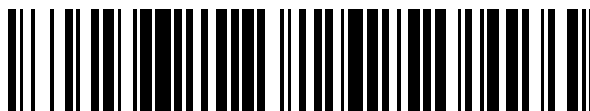


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 378 014**

51 Int. Cl.:
A61B 3/103 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08860561 .3**
96 Fecha de presentación: **04.12.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2229092**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.09.2010**

54 Título: **Aberrómetro que tiene ruido reducido**

30 Prioridad:
12.12.2007 US 955003

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.04.2012

73 Titular/es:
**BAUSCH & LOMB INCORPORATED
ONE BAUSCH & LOMB PLACE
ROCHESTER, NY 14604-2701, US**

72 Inventor/es:
**ALLRED, Lloyd, G. y
EAGAN, Barry, T.**

74 Agente/Representante:
Ungría López, Javier

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).

ES 2 378 014 T3

DESCRIPCIÓN

Aberrómetro que tiene ruido reducido

Campo de la invención

La presente invención se refiere a aberrómetros, y más particularmente a la reducción de ruido en imágenes de aberrómetro.

Antecedentes de la invención

La caracterización precisa de frentes de onda producidos por un ojo es deseable en el campo de la oftalmología para facilitar la corrección de un sistema de formación de imágenes del ojo a través de cirugía y/o fabricación de lentes correctoras.

Aunque varios tipos de aparatos de medición de aberración (en adelante, "aberrómetros") son conocidos, los aberrómetros de tipo Hartmann-Shack son ampliamente utilizados en aplicaciones oftálmicas comerciales. La figura 1 es una ilustración esquemática simplificada de un ejemplo de un aberrómetro Hartmann Shack 100.

En uso, un haz de luz procedente de una fuente de luz 110 en el aberrómetro se dirige hacia la córnea C de un ojo E y sobre la retina R mediante un divisor de haz 120. La luz se refleja desde la retina y se proyecta a través de la córnea, y forma un frente de onda aberrado. El frente de onda aberrado vuelve a entrar en el aberrómetro, e incide sobre una matriz de lentillas 130. La luz forma una matriz de puntos d_{ij} - d_{in} en el sensor 140. Las posiciones de los puntos relativos a las posiciones que los puntos habrían ocupado en ausencia de aberraciones del frente de onda proporcionan datos que se utilizan para caracterizar el frente de onda y así detectar aberraciones. La figura 2 es una ilustración gráfica de valores de intensidad de ejemplo en un área representativa del sensor 140 (que incluye una pluralidad de puntos d_{ij}).

Una referencia fundamental en el campo de la detección del frente de onda oftálmico es Liang et al., "Objective measurement of wave aberrations of the humane eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor", Revista de la Sociedad Óptica de América, Vol. 11, N° 7, páginas 1-9 (julio de 1994). Las mejoras en la técnica de Liang et al., id. se describen en Liang y Williams, "Aberrations and retinal image quality of the normal humane eye", Revista de la Sociedad Óptica de América, vol. 4, N° 11, páginas 2873-2883 (noviembre de 1997) y, en Williams et al. patente US N° 5.777.719.

El documento US-A-2003/0086063 se refiere a un aberrómetro en el que un desplazamiento de un punto permite el cálculo de la aberración.

La capacidad de medir con precisión las aberraciones y utilizar la información de la medición en aplicaciones correctivas depende de la capacidad para determinar con precisión la ubicación de los centros de los puntos asociados con cada lentilla en una matriz. La incapacidad de detectar con precisión los centros de todos los puntos de las imágenes frustra la caracterización de las aberraciones de onda y los procedimientos posteriores que dependen de esas caracterizaciones.

Típicamente, el centro de coordenadas c_x , c_y de un punto de la imagen se calcula mediante el cálculo de los centroides (es decir, la suma de los valores ponderados de la intensidad de la luz incidente $I(x_i, y_i)$ en los puntos (x_i, y_i) en el sensor 140). Muchos factores conocidos funcionan para frustrar la determinación precisa del centroide. Por ejemplo, la luz dispersada (es decir, el ruido) de los componentes del aberrómetro o del propio ojo pueden formar imágenes fantasma y/o crear luz de fondo en el detector, que interfiere con la detección real del punto de la imagen y la determinación del centroide posterior. Técnicas de procesamiento de imágenes que emplean altos filtros de paso de banda o ciertos filtros lineales pueden proporcionar un componente de ruido reducido; sin embargo, este filtrado también puede crear una distorsión del borde significativa y/o puede alterar el tamaño y la forma de una característica de la imagen (por ejemplo, debido a distorsión o zumbido).

Sumario

Aspectos de la presente invención se dirigen a la eliminación del ruido de fondo y/o imágenes fantasma, evitando o limitando la distorsión de imágenes in situ en una imagen de aberrómetro.

Un aspecto de la invención se dirige a un procedimiento para facilitar la determinación de centroides de puntos de la imagen en una imagen que contiene una matriz de puntos de la imagen generados por un aberrómetro, comprendiendo la imagen una primera pluralidad de píxeles, teniendo cada píxel un valor de intensidad correspondiente, tal como se define en la reivindicación 1.

En algunas realizaciones, el procedimiento comprende restar el valor promedio del valor de la intensidad del primer píxel.

En algunas realizaciones, la etapa de cálculo se repite para cada uno de la primera pluralidad de píxeles. En otras realizaciones, la etapa de cálculo se repite sólo para un segundo subconjunto de la primera pluralidad de píxeles, con lo cual a cada uno de los píxeles en el segundo subconjunto se le asigna un valor promedio de intensidad correspondiente.

5 En algunas realizaciones, el procedimiento comprende restar el valor promedio asignado a cada píxel en el segundo subconjunto del valor de la intensidad de un píxel correspondiente en la imagen. El procedimiento puede comprender además el cálculo de un centroide correspondiente a cada uno de los puntos de la imagen.

10 Los píxeles en el subconjunto de la segunda pluralidad de píxeles son seleccionados como aquellos píxeles que tienen valores de intensidad inferiores a un valor máximo de intensidad seleccionada.

En algunas realizaciones, el segundo subconjunto de la primera pluralidad de píxeles se selecciona como cada n píxeles, donde $n > 2$. En algunas realizaciones, la etapa de asignar un valor de intensidad de un píxel en el segundo subconjunto a un píxel que no está en el segundo subconjunto.

15 Otro aspecto de la invención está dirigido a un aberrómetro tal como se define en la reivindicación 9.

20 Un procedimiento para facilitar la determinación de centroides de puntos de la imagen en una imagen que contiene una matriz de puntos de la imagen generados por un aberrómetro se describe también, comprendiendo la imagen una primera pluralidad de píxeles, teniendo cada píxel un valor de intensidad correspondiente, comprendiendo el procedimiento 1) identificar un perímetro sobre un píxel seleccionado (por lo menos uno), incluyendo el perímetro una pluralidad de segundos píxeles, 2) calcular un valor de intensidad media, utilizando un subconjunto de la segunda pluralidad de píxeles, y 3) asignar el valor promedio al píxel seleccionado.

25 **Breve descripción de los dibujos**

Realizaciones no limitativas ilustrativas de la presente invención se describirán a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se utiliza el mismo número de referencia para designar los mismos componentes o similares en diferentes figuras, y en los que:

La figura 1 es una ilustración esquemática simplificada de un aberrómetro Hartmann Shack que proyecta luz sobre un ojo y que produce una pluralidad de puntos en un sensor;
 La figura 2 es una ilustración gráfica de valores de intensidad de ejemplo en un área representativa del sensor en el aberrómetro que se muestra en la figura 1;
 La figura 3 es una representación numérica de valores de intensidad para un área representativa del sensor en el aberrómetro que se muestra en la figura 1;
 La figura 4 es un histograma de los valores de intensidad dentro de un perímetro alrededor de un punto representativo en un área representativa de la figura 3;
 La figura 5 es una representación numérica de los valores de intensidad de un componente de ruido de píxeles seleccionados en el área representativa que se muestra en la figura 3 calculada de acuerdo con los aspectos de la presente invención;
 La figura 6 es una ilustración gráfica de los valores de intensidad de un componente de ruido del área representativa que se muestra en la figura 2;
 La figura 7 es una ilustración gráfica de valores de intensidad de la figura 2 después de restar el ruido de fondo calculado de acuerdo con los aspectos de la presente invención;
 La figura 8 es una ilustración esquemática simplificada de un aberrómetro Hartmann Shack que proyecta la luz sobre un ojo y que produce una pluralidad de puntos sobre un sensor de acuerdo con aspectos de la presente invención.

50 **Descripción detallada**

Aspectos de la presente invención se dirigen hacia un procedimiento para facilitar la determinación de centroides de puntos de la imagen en una imagen que contiene una matriz de puntos de la imagen generados por un aberrómetro. La imagen comprende una primera pluralidad de píxeles tal como se determina por un sensor, teniendo cada píxel un valor de intensidad correspondiente. El procedimiento comprende el cálculo de un valor de intensidad media para una segunda pluralidad de píxeles en un perímetro alrededor de un píxel. De acuerdo con aspectos de la presente invención, la media se calcula usando un subconjunto de la segunda pluralidad exclusiva de por lo menos una porción (por ejemplo, una pluralidad) de los píxeles en el perímetro. Para formar el subconjunto, los píxeles que incluyen cantidades seleccionadas o sustanciales de luces no dispersas (es decir, luz proyectada directamente en los puntos) se omiten.

Ejemplos de realizaciones de procedimientos y aparatos adecuados para la realización de los aspectos de la presente invención se describirán ahora con referencia a las figuras 3 a 7. La gráfica de datos se proporciona para facilitar la descripción y no está dibujada a escala. La figura 3 es una representación numérica de los valores de intensidad para los píxeles en un área representativa de un sensor (por ejemplo, el sensor 140 que se muestra en la

figura 1) cuando una imagen se proyecta sobre el mismo. Tal como se indicó anteriormente, la imagen contiene una matriz de puntos de la imagen generados por un aberrómetro. La imagen en el sensor comprende una primera pluralidad de píxeles en los que se proyectan la pluralidad de puntos, teniendo cada píxel un valor de intensidad correspondiente. Los valores de intensidad son, por ejemplo, valores de escala de grises de una digitalización de la imagen. Por ejemplo, la escala de grises puede variar de 0 a 255.

Se apreciará que los puntos de la imagen corresponden con picos en los valores de intensidad de la imagen; sin embargo, el ruido puede oscurecer los picos correspondientes a los puntos de la imagen. Aspectos de la presente invención se dirigen a la eliminación del ruido de una imagen para facilitar la determinación de la posición de los puntos. En particular, aspectos de la presente invención facilitan el uso de técnicas para determinar la posición de los puntos.

De acuerdo con aspectos de la invención, la figura 3 ilustra los perímetros p_1 , p_2 , p_3 identificados alrededor de los píxeles seleccionados px_1 , px_2 , px_3 en la imagen de acuerdo con los aspectos de la presente invención. Cada perímetro incluye una segunda pluralidad correspondiente de píxeles. En algunas realizaciones, la extensión (por ejemplo, el diámetro) del perímetro se selecciona para que sea igual al paso (por ejemplo, el número de píxeles) entre los puntos en la imagen tal como se determina para ser igual al paso de la lentilla 130 (mostrado en la figura 1). Sin embargo, un perímetro que tiene este tamaño no es necesario. El perímetro es típicamente igual o menor que el paso de los puntos y se selecciona para incluir un número sustancial de píxeles que están alejados de la posición en la que se encuentra un punto para incluir píxeles que contienen sustancialmente sólo ruido.

Se comprenderá que, aunque el perímetro en la realización ilustrada es circular, se puede usar un perímetro que tenga cualquier forma adecuada (por ejemplo, poligonal). Típicamente, el perímetro de un píxel seleccionado será simétrico respecto a ese píxel seleccionado; sin embargo, en algunas realizaciones, el perímetro puede ser asimétrico alrededor del píxel.

De acuerdo con aspectos de la invención, la figura 4 ilustra una distribución de frecuencia de los valores de intensidad para la segunda pluralidad de píxeles. Un histograma se muestra para facilitar la descripción; cualquier técnica adecuada para determinar un valor de intensidad medio tal como se describe a continuación puede ser utilizada. La figura 4 ilustra un histograma de los valores de intensidad para un píxel seleccionado representativo px_1 en la salida del área de la imagen representativa de la figura 3. Mediante el uso de los píxeles en el perímetro, un valor de intensidad promedio se calcula para el píxel px_1 . En algunas realizaciones, los píxeles a través de los cuales se extiende el perímetro pueden estar incluidos en el perímetro.

Un subconjunto de la segunda pluralidad de píxeles se selecciona para caracterizar el ruido en la imagen. De acuerdo con la presente invención, antes de hacer los cálculos que caracterizan el ruido en una imagen, los píxeles que incluyen cantidades sustanciales de luces no dispersas a partir de puntos se eliminan para facilitar la caracterización del ruido. La determinación de que los píxeles a eliminar puede lograrse mediante la determinación de un valor umbral de intensidad con píxeles que tienen una intensidad mayor que el umbral, suponiendo que se asocia con un punto y, por lo tanto, se elimina del subconjunto.

Un valor de intensidad promedio se calcula utilizando los píxeles en el subconjunto. Después del cálculo, el valor de intensidad promedio se le asigna al píxel seleccionado tal como se muestra en la figura 5. Las etapas de asignación de valores se realizan para el resto de la imagen. Sin embargo, el número total de píxeles para los cuales se calcula un valor promedio mediante las etapas de eliminación y promedio tal como se establece anteriormente puede ser menor que todos los píxeles de la imagen (es decir, un valor de intensidad promedio se calcula para l en cada n píxeles en una dirección dada, donde $n > 2$). En algunas realizaciones, los píxeles para los cuales se calcula un valor promedio se distribuyen en toda la imagen. Por ejemplo, para un sensor de imagen que tiene una rejilla rectilínea de píxeles, se pueden utilizar cada quinto píxel en la dirección vertical y cada quinto píxel en la dirección horizontal.

En el caso de que menos de la totalidad de los píxeles tengan valores calculados según lo establecido anteriormente, se puede asignar un valor estimado a los píxeles que no tengan un valor calculado. El valor estimado se puede generar mediante la asignación de un valor de intensidad de un píxel situado próximo que tiene un valor calculado (por ejemplo, cada píxel que no tiene un valor calculado recibe el valor de su vecino más cercano que tiene un valor calculado).

Se apreciará que una decisión para realizar las etapas de cálculo en sólo un subconjunto de píxeles es un equilibrio entre la velocidad de cálculo y la precisión del análisis de ruido. Generalmente, el contenido de ruido menos espacialmente dependiente es el más separado de los píxeles en los que se puede realizar el cálculo. El número de píxeles y las posiciones de los píxeles dependerán de la configuración de un aberrómetro dado.

Después de que a todos los píxeles se les haya asignado un valor promedio, el componente de ruido se ha caracterizado (por ejemplo, cuantificado). Se apreciará que la figura 5 es una representación numérica de los valores de intensidad de un componente de ruido de píxeles seleccionados en la salida representativa del área de la imagen mostrada en la figura 3. Se muestran los promedios sólo de los píxeles px_1 , px_2 , px_3 ; sin embargo, otros píxeles en el

área pueden ser valores de ruido asignados calculados o aproximados a lo indicado anteriormente.

La figura 6 es una ilustración gráfica de los valores de intensidad de un componente de ruido de la salida representativa del área de la imagen mostrada en la figura 2. Tal como se muestra, típicamente, el componente de ruido es más uniforme en intensidad que la imagen original; sin embargo, el componente de ruido es algo mayor para los píxeles más próximos a los puntos. Se espera un aumento en el ruido más cerca de los puntos, ya que la dispersión de la luz cerca de los puntos será de mayor intensidad.

Después de que un valor de ruido se asigna a cada píxel, un valor correspondiente al componente de ruido se resta del valor en la imagen original, en una base de píxel por píxel.

$$S_{m,n} = D_{m,n} - N_{m,n}$$

La figura 7 es una ilustración gráfica de los valores de intensidad de la figura 2 después de restar el ruido de fondo. Tal como se muestra, típicamente, los picos asociados con los puntos se vuelven más identificables, y el cálculo subsiguiente del centroide es más exacto. Después de restar el ruido, cualquier técnica adecuada conocida o aún no desarrollada para identificar puntos y para calcular los centroides de los puntos puede ser utilizada.

La figura 8 es una ilustración esquemática simplificada de un ejemplo de un aberrómetro Hartmann Shack 800 de acuerdo con aspectos de la presente invención. De una manera convencional, un haz de luz procedente de una fuente de luz 810 en el aberrómetro se dirige hacia la córnea C de un ojo E y sobre la retina R mediante un divisor de haz 820. Un soporte para el mentón o para la frente u otro aparato de posicionamiento adecuado (no mostrado) puede proporcionarse para moverse o mantener un ojo en una posición adecuada de tal manera que el haz incida sobre la retina.

La luz se refleja desde la retina y se proyecta a través de la córnea, y forma un frente de onda aberrado. El frente de onda aberrado vuelve a entrar en el aberrómetro, e incide sobre una serie de lentillas 830. La luz forma una imagen que contiene una matriz de puntos 835 en el sensor 840. El sensor está configurado de tal manera que la imagen comprende una primera pluralidad de píxeles, teniendo cada píxel un valor de intensidad correspondiente.

Un procesador 850 está acoplado al sensor de una forma para recibir datos de intensidad de píxeles desde el sensor. El procesador está programado para facilitar la determinación de centroides de puntos de imagen en la imagen mediante el cálculo de un valor de intensidad media para una segunda pluralidad de píxeles en un perímetro alrededor de un píxel, usando la media calculada un subconjunto de la segunda pluralidad exclusivo de por lo menos una porción de los píxeles en el perímetro, tal como se establece anteriormente. Posteriormente, después de que a los píxeles se les asigna un valor de ruido, el procesador puede restar el valor de ruido del valor de la intensidad de la imagen, los puntos pueden ser identificados, y los centroides pueden calcularse utilizando cualquier técnica adecuada conocida o todavía no desarrollada.

Habiendo descrito así los conceptos inventivos y una serie de realizaciones de ejemplaro, será evidente para los expertos en la materia que la invención puede aplicarse de diversas maneras, y que modificaciones y mejoras se les ocurrirán fácilmente a dichas personas. Por lo tanto, las realizaciones no están pensadas para que sean limitativas y se presentan solamente a modo de ejemplo. La invención está limitada sólo como es requerido por las siguientes reivindicaciones y sus equivalentes.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para facilitar la determinación de centroides de puntos de imagen en una imagen que contiene una matriz de puntos de imagen generados por un aberrómetro, comprendiendo la imagen una primera pluralidad de píxeles, teniendo cada píxel un valor de intensidad correspondiente, comprendiendo el procedimiento:
 - 5 calcular un valor de intensidad promedio para una segunda pluralidad de píxeles en un perímetro alrededor de un primer píxel, usando el promedio calculado un subconjunto de la segunda pluralidad exclusiva de al menos una pluralidad de los píxeles en el perímetro, siendo seleccionados los píxeles en el subconjunto de la segunda pluralidad de píxeles como aquellos píxeles que tienen valores de intensidad inferiores a un valor máximo de intensidad seleccionado, seleccionándose el valor máximo de intensidad seleccionado de tal modo que los píxeles que tienen un valor de intensidad mayor que el valor máximo de intensidad seleccionado están asociados con uno de los puntos de la imagen.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, que también comprende restar el valor promedio del valor de la intensidad del primer píxel.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de cálculo se repite para cada uno de la primera pluralidad de píxeles.
- 20 4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de cálculo se repite para sólo un segundo subconjunto de la primera pluralidad de píxeles, con lo cual a cada uno de los píxeles en el segundo subconjunto se le asigna un valor correspondiente de intensidad promedio.
- 25 5. Procedimiento según la reivindicación 4, que también comprende restar el valor promedio asignado a cada píxel en el segundo subconjunto del valor de la intensidad de un píxel correspondiente en la imagen.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, que también comprende calcular un centroide correspondiente en cada uno de los puntos de la imagen.
- 30 7. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que el segundo subconjunto de la primera pluralidad de píxeles se selecciona como cada n píxeles, donde $n > 2$.
8. Procedimiento según la reivindicación 4, que también comprende una etapa de asignar un valor de intensidad de un píxel en el segundo subconjunto a un píxel que no está en el segundo subconjunto.
- 35 9. Aberrómetro (100) que comprende:
 - 40 una fuente de luz (110, 810) configurada y dispuesta para proyectar luz sobre el ojo de un sujeto;
 - una matriz de lentes (130, 830) configurada y dispuesta para recibir la luz después de que se refleje desde una retina del ojo;
 - un sensor (140, 840) adaptado para recibir una imagen que contiene una matriz de puntos de imagen a partir de la matriz de lentes, comprendiendo el sensor una primera pluralidad de píxeles, teniendo cada píxel un valor de intensidad correspondiente;
 - 45 un procesador (850) acoplado al sensor adaptado para calcular un valor de intensidad promedio para una segunda pluralidad de píxeles en un perímetro alrededor de un primer píxel de dicha primera pluralidad de píxeles, usando el promedio calculado un subconjunto de la segunda pluralidad exclusivo de al menos una pluralidad de los píxeles en el perímetro, caracterizado porque los píxeles en el subconjunto de la segunda pluralidad de píxeles son seleccionados como aquellos píxeles que tienen valores de intensidad inferiores a un valor máximo de intensidad seleccionado, seleccionándose el valor máximo de intensidad seleccionado de tal modo que los píxeles que tienen un valor de intensidad mayor que el valor máximo de intensidad seleccionado están asociados con uno de los puntos de la imagen.
 - 50 10. Aberrómetro según la reivindicación 9, en el que una extensión del perímetro es sustancialmente igual a un paso entre los puntos.
 - 55 11. Aberrómetro según la reivindicación 9, en el que el procesador está adaptado también para restar el valor promedio del valor de intensidad del primer píxel.
 - 60 12. Aberrómetro según la reivindicación 9, en el que el procesador está adaptado para calcular un valor medio para cada uno de la primera pluralidad de píxeles.
 13. Aberrómetro según la reivindicación 9, en el que el procesador está adaptado para calcular un valor promedio de sólo un segundo subconjunto de la primera pluralidad de píxeles.
 - 65 14. Aberrómetro según la reivindicación 13, en el que el procesador está también adaptado para restar el valor

promedio asignado a cada píxel en el segundo subconjunto del valor de la intensidad de un píxel correspondiente en la imagen.

- 5 15. Aberrómetro según la reivindicación 14, en el que el procesador está también adaptado para calcular un centroide correspondiente a cada uno de los puntos de la imagen.
16. Aberrómetro según la reivindicación 13, en el que el procesador está programado de tal manera que el segundo subconjunto de la primera pluralidad de píxeles se selecciona como cada n píxeles, donde $n > 2$.
- 10 17. Aberrómetro según la reivindicación 13, en el que el procesador está programado para asignar un valor de intensidad de un píxel en el segundo subconjunto a un píxel que no está en el segundo subconjunto.

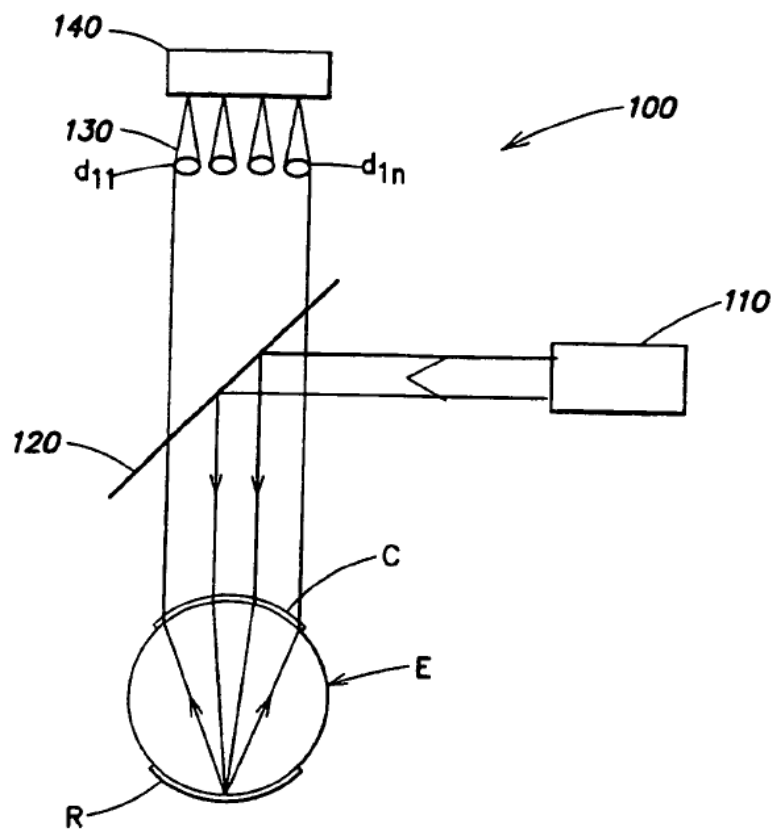


FIG. 1

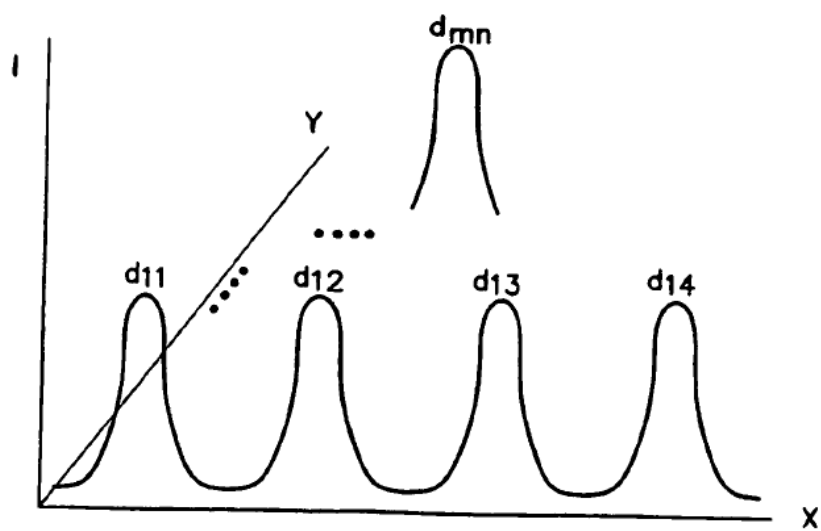


FIG. 2

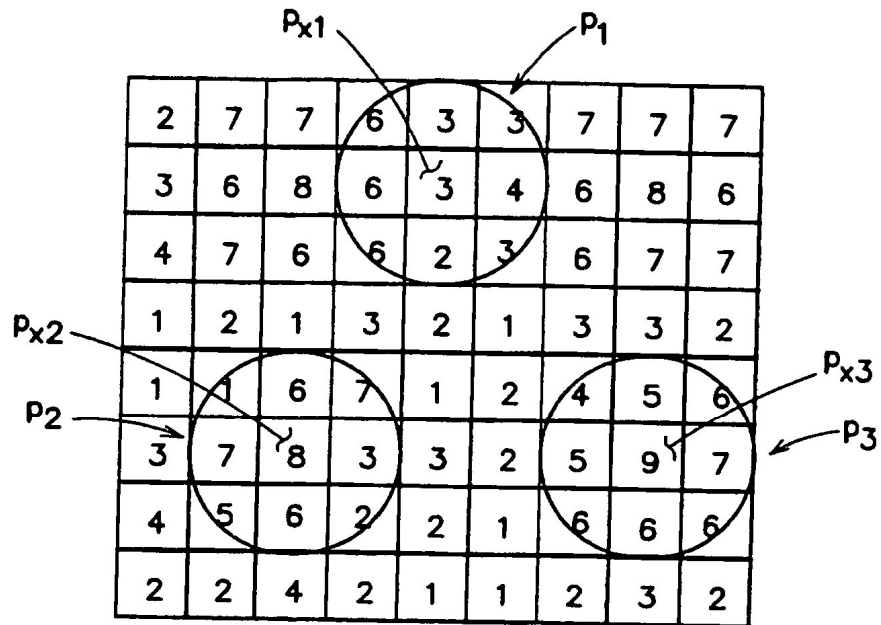


FIG. 3

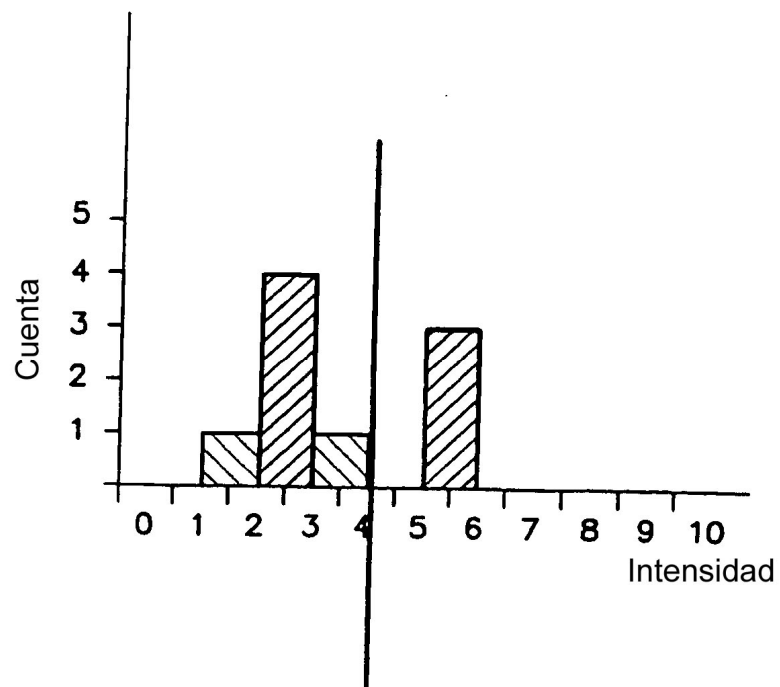


FIG. 4

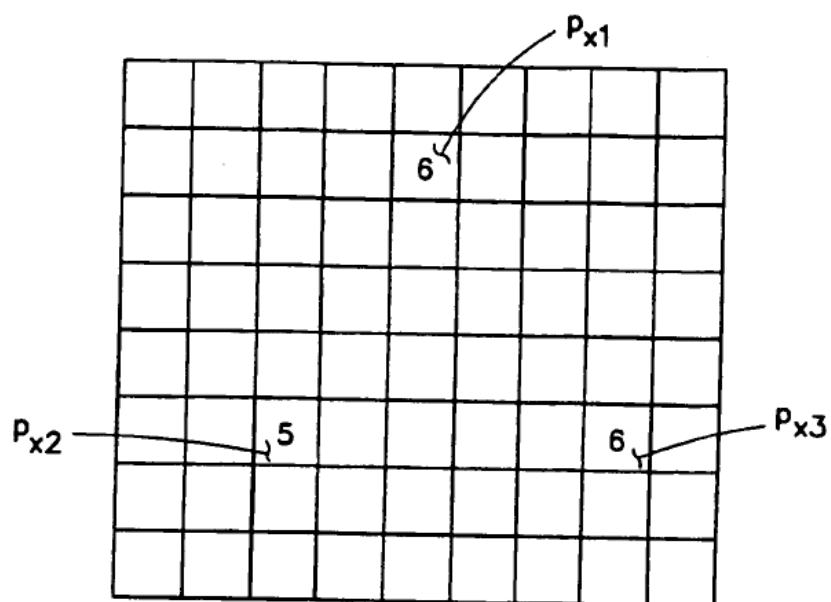


FIG. 5

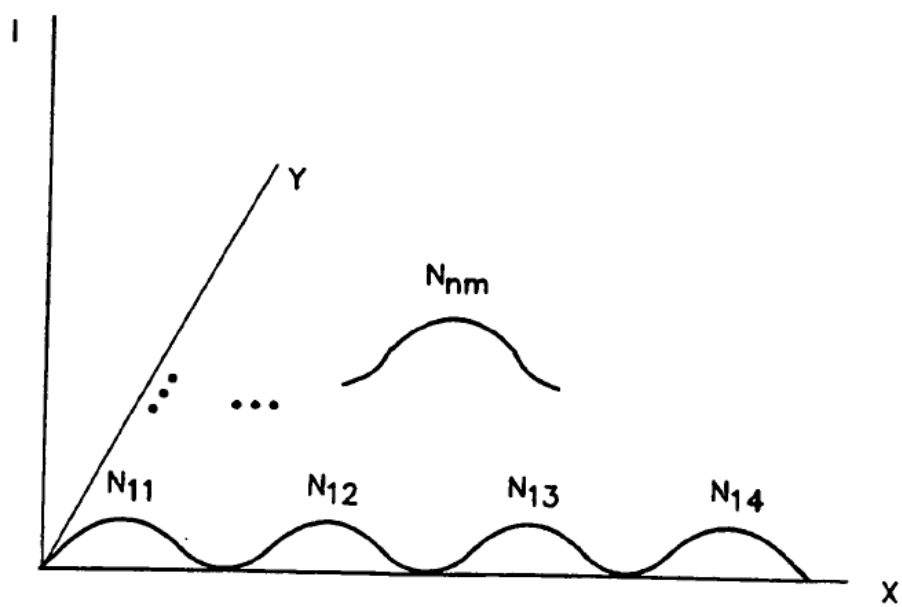


FIG. 6

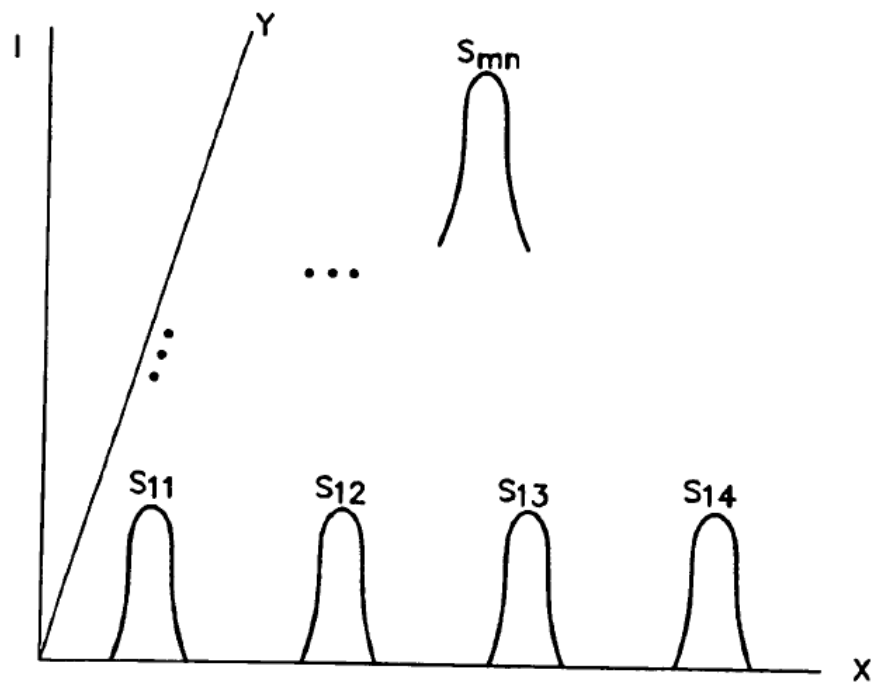


FIG 7

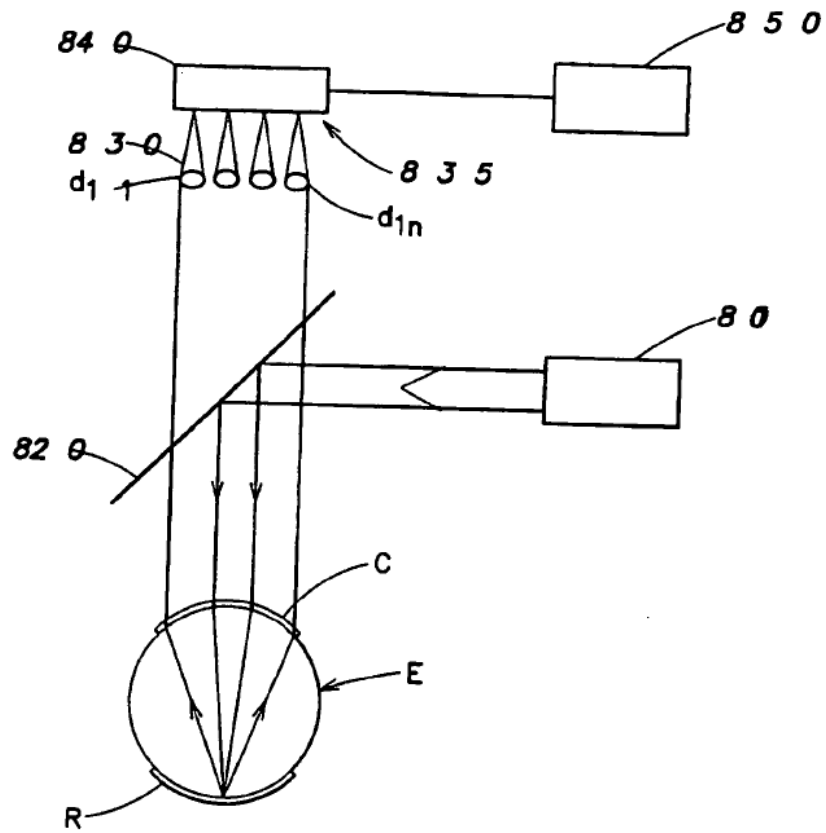


FIG. 8