con la
30 diana en una localización diferente respecto a la fuente de luz.
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende además determinar si el número de imágenes en el que la diferencia es menor que el valor umbral de diferencia es mayor que un valor umbral de la imagen.
- 35 8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor umbral de diferencia es un valor umbral inferior, comprendiendo el método además:

si la diferencia es mayor que el valor umbral inferior, determinar si la diferencia es mayor que un valor umbral superior.
- 40 9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una imagen se ha obtenido mediante la detección de al menos una de: radiación electromagnética infrarroja; radiación electromagnética visible y radiación electromagnética ultravioleta.
- 45 10. Un producto de programa informático que comprende un código de programa informático configurado, cuando se ejecuta en un ordenador, para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
11. Un sistema que comprende:

50 un procesador configurado para llevar a cabo el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
12. El sistema de la reivindicación 11, que comprende además una cámara y una fuente de luz, cada una de ellas en comunicación eléctrica con el procesador, en donde la cámara está configurada para obtener una imagen mientras la fuente de luz está emitiendo luz.
- 55 13. El sistema de la reivindicación 12, en el que la cámara está configurada para obtener una imagen mediante la detección de al menos una de: radiación electromagnética infrarroja; radiación electromagnética visible y radiación electromagnética ultravioleta y en el que la fuente de luz está configurada para emitir radiación electromagnética correspondiente a la radiación electromagnética detectable por la cámara.
- 60 14. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, que comprende además una segunda fuente de luz, en el que la primera fuente de luz está configurada para emitir radiación electromagnética visible y la segunda fuente de luz está configurada para emitir radiación electromagnética infrarroja, y en el que la segunda fuente de luz está situada para generar un reflejo retinal en el ojo de un sujeto que está mirando a la diana.
- 65

15. Un sistema para procesar al menos una imagen para detectar estrabismo, comprendiendo el sistema:

una cámara;

una fuente de luz;

5 una diana desviada de la fuente de luz; y

un procesador en comunicación eléctrica con la cámara y la fuente de luz,

en el que la cámara está configurada para capturar una imagen mientras la fuente de luz está emitiendo luz,

y en el que el procesador está configurado para llevar a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

10

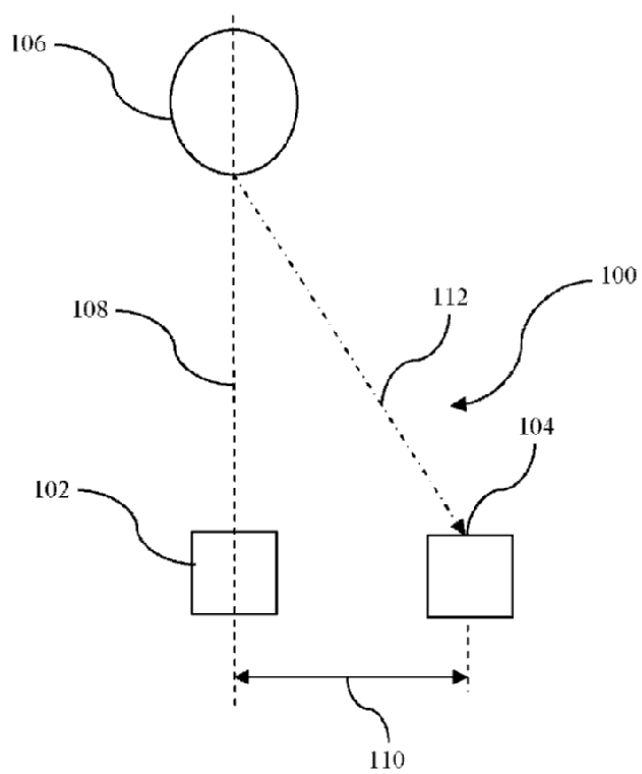


Fig. 1A

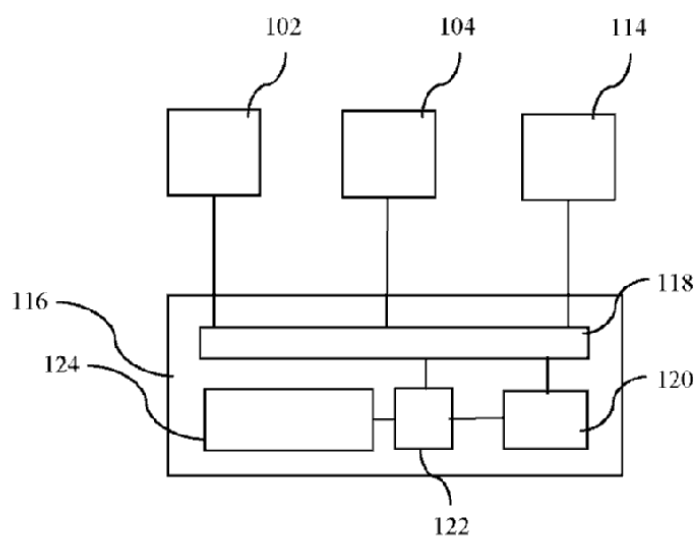


Fig. 1B

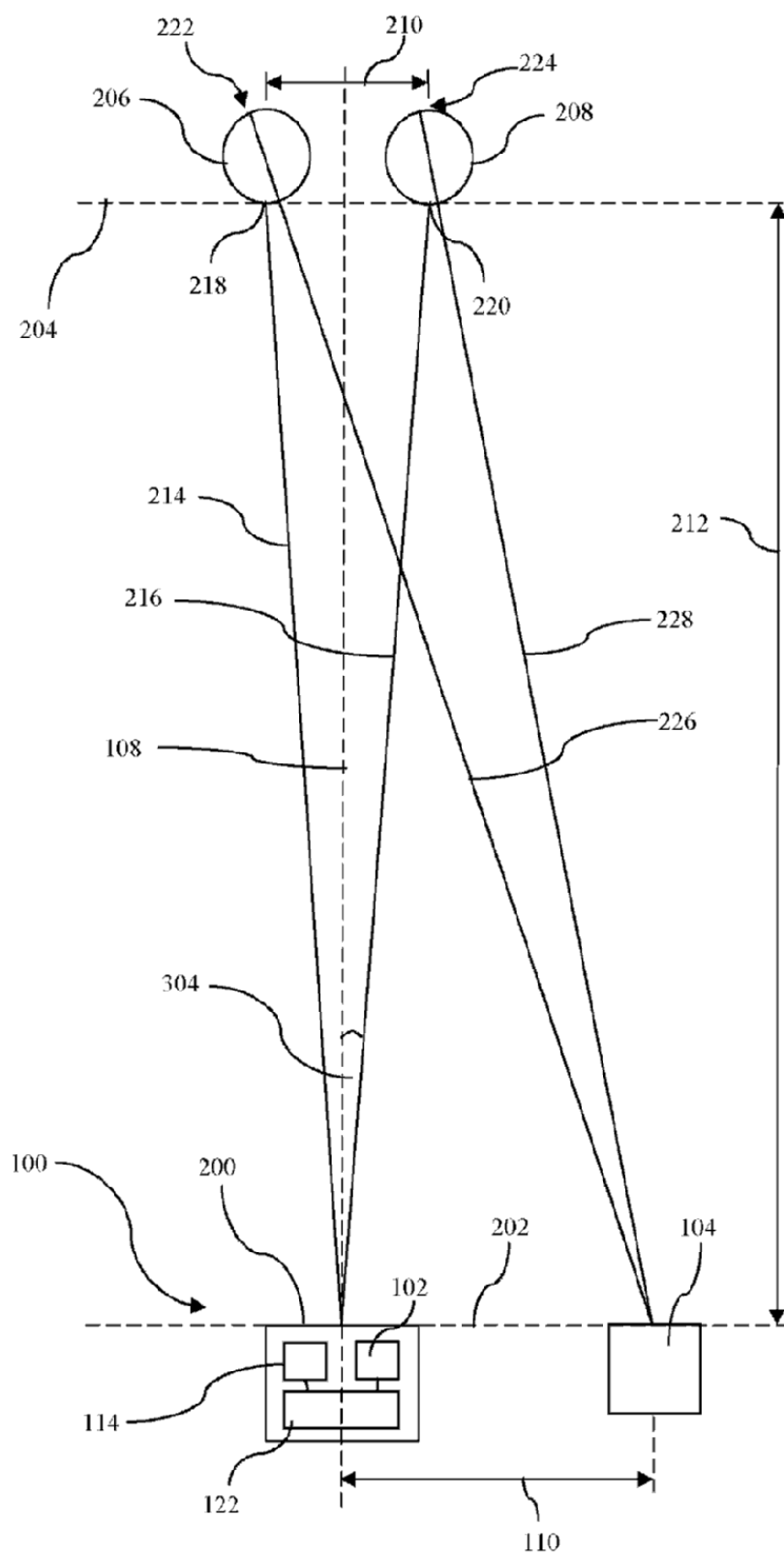


Fig. 2

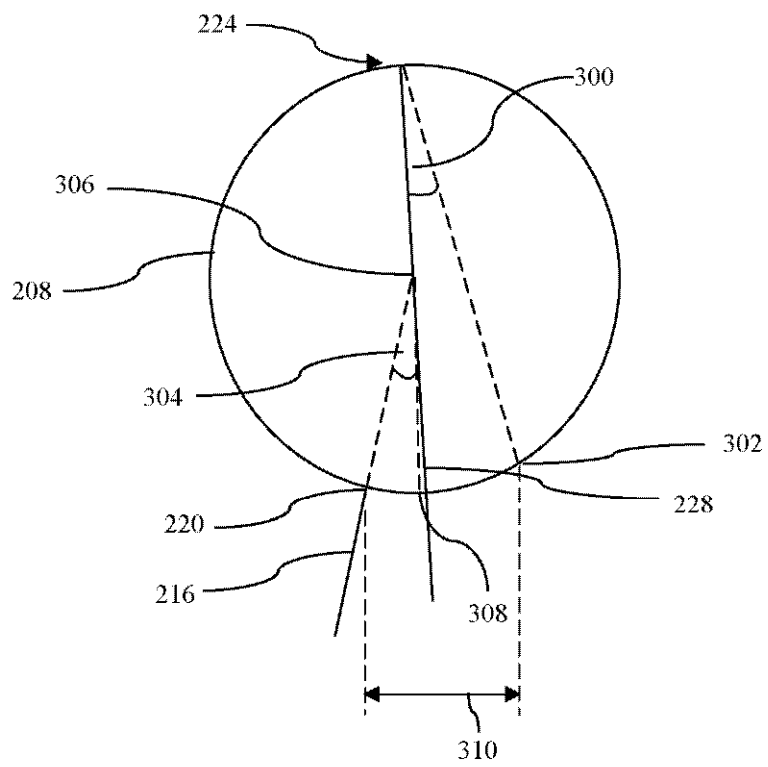


Fig. 3

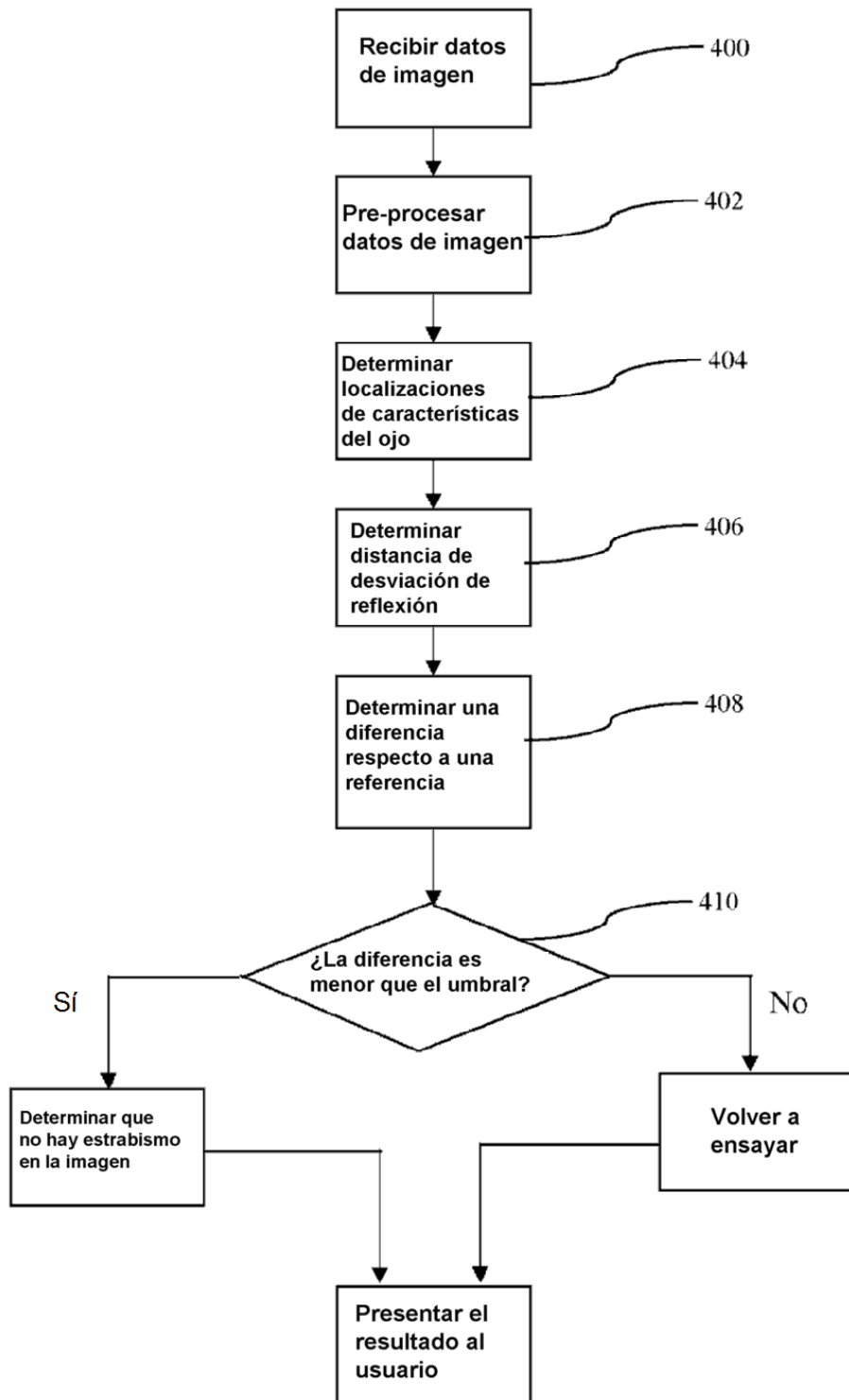


Fig. 4

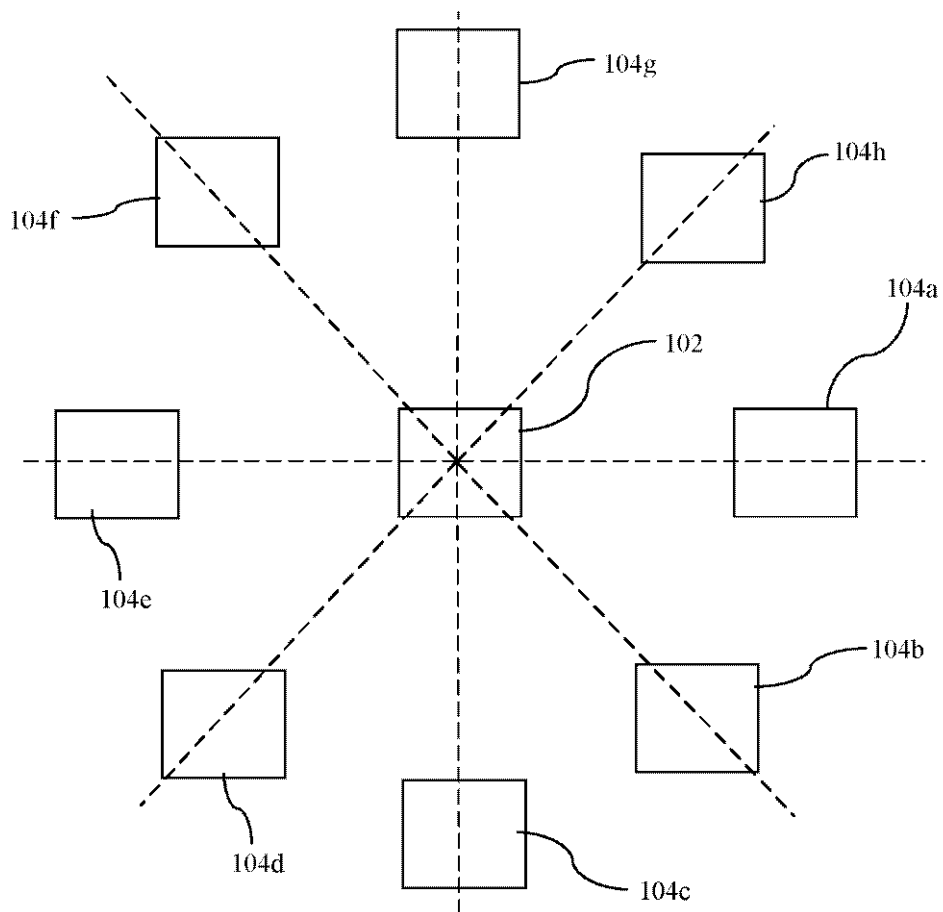


Fig. 5