

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 150**

51 Int. Cl.:

G06K 9/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.04.2012 PCT/EP2012/057709**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.11.2012 WO12146688**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2012 E 12719640 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018 EP 2702532**

54 Título: **Procedimiento de segmentación de pupila**

30 Prioridad:

28.04.2011 US 201113096716

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

18.12.2018

73 Titular/es:

**IRISTRAC, LLC (50.0%)
550 W. Kentucky St.
Louisville, KY 40203, US y
SRI INTERNATIONAL INC. (50.0%)**

72 Inventor/es:

BERGEN, JAMES RUSSELL

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 694 150 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de segmentación de pupila.

5 Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

10 La invención se refiere a un procedimiento de segmentación de pupila en una imagen digital de un ojo de vertebrado. Se entenderá que el término “vertebrado” incluye humanos.

2. Descripción de antecedentes de la técnica

15 Un procedimiento de este tipo se usa en el contexto de sistemas de identificación biométrica basados en el análisis del iris.

20 Un sistema de identificación personal biométrica basado en el análisis del iris ha sido descrito en el documento US 5 291 560 por John G. Daugman y en “How Iris Recognition Works”, de J.G. Daugman, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, n.º 1, págs. 21 a 30, enero de 2004.

25 Dichos sistemas de identificación aprovechan el hecho de que el iris del ojo de un individuo, que puede ser un humano o un vertebrado, presenta un patrón característico que es exclusivo de ese individuo particular, de manera que puede usarse un análisis del iris para identificar de forma exclusiva al individuo. Con ese fin, una cámara digital captura una imagen de un ojo del individuo, y se usan algoritmos de procesamiento de imágenes para reconocer la pupila y el iris del ojo en la imagen digital. A continuación, el patrón del iris se normaliza para compensar el efecto de la dilatación o contracción cambiante de la pupila, y se utiliza un procedimiento de filtrado para transformar la imagen normalizada del iris en un código digital, denominado código de iris, que es exclusivo del individuo y se puede usar, por tanto, con fines identificativos.

30 Una vez que se ha creado y almacenado un código de iris de un individuo, ese individuo se puede identificar capturando nuevamente una imagen de su ojo, creando un código de iris sobre la base de la imagen nueva, y comprobando el código de iris así obtenido con respecto al código que se había almacenado previamente.

35 El documento EP 0 821 912 B1 describe un procedimiento de segmentación de pupila que se basa en la consideración de que la pupila de un ojo es un área que tiene una baja densidad y un bajo contraste. Por lo tanto, la región de pupila en la imagen se determina extrayendo una región que tiene un área superficial dentro de un intervalo de valores de umbral predeterminados. El resultado es un área de pupila que tiene un límite de forma irregular. A continuación, se obtiene una aproximación de este límite mediante una elipse la cual se considera como el límite de la pupila.

40 El documento US 2009/0208064 A1 describe un procedimiento de segmentación de pupila en el que se determina una región de pupila que puede presentar una forma irregular extrayendo una región que tiene una intensidad que es inferior a un cierto umbral y, a continuación, calculando la envoltura convexa de esa región.

45 El documento US2007160267 determina información de gradiente y diferencia de texturas para determinar el límite de la pupila. Este procedimiento usa la diferencia de umbrales que mide la diferencia entre una zona interior y una exterior.

50 El documento US2009208064 divulga la aplicación de la curva convexa para determinar el límite de una pupila.

Sumario de la invención

55 Un objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento de segmentación de pupila que puede describir adecuadamente formas de pupila que se desvían significativamente con respecto a una forma circular o elíptica. Este objetivo se alcanza con un procedimiento de segmentación de pupila en una imagen digital de un ojo de vertebrado, siendo dicha imagen una imagen de intensidad compuesta por píxeles que tienen, cada uno de ellos, un valor de intensidad específico, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:

- 60 - derivar una imagen de textura a partir de la imagen de intensidad, estando dicha imagen de textura compuesta por unos píxeles que tienen, cada uno de ellos, un valor de contraste de borde específico;
- formar una imagen combinada combinando a nivel de puntos la imagen de intensidad con la imagen de textura,
- 65 - identificar un conjunto de píxeles en la imagen combinada que satisfacen un criterio combinado de baja intensidad y bajo contraste; y

- aproximar un límite de dicho conjunto por medio de una curva convexa y tomar dicha curva convexa como límite de la pupila.

5 El criterio combinado de baja densidad y bajo contraste puede caracterizar el área de pupila con una alta selectividad, de manera que el área de pupila se puede delimitar con respecto a otras áreas de la imagen, con independencia de la forma del área de pupila.

10 En este contexto, “a nivel de puntos” significa que, para cada punto de la imagen, el valor de intensidad se combina con el valor de contraste del mismo punto. Esto no significa necesariamente que las composiciones de píxeles de la imagen de intensidad y la imagen de contraste tengan que ser idénticas. Por ejemplo, un píxel de la imagen de contraste puede abarcar varios, por ejemplo, cuatro, píxeles de la imagen de intensidad. La combinación a nivel de puntos daría como resultado, entonces, cuatro píxeles de la imagen de producto, correspondiéndose cada píxel con uno de los píxeles de la imagen de textura y asignándole una combinación del valor de contraste de ese píxel y un valor de intensidad común de la totalidad de los cuatro píxeles.

15 En una forma de realización preferida, la imagen combinada es una imagen de producto formada por la multiplicación, a nivel de puntos, de la imagen de intensidad por la imagen de textura, y el criterio combinado de baja intensidad y bajo contraste es un criterio umbral para la imagen de producto. En una forma de realización alternativa, podría haber dos umbrales diferentes, uno para la imagen de intensidad y otro para la imagen de textura, y el criterio combinado podría consistir en decidir que un punto es parte de la pupila si los valores tanto de intensidad como de textura se sitúan por debajo de sus umbrales respectivos. Es decir, podría haber una AND lógica de dos pruebas independientes de las dos propiedades más que una prueba de la medición combinada. También sería posible construir una medición combinada con una operación binaria que no fuese un producto. Por ejemplo, las dos mediciones se podrían sumar, o se podrían aplicar no linealidades de compresión o aceleración, o umbrales o recortes sobre los valores antes de sumarlos. En el caso en que estas no linealidades se correspondan con una función logarítmica, el resultado sería esencialmente equivalente a la forma de realización que usa la imagen de producto. Así, es, de hecho, posible, construir una sucesión de maneras de combinar las dos mediciones que tiene el producto como caso especial. Estas formas de realización alternativas pueden ser útiles en i situaciones en las que se desea desenfatar la medición de textura (o intensidad) para obtener un mejor rendimiento.

20 En general, el conjunto de píxeles obtenido al comprobar el criterio combinado de baja intensidad y bajo contraste será un conjunto no convexo que puede tener un límite irregular. La etapa de aproximar ese límite por medio de una curva convexa da como resultado un área delimitadora que tiene un contorno más liso y, en particular, convexo, el cual resulta muy adecuado para las etapas posteriores del proceso en las que se crea un código de iris y, sin embargo, tiene la capacidad de describir una forma de pupila que se desvía significativamente con respecto a una forma circular o elíptica.

25 Mientras que un círculo puede ser descrito completamente por medio de tres parámetros independientes, es decir, el radio y las coordenadas x e y del centro, y una elipse puede ser descrita completamente por medio de cinco parámetros independientes (las coordenadas de los dos focos y la dimensión del eje grande), el procedimiento según la invención permite describir el límite de la pupila como un objeto de línea geométrica que solamente se puede describir de manera completa con más de cinco parámetros independientes. Por ejemplo, el límite de pupila se puede describir con un polígono que tiene un número tan elevado de vértices que constituye una aproximación de una línea cerrada lisa. En este caso, los parámetros independientes necesarios para describir el objeto de línea son las coordenadas de cada uno de los vértices. Otros ejemplos de posibles descripciones de límite son curvas de Bezier, o curvas *B-spline*.

30 En una forma de realización preferida, la curva convexa que describe el límite de la pupila es una envoltura convexa del conjunto de píxeles. Esto proporciona una manera sencilla de minimizar los efectos de gránula irídica y, en casos extremos, de crear una única región de pupila envolvente cuando la segmentación de bajo nivel produce áreas desconectadas.

35 Como alternativa, podría lograrse algo similar encogiendo una curva paramétrica con forma de huevo o almendra hasta que la misma no se pudiera encoger más sin sacrificar algunos píxeles de la pupila. Curvas de este tipo se pueden representar por medio de curvas polinómicas de orden tres o superior o por medio de uniones de arcos circulares de radio variable. De hecho, este planteamiento paramétrico podría ser una técnica preferida cuando se trata con un vertebrado tal como una cabra o un gato que tiene una pupila más regular que un caballo pero ninguna que se pueda modelar como un círculo o elipse.

40 En general, los sistemas de identificación basados en el análisis del iris tienen que hacer frente al problema de que, cuando se toma la imagen del ojo, el iris normalmente quedará distorsionado en cierta medida, debido a que la pupila que está rodeada por el iris se dilata y se contrae en función de las condiciones de iluminación. Por lo tanto, para un análisis eficiente del iris, se requiere que la imagen del mismo se normalice con el fin de eliminar las distorsiones provocadas por la dilatación y la contracción de la pupila. En procedimientos conocidos de

análisis del iris para individuos que tienen pupilas circulares, como la mayoría de humanos, la normalización se puede lograr usando coordenadas polares y normalizando la coordenada del radio a la diferencia entre los radios del límite circular exterior e interior del iris.

5 El procedimiento de segmentación según la invención tiene la ventaja de que proporciona una descripción de un contorno de pupila que se puede usar para construir un sistema de coordenadas que permite normalizar la imagen del iris incluso cuando el contorno de pupila, es decir, el límite interior del iris, no es ni circular y elíptico.

10 Es, por lo tanto, otro objetivo de la invención proporcionar un procedimiento de creación de un código de iris binario basado en una normalización de la imagen del iris que, usando el procedimiento de segmentación antes descrito, resulte más robusto contra formas de pupila irregulares.

Otros objetivos y características de la invención se pondrán de manifiesto más claramente a medida que avance la descripción.

15 **Breve descripción de los dibujos**

La presente invención llegará a entenderse de manera más completa a partir de la descripción detallada que se ofrece a continuación en la presente y de los dibujos adjuntos los cuales se aportan únicamente a título ilustrativo y, por lo tanto, no son limitativos de la presente invención, y en los que:

- la figura 1 es una vista frontal esquemática de un ojo de un vertebrado;
- 25 la figura 2 es un diagrama de flujo general de un procedimiento para crear un código de iris a partir de una imagen capturada del ojo;
- las figuras 3 y 4 son vistas en planta superiores del ojo y de una cámara para tomar una imagen del ojo;
- 30 la figura 5 es un diagrama que ilustra una relación entre una distancia de cámara-al-ojo y una separación de puntos de specularidad;
- la figura 6 es una vista superior en planta, similar a las figuras 3 y 4, para un ángulo de presentación oblicuo de la cámara;
- 35 la figura 7 es un diagrama de flujo de un procedimiento de captura de imágenes;
- la figura 8 es un diagrama de flujo de un procedimiento según la invención para segmentar una pupila en la imagen del ojo;
- 40 la figura 9 es un ejemplo de un histograma usado en el procedimiento que se ha ilustrado en la figura 8,
- la figura 10 es un ejemplo de un conjunto de píxeles obtenidos en el proceso de segmentación de la pupila;
- 45 la figura 11 ilustra el contorno de la pupila obtenido como resultado del proceso de segmentación;
- la figura 12 es un diagrama que ilustra una primera forma de realización de un procedimiento para normalizar una imagen del iris del ojo;
- 50 la figura 13 es un diagrama que ilustra otra forma de realización del procedimiento para normalizar la imagen del iris;
- la figura 14 y 15 ilustran ejemplos de imágenes de iris normalizadas;
- 55 la figura 16 es un diagrama de bloques de un sistema de identificación para caballos, basado en el análisis del iris; y
- 60 la figura 17 muestra un ejemplo de un registro en una base de datos usada en el sistema de identificación mostrado en la figura 16.

Descripción detallada de las formas de realización preferidas

65 Como ejemplo de una imagen de un ojo de un vertebrado, la figura 1 muestra una imagen de un ojo (izquierdo) 10 de un caballo. Se han mostrado esquemáticamente un párpado superior 12, un párpado inferior 14, una conjuntiva 14, una pupila 18 y un iris 20 del ojo. Tal como resulta típico para los caballos, la pupila 18 es alargada

en la dirección lateral. Una esclerótica brillante 22 del ojo queda oculta casi completamente por los párpados, de manera que solamente son visibles pequeñas fracciones de un límite exterior 24 del iris (límite del iris/esclerótica).

5 La figura 2 ilustra etapas esenciales de un procedimiento para crear un código de iris a partir de una imagen del tipo mostrada en la figura 1.

En una etapa S1, se captura una imagen del ojo con una cámara digital 26 (mostrada en la figura 3).

10 En la etapa S2, la imagen digital se somete a algoritmos de procesamiento de imagen para delinear un límite 28 de la pupila 18.

15 En la etapa S3, la imagen se somete a un procesamiento de imagen adicional para crear una imagen de iris normalizada, es decir, una imagen del iris que se normaliza a un tamaño estándar del límite de iris exterior 24 y a un tamaño estándar de la pupila 18. Dicha normalización de la imagen es necesaria debido a que, en la práctica, la pupila 18 se dilata y contrae como respuesta a condiciones de iluminación variables, de manera que, cuando se comparan dos imágenes del mismo iris, normalmente la posición y la forma del límite de pupila 28 no serán iguales.

20 Finalmente, en la etapa S4, la imagen de iris normalizada se filtra con un filtro apto para obtener un código de iris binario que tiene un número razonable de bits y que, sin embargo, tiene la capacidad de codificar los rasgos estructurales característicos del iris 20.

25 Tal como se muestra en la figura 3, la cámara 26 que se usa para capturar la imagen del ojo 10 en la etapa S1 tiene una caja 30 y un objetivo 32. Dos fuentes de luz 34 están montadas rígidamente en la caja 30 y están dispuestas simétricamente a ambos lados del objetivo 32. Preferentemente, las fuentes de luz 34 emiten luz en el infrarrojo cercano al cual es sensible la cámara 26, de manera que las fuentes de luz proporcionan buenas condiciones de iluminación sin cegar al caballo ni provocar que la pupila 18 se contraiga excesivamente. La iluminación del infrarrojo cercano se usa también para revelar más eficazmente la estructura del iris ya que la
30 misma penetra en el pigmento del mismo mejor que las longitudes de onda visibles.

Tal como se ha mostrado esquemáticamente en la figura 3, rayos de luz entrantes 36 se propagan desde cada una de las fuentes de luz 34 hacia el ojo 10, y rayos salientes 38 se propagan desde el ojo 10 al objetivo 32 después de haber sido reflejados en la córnea 40 del ojo.

35 Como consecuencia, la imagen capturada con la cámara 26 incluye un patrón de especularidad formado por dos puntos especulares brillantes 42 (véase también la figura 1), los cuales son imágenes especulares reducidas de las dos fuentes de luz 34. Aunque las fuentes de luz 34 tienen tamaños y brillos idénticos, los puntos 42 pueden ser de tamaño diferente, en función de la curvatura local de la córnea 40.

40 Las posiciones de los puntos especulares 42 en la imagen se determinan por las posiciones de las fuentes de luz 34 con respecto a la cámara 26 (figura 3) y por la posición de la cámara 26 con respecto al ojo 10, de acuerdo con las leyes de la óptica geométrica. El rayo entrante 36 de cada fuente de luz y el rayo saliente correspondiente 38 son simétricos con respecto al eje de incidencia, es decir, la normal a la córnea 40 en el punto de reflexión de los rayos 36, 38.

45 Más específicamente, tal como se ha ilustrado en la figura 4, la separación s entre los dos puntos 42 se hace menor cuando la distancia D entre la cámara 26 y el ojo 10 aumenta. Por lo tanto, puesto que las distancias de las fuentes de luz 34 con respecto al objetivo 32 son conocidas, es posible calcular la distancia de cámara-al-ojo D a partir de la separación entre los puntos especulares 42 cuando se conoce la forma de la córnea 40.

50 En una primera aproximación, puede suponerse que la córnea 40 es esférica con una curvatura constante que será conocida para una especie dada, al menos para individuos adultos. Para no adultos, existirá una relación conocida entre la curvatura de la córnea 40 y la edad del individuo. En esta primera aproximación, la distancia de cámara-al-ojo D se puede calcular sobre la base de consideraciones geométricas directas.

55 En un planteamiento más realista, la curvatura local de la córnea 40 será una función de la distancia del punto de incidencia respectivo con respecto al centro de la pupila 18. A continuación, para una configuración dada de la cámara 26 y de las fuentes de luz 34 y una especie animal dada, la relación entre la separación s de los puntos especulares 42 y la distancia de cámara-al-ojo D vendrá dada por una función que se puede determinar empíricamente. Se ha mostrado un ejemplo de una gráfica 44 de una función del tipo mencionado en un diagrama en la figura 5, donde la separación de especularidad s , medida en unidades de píxeles en la imagen digital, se indica en la abscisa, y la distancia de cámara-al-ojo D se indica en la ordenada.

60 Para ciertas especies, por ejemplo, para caballos, la córnea típicamente tiene curvaturas diferentes (aunque constantes) en la dirección vertical y horizontal. Entonces, la consideración de una córnea esférica es realista

siempre que los puntos de especularidad 42 estén separados a lo largo de una sección aproximadamente horizontal.

5 En un procesador destinado a procesar la imagen digital obtenida con la cámara 26 (el procesador se puede implementar en la cámara 26 y no se ha mostrado en este caso), la función representada por la gráfica 44 se puede almacenar en forma de una tabla de consulta o en forma de una expresión algebraica, de manera que la distancia de cámara-al-ojo D puede obtenerse fácilmente a partir de la separación s entre los puntos 42.

10 La figura 6 ilustra una situación en la que la cámara 26 captura la imagen del ojo 10 desde una posición ligeramente inclinada, de manera que un eje de presentación A que pasa a través del ojo 10 y la cámara 26 forma un ángulo α (ángulo de presentación) con una línea visual S del ojo 10, definiéndose la línea visual S como una línea que pasa a través del centro de la pupila 18 y es normal al plano de esa pupila. En este caso, uno de los puntos especulares 42 está más cerca de la línea visual S y, por lo tanto, del centro de la pupila 18 en comparación con el otro punto.

15 En la práctica, el eje óptico A de la cámara 26 puede desviarse con respecto a la línea visual S del ojo 10 tanto en la dirección horizontal (según se muestra en la figura 6) como en la dirección vertical (no mostrada). En la figura 1, un centro común o punto medio de los puntos 42 se ha designado como 46. Una desviación de la cámara 26 con respecto a la línea visual S en la dirección horizontal se traduce en una deriva horizontal a del punto medio 46 con respecto a un centroide o centro 48 de la pupila 18, y una desviación de la cámara con respecto a la línea visual S en la dirección vertical se traduce en una deriva vertical b.

20 Cuando se conoce la distancia de cámara-al-ojo D, los ángulos de presentación, tales como el ángulo α , pueden calcularse a partir de las derivas a y b. Para medir estas derivas en la imagen digital, debe conocerse la posición del centro 48 de la pupila 18. Con ese fin, tal como es sabido en general en la técnica del procesado de imágenes y se ha ilustrado en la figura 1, puede dibujarse un recuadro delimitador rectangular 50 en torno al área relativamente oscura de la pupila 18, y el centro de ese recuadro delimitador 50 puede tomarse como el centro 48 de la pupila.

25 Así, en resumen, un análisis del patrón de especularidad (puntos 42) permite determinar cuatro de los seis grados de libertad de la posición de la cámara 26 con respecto al ojo 10. Los dos grados de libertad restantes son rotaciones de la cámara en torno a un eje horizontal y vertical, respectivamente, lo cual, sin embargo, únicamente conduce a un desplazamiento de la imagen en la dirección horizontal y vertical en la figura 1 y se puede compensar fácilmente moviendo la imagen de tal manera que el centro 48 de la pupila se sitúe en el centro de la imagen. El conocimiento de los cuatro grados de libertad relevantes de la cámara 26 permite comprobar la posición de la cámara en el mismo instante en el que se captura la imagen del ojo.

30 A continuación se explicará, en combinación con un diagrama de flujo mostrado en la figura 7, un ejemplo de un procedimiento de captura de imágenes que utiliza los principios que se han descrito anteriormente. Este diagrama de flujo amplía la etapa S1 de la figura 2.

35 En la etapa S1-1, la imagen del ojo 10 se "graba" con la cámara 26. Esto significa que la cámara está funcionando en un modo de vídeo en el cual los datos de imagen son transmitidos continuamente desde una matriz CCD de la cámara a un módulo de procesado en donde los mismos se procesan adicionalmente. Simultáneamente, la imagen se puede visualizar continuamente en un módulo de visualización de la cámara, pero los datos de imagen no se guardan todavía en una memoria mientras el usuario de la cámara no accione un botón de disparo de esta última.

40 En la etapa S1-2, el software de procesado busca el patrón de especularidad, es decir, los puntos brillantes 42, en la imagen digital. Estos puntos tendrán los valores de intensidad más altos de toda la imagen, de manera que son sencillos de encontrar y, a continuación, pueden servir como guía que indique el área de imagen en la que debería esperarse la pupila (18) del ojo.

45 En la etapa S1-3, se mide (en unidades de píxeles) la distancia entre los puntos 42, y se calcula la distancia de cámara-al-ojo D sobre la base de una función del tipo mostrado en la figura 5.

50 En la etapa S1-4, el algoritmo de procesado busca una región con valores de intensidad muy bajos en las proximidades de los puntos 42. Esta región es un candidato a pupila 18 y queda incluida en el recuadro delimitador 50. Esto proporciona al menos una estimación aproximada para la posición del centro 48 de la pupila.

55 A continuación, en la etapa S1-5, se miden las derivas a y b (figura 1) y se calculan los ángulos de presentación (el ángulo α y su homólogo para una deriva vertical) sobre la base de la distancia de cámara-al-ojo D que se ha calculado antes en la etapa S1-3.

60 Opcionalmente, las derivas angulares se pueden usar para precisar el cálculo de la distancia de cámara-al-ojo D. Cuando la córnea 40 no es esférica, la forma exacta de la gráfica 44 de la figura 5 también dependerá de las

derivadas angulares, de manera que, en función de los valores concretos de las derivadas angulares, debería seleccionarse una función adecuada para derivar la distancia D a partir de la separación de especificidad.

En la etapa S1-6, se comprueban la distancia calculada D y las derivadas angulares con respecto a intervalos de tolerancia predeterminados. Cuando los valores calculados están dentro de sus intervalos de tolerancia respectivos (Y), esto significa que la cámara se encuentra en una posición adecuada (o casi óptima) para capturar la imagen del ojo 10. A continuación, en la etapa S1-7 se desbloquea la cámara, y en el módulo de visualización de la misma se muestra un signo correspondiente de "ok", indicándole al usuario que puede pulsar el botón de disparo. Cuando se dispara la cámara, en la etapa S1-8, la imagen se escala a un tamaño estándar sobre la base de la distancia calculada D , de manera que los ojos de igual tamaño también tendrán el mismo tamaño en la imagen digital, con independencia de la distancia exacta de la cámara-al-ojo. Además, la imagen se recorta a una altura y una anchura estándares que se seleccionan de tal manera que la imagen contenga solamente la parte de imagen relevante, es decir, la región en torno al iris 20. Finalmente, la imagen escalada y recortada se guarda en una memoria para un procesamiento posterior.

Cuando, en la etapa S1-6, se halla que al menos una de la distancia D y las derivadas angulares no es admisible (N), en el módulo de visualización de la cámara, en la etapa S1-9, se muestran instrucciones de corrección correspondientes, que le enseñan al usuario cómo debe mover la cámara para situar la distancia y las derivadas angulares en los intervalos de tolerancia respectivos. Desde la etapa S1-9, el programa realiza un bucle de vuelta a la etapa S3, y las etapas S1-3 a S1-6 se repiten hasta que se ha alcanzado una posición adecuada de la cámara.

En una forma de realización modificada de este procedimiento, se llevaron a cabo cálculos correspondientes a los de las etapas S1-3 a S1-5 únicamente después de que se haya disparado la cámara y se haya guardado la imagen. En función del resultado de una comprobación que es comparable a la etapa S1-6, a continuación al usuario se le informará de si la imagen es aceptada o rechazada. En este caso, el procesamiento no tiene por qué realizarse en la cámara sino que se puede efectuar en un ordenador multipropósito al cual se conecta la cámara 26 después de que se haya tomado la imagen.

La figura 8 es un diagrama de flujo que amplía la etapa S2 (figura 2) de delineación del límite de pupila 28 (figura 1).

En este ejemplo, la imagen que se ha guardado en la etapa S1-8 es una imagen de intensidad monocromática (infrarrojo), en la que se asigna un valor de intensidad a cada píxel de la imagen. Evidentemente, sería posible una ampliación directa a imágenes de color con, por ejemplo, tres valores de intensidad por píxel.

En la imagen de intensidad, el área de la pupila 18 es un área de baja intensidad que, sin embargo, está "perforada" por los puntos de especificidad 42. Para reconstruir el área de pupila original, en la etapa S2-1 se elimina el patrón de especificidad. Esto puede lograrse por medio de un algoritmo de restauración de imágenes el cual rellena el área de los puntos 42 usando información del área circundante de la pupila 18. Matemáticamente, el problema es equivalente a resolver un sistema de ecuaciones de Navier-Stokes en dinámica de fluidos clásica, cuando la intensidad de la imagen se considera como una "función de corriente" para un flujo incompresible bidimensional. El Laplaciano de la intensidad de la imagen juega el papel de la vorticidad del fluido y se transporta a la región de los puntos 42 por un campo vectorial definido por la función de corriente. Detalles del algoritmo son descritos por Bertalmio, M.; Bertozzi, A. L.; Sapiro, G.: "Navier-Stokes, Fluid Dynamics and Image and Video Inpainting", *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001, CVPR 2001, *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference*, vol. 1., págs. I-355 a I-362. Evidentemente, puede usarse cualquier otro procedimiento de restauración de imágenes conocido.

En la medida en la que la pupila 18 es un área de baja intensidad, las intensidades se comparan con un umbral en la etapa S2-2, y los píxeles que tienen una intensidad por encima del umbral se enmascaran, de manera que solamente quedan áreas de baja intensidad las cuales deberían incluir el área de pupila. El valor de umbral puede ser, por ejemplo, el 25% del valor de intensidad más alto (después de que se hayan eliminado los puntos de especificidad 42).

El área de pupila no solamente está caracterizada por valores de baja intensidad sino también por un área de baja textura, es decir, un área que está prácticamente exenta de variaciones sustanciales de intensidad de alta frecuencia. Esta es la razón por la que, además del criterio de intensidad, el procedimiento para identificar el área de pupila usa también una imagen de textura que se construye en la etapa S2-3.

La imagen de textura puede obtenerse a partir de la imagen de intensidad calculando un contraste de borde para cada píxel. Por ejemplo, con ese fin puede usarse un filtro de Sobel de primera derivada, y la salida se puede suavizar con un filtro de promediado espacial.

La etapa S2-4 es una etapa de formación de un producto, a nivel de puntos, de la imagen de intensidad enmascarada obtenida en la etapa S2-2 y la imagen de textura obtenida en la etapa S2-3, es decir, el valor de

intensidad de cada píxel se multiplica por el valor de contraste de ese píxel. De este modo, las áreas de imagen en la imagen de intensidad enmascarada que presentan tanto una baja intensidad como una baja textura se caracterizan por valores particularmente bajos en la imagen de producto. Puede esperarse que los píxeles del área de pupila presenten los valores de producto más bajos en la imagen completa y, por otra parte, estos valores de producto serán prácticamente idénticos, puesto que el área de pupila es esencialmente uniforme tanto en cuanto a intensidad como en cuanto a textura. Consecuentemente, se obtendrá una buena estimación para el área de pupila real comparando los valores de producto con un umbral seleccionado adecuadamente.

Con ese fin, en la etapa S2-5 se calcula un histograma de la imagen de producto. En la figura 9 se ha ilustrado un ejemplo de dicho histograma, que muestra la frecuencia de aparición de cada valor de producto (es decir, el número de píxeles que tienen ese valor de producto) en función del valor del producto. Los píxeles de la pupila 18 formarán un pico nítido 52 en el extremo inferior del histograma.

En la etapa S2-6, se selecciona un umbral T (figura 9) tal que el mismo marca el extremo superior del pico 52. Consecuentemente, puede esperarse que todos los píxeles que presenten valores de producto por debajo del umbral T formen el área de pupila.

En la etapa S2-7 se selecciona el conjunto de píxeles que satisface este criterio umbral. En la figura 10 se ha mostrado un ejemplo de un conjunto 54 del tipo mencionado. En la práctica, puede haber, por supuesto, valores atípicos, por ejemplo, "islotos" 56 de píxeles que están situados fuera del área de la pupila 18 pero que tienen valores de producto por debajo del umbral T, y "bahías" 58 y "lagos" 60 de píxeles del área de pupila que tienen valores de producto por encima del umbral T.

En la etapa S2-8, los islotes 56 se eliminan, usando técnicas de procesado de imágenes bien conocidas tales como operaciones morfológicas de dilatación y erosión. Las bahías 58 y los lagos 60 se eliminan formando la envoltura convexa del conjunto restante 54, tal como se ha mostrado en la figura 11. Normalmente, esta envoltura convexa será una buena suposición para el límite real 28 de la pupila 18.

No obstante, puede haber casos en los que el área de pupila obtenida de esta manera sea de un tamaño grande o pequeño de una manera irrealista o inaceptable. Las razones de esto pueden ser, por ejemplo, una elección inadecuada del umbral T o una dilatación o contracción extrema de la pupila del caballo como consecuencia de condiciones de iluminación anómalas. En realidad, este último caso no será "irrealista", pero, sin embargo, debería excluirse, ya que las dilataciones o contracciones extremas de la pupila implicarían que el iris 20 se distorsiona hasta un nivel que imposibilita la concordancia de código de iris incluso para imágenes tomadas del mismo individuo. Por este motivo, en la etapa S2-9 se comprueba si las dimensiones del iris 18, por ejemplo, la altura total, según se determina sobre la base de la envoltura convexa, está dentro de un intervalo aceptable. El límite superior e inferior de este intervalo puede determinarse empíricamente para la especie dada de vertebrados. En este contexto, debe indicarse que la altura del área de pupila en la imagen digital puede tomarse como una medición de la altura real de la pupila ya que el proceso de captura de imágenes (etapa S1) garantiza que las imágenes se toman siempre desde aproximadamente la misma distancia y las variaciones residuales de distancia se han compensado por el escalado de la imagen.

Si el resultado de la comprobación en la etapa S2-9 es negativo (N), en la etapa S2-10 se comprueba si se ha activado una bandera. Si la bandera no se ha activado (N), la bandera se activa en la etapa S2-11, y el programa efectúa un bucle de vuelta a la etapa S2-6. A continuación, en la etapa S2-6 se intentará obtener una pupila con un tamaño razonable corrigiendo el umbral T. Cuando la dimensión de la pupila sea demasiado grande, el umbral T se desplazará a valores más bajos, y se desplazará a valores más altos cuando la dimensión de la pupila sea demasiado pequeña. Cuando las etapas S2-6 a S2-8 se hayan recorrido una segunda vez, y, en la etapa S2-9, se siga observando que las dimensiones de la pupila no son aceptables, en la etapa S2-10 se observa que la bandera está activa (S) lo cual indica que ya se ha efectuado un intento de corregir el umbral T y el mismo ha fallado. En este caso, en la etapa S2-12 se rechaza la imagen y se invita al usuario a que capture una imagen nueva.

Evidentemente, en una forma de realización modificada, la bandera que se comprueba en la etapa S2-10 puede sustituirse por un valor de recuento que cuente el número de veces que se ha recorrido el bucle S2-6 a S2-11, de manera que pueda llevarse a cabo un número mayor de intentos de corrección para el umbral T.

Cuando la comprobación en la etapa S3-9 obtiene el resultado de que las dimensiones de la pupila son aceptables (S), se completa el proceso de delineación del límite de pupila, y el programa continúa con la etapa S2-13 para llamar al procedimiento destinado a normalizar la imagen del iris (etapa S3).

En una forma de realización modificada, puede llevarse el cálculo de las derivas angulares (como en la etapa S1-5 de la figura 7) o un cálculo más exacto de estas derivas posteriormente a la delineación del límite de pupila, de manera que el límite de pupila más exactos pueden usarse para determinar la posición del centro 48 de la pupila.

Tal como se muestra en la figura 11, el iris 20 es un área con forma de anillo que está delimitada en la periferia

interior por el límite de pupila 28 y, en la periferia exterior, por el límite 24 del iris/esclerótica. Cuando la pupila 18 se dilata o contrae mientras el límite exterior 24 del iris permanecen invariables, cada punto del iris 20 se desplazará en una dirección en general radial en una magnitud que es elevada cuando el punto está próximo al límite de pupila 28 y que se reduce cuando el punto está más próximo al límite exterior fijo 24. La finalidad de la etapa de normalización S3 es obtener una imagen de iris normalizada que no se vea afectada por las dilataciones y contracciones de la pupila 18, de manera que las imágenes del iris y los código de iris resultantes se pueden comparar entre sí.

El planteamiento consiste en transformar las coordenadas del píxel del área del iris desde un sistema de coordenadas xy cartesiano (mostrado en la figura 11) a un sistema de coordenadas al que se puede denominar "sistema generalizado de coordenadas polares".

Si pudiera suponerse que la pupila 18 es circular, podría usarse un sistema verdadero de coordenadas polares, tal como se sabe para el análisis del iris para humanos. En ese caso, la normalización para radios variables de la pupila se podría lograr fácilmente fijando la coordenada del radio del píxel de manera proporcional a la diferencia entre el radio del límite del iris/esclerótica y el radio de la pupila. No obstante, en el procedimiento que se describe en la presente, el límite de pupila 28 no se define como un círculo sino como un objeto de línea geométrica más complejo el cual únicamente puede ser descrito con un número mayor de parámetros. Por ejemplo, el límite 28 puede ser un polígono con un número muy elevado de vértices conectados por segmentos de líneas rectas que constituirán una aproximación del contorno liso del límite real. Un objeto de este tipo únicamente puede describirse definiendo las posiciones de las coordenadas de cada vértice del polígono. Esto hace que el sistema de identificación sea más robusto contra formas irregulares de la pupila aunque, por otro lado, requiere una transformación de coordenada no trivial a efectos de la normalización.

Con el fin de obtener un nuevo sistema adecuado de coordenadas, el área con forma de anillo del iris 20 se divide en una secuencia de rayos radiales 62, tal como se ha mostrado simbólicamente en la figura 12. En la práctica, el número de rayos será significativamente superior al de la figura 12, preferentemente tan grande que cada píxel de la imagen se sitúe sobre uno de los rayos 62. Esto puede que implique un redimensionamiento y una re-conformación de los píxeles. Para al menos algunos de los rayos 62, la separación de un rayo a otro es mayor cerca del límite exterior 24 que cerca del límite de pupila 28. Cerca del límite exterior 24, pueden formarse unos píxeles mayores realizando un muestreo o un promediado sobre una pluralidad de píxeles de la imagen original, lo cual significa una pérdida de resolución. A la inversa, cuando el tamaño del píxel original se mantiene aproximadamente cerca del límite exterior 24, dos o más de los rayos 62 pueden pasar sobre el mismo píxel original cerca del límite de pupila 28, lo cual significa que la información de la imagen resulta redundante. Por lo tanto, el número y la densidad de los rayos 62 se seleccionan de manera que constituyan un compromiso razonable entre la resolución y la redundancia.

Los rayos 62 se enumeran secuencialmente a lo largo del límite de la pupila 28. En el ejemplo simplificado de la figura 12 (20 rayos), los números de los rayos van del 1 al 20. Para un píxel situado en un rayo dado 62, el número corriente de ese rayo será la primera coordenada "a" en el nuevo sistema de coordenadas. Como ejemplo, la figura 12 muestra un píxel 64 en el rayo número 13, de manera que la primera coordenada "a" de este píxel será $a = 13$. Una segunda coordenada r del píxel 64 se determina por su ubicación en el rayo, normalizada a la longitud completa del rayo correspondiente, de manera que un píxel situado sobre el límite de pupila 28 tendría la segunda coordenada $r = 0$ y un píxel situado sobre el límite exterior 24 del iris tendría la coordenada $r = 1$.

De este modo, cuando el límite de pupila 28 se dilata mientras las coordenadas (a, r) se mantienen constantes, el píxel 64 designado por estas coordenadas se moverá hacia fuera a lo largo de su rayo. Este movimiento del píxel simulará, al menos aproximadamente, el movimiento del punto correspondiente sobre el iris cuando este último es distorsionado físicamente por la dilatación de la pupila.

Así, cuando se capturan dos imágenes del mismo iris para estados diferentes de dilatación de la pupila 18, los píxeles que tienen las mismas coordenadas (a, r) tendrán, al menos aproximadamente, los mismos valores de intensidad.

En el esquema que se ha descrito anteriormente, existen todavía algunas alternativas en la disposición exacta de los rayos 62. En el ejemplo mostrado, los rayos están dispuestos de manera que son normales al límite de pupila 28 (es decir, normales a la tangente de este límite en el punto en el que el rayo se encuentra con el límite).

En una forma de realización modificada, puede definirse un número de puntos equidistantes sobre el límite de pupila 28, y, sobre el límite exterior 24, podría definirse un número similar de puntos equidistantes, y los rayos se pueden formar conectando puntos correspondientes sobre los dos límites.

También es posible otra disposición de los rayos 62 siempre que la manera en la que se desplacen los píxeles como respuesta a las dilataciones y contracciones de la pupila se corresponda de manera suficiente precisa con la distorsión real del iris.

- 5 Cuando el límite 24 del iris/esclerótica o al menos una parte sustancial de los mismos es visible en la imagen capturada, de manera que cualquier parte oculta del límite se puede interpolar fácilmente sobre la base de la consideración de que el límite tiene una forma regular (por ejemplo, circular) (como es el caso típico de los humanos), la longitud de cada rayo 62 se determina por el requisito de que el extremo exterior del rayo debe estar situado sobre el límite 24. No obstante, cuando el límite 24 queda considerablemente oculto, tal como en el ejemplo que se muestra en la figura 1, debe hallarse una manera adecuada de “reconstruir” el límite 24 o, de forma más precisa, construir un límite imaginario que sea similar al límite real.
- 10 En el ejemplo mostrado en la figura 12, se supone que la altura del iris 20, es decir, la distancia entre el ápice inferior y el ápice superior del límite 24, es esencialmente la misma para todos los individuos adultos de la misma especie. Para caballos, se ha confirmado que esta suposición se cumple con la suficiente precisión.
- 15 Puesto que la imagen que se ha obtenido en la etapa S1-8 se escala a una distancia de cámara-al-ojo D estándar, la suposición anterior implica que la dimensión vertical del límite 24 tiene un valor fijo, por ejemplo, 150 píxeles en el sistema de coordenadas x-y mostrado en la figura 11. A continuación, puede obtenerse un valor razonable para la longitud de los rayos 62 restando la dimensión vertical de la pupila 18 (medida en píxeles en la figura 11) de la dimensión vertical del límite 24, y dividiendo la diferencia por dos. En el ejemplo mostrado en la figura 12, se supone que todos los rayos 62 tienen la misma longitud la cual se calcula de acuerdo con esta fórmula. Junto con el requisito de que los rayos sean normales al límite de pupila 28, esto define la forma del límite exterior 24.
- 20 Al menos para caballos, esta manera de construir el límite 24 es realista. Cuando la dilatación y la contracción de la pupila 18 no son isotropas, la dimensión horizontal del límite 24 (distancia desde el lápiz izquierdo al lápiz derecho en la figura 12) no será exactamente constante. No obstante, se observa que las desviaciones resultantes por la forma física del iris son aceptables.
- 25 La figura 13 ilustra una forma de realización modificada en la que se supone que, no solamente la altura, sino también la anchura de la pupila 20 (su límite exterior 24) es constante, y se puede obtener una aproximación de la forma del límite 24 por medio de un óvalo adecuado, tal como una elipse o un óvalo de Cassini. En el ejemplo mostrado en la figura 13, se supone que la altura del iris es 150 píxeles y se supone que la anchura es 250 píxeles. Nuevamente, los rayos 62 están dispuestos de manera que son normales al límite de pupila 28. Además, en este ejemplo, los rayos 62 se han dispuesto de tal manera que sus puntos extremos exteriores (sobre el límite 24) son equidistantes. Como alternativa, se puede hacer que los puntos extremos interiores (sobre el límite de pupila 28) sean equidistantes (como en la figura 12), o pueden requerirse distancias iguales para puntos correspondientes sobre los rayos 62 para cualquier valor de coordenada r dado entre 0 y 1.
- 30 La figura 14 proporciona un ejemplo de una imagen de iris normalizada 66 resultante de la transformación de coordenadas que se ha explicado en combinación con la figura 12. En este caso, las coordenadas (a, r) se representan como coordenadas cartesianas, con las coordenadas a sobre la abscisa y las coordenadas r sobre la ordenada, de manera que el área con forma de anillo de la pupila 20 evoluciona hacia una tira rectangular 68.
- 35 Idealmente, dos imágenes de iris normalizadas 66 obtenidas a partir de dos fotografías del mismo ojo deberían ser idénticas. No obstante, en la práctica, la posición absoluta, por ejemplo, del rayo número 1 sobre el límite de pupila 28, es algo arbitraria, de manera que las coordenadas a en una imagen se pueden desplazar ligeramente con respecto a las coordenadas a en la otra imagen. Este efecto se puede compensar con una ligera “rotación” del patrón de rayos a lo largo del límite 28 o, de forma equivalente, una permutación cíclica de los rayos en la imagen normalizada 66, tal como se ha ilustrado en la figura 15.
- 40 Dicho desplazamiento de las coordenadas a también podría venir causado por una ligera rotación de la cámara 26 en torno al eje de presentación A (figura 6) cuando se captura la imagen. En este caso, una posibilidad alternativa para compensar el desplazamiento es girar la imagen digital (antes de la transformación de coordenadas) hasta que el eje de mayor elongación de la pupila sea horizontal en la imagen.
- 45 Otro tipo de diferencias entre dos imágenes normalizadas tomadas del mismo ojo puede venir causado por diferentes posiciones de los párpados superior e inferior 12, 14 en el instante en el que se toman las fotos, de manera que se ocultan partes menores o mayores del iris 20. Consecuentemente, cuando se comparan dos imágenes normalizadas, deberían ignorarse las áreas del iris que puedan verse afectadas por movimientos ligeros de los párpados. En la figura 12, estas áreas se han delimitado con líneas rectas 70, 72 en las partes superior e inferior del iris 20. En la figura 14, las partes ignoradas de la tira 68 en la imagen normalizada 66 se delimitan con líneas correspondientes 70', 72'.
- 50 Para facilitar y acelerar la identificación de individuos, las imágenes normalizadas 66 no se comparan directamente entre sí, sino que se someten a un procedimiento de filtrado que da como resultado un código de iris más comprimido (etapa S4 en la figura 2). Dichos procedimientos de filtrado son conocidos en la técnica. Se han descrito ejemplos por parte de Daugman en el documento US 5 291 560 y en el artículo “How Iris
- 55
- 60
- 65

Recognition Works” que se ha citado en la parte introductoria de la presente descripción. Resumiendo, el proceso puede incluir filtrar franjas horizontales a través de la imagen de iris normalizada 66 con filtros logarítmicos de Gabor. Este proceso de filtrado proporciona un número complejo de cada punto a lo largo de la franja. A continuación, las fases de estos números complejos se pueden cuantificar en una representación de dos bits que especifica el cuadrante del plano complejo en el cual se sitúa el ángulo de fase. Estos bits, juntos, forman el código de iris.

Para identificar un individuo, los códigos de iris así obtenidos concuerdan entre sí. Preferentemente, la concordancia de códigos se repite para varias versiones “rotadas” de la imagen normalizada 66 (figura 15), y las porciones delineadas con las líneas 70', 72' en la figura 14 se excluyen de la concordancia de códigos.

La concordancia de códigos comprende básicamente calcular el número de bits no concordantes (Distancia de Hamming) sometiendo los dos códigos que deben concordar a una operación lógica OR exclusiva (XOR). La fracción de los bits no concordantes en relación con el número total de bits indica la probabilidad de que los dos códigos representen ojos diferentes. Cuando esta fracción es menor que un cierto umbral, se considera que la concordancia de códigos ha resultado satisfactoria.

La figura 16 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un sistema de identificación que utiliza el procedimiento según la invención y diseñado para identificar caballos. Un proveedor 74 de los servicios de identificación mantiene una base de datos 76 y se comunica con una serie de clientes 78 por medio de una red de comunicaciones, por ejemplo, Internet.

Cada cliente 78 puede alquilar o comprar un kit de captura de código de iris 80 del proveedor 74. Cada kit 80 incluye la cámara 26 así como el software y el hardware necesarios para llevar a cabo el procedimiento que se ha descrito anteriormente.

En la figura 17 se ha proporcionado un ejemplo de un registro 82 que se mantiene en la base de datos 76 y describe un caballo individual. El registro 82 incluye un campo de código de iris 84 y otros diversos campos para otros datos relevantes acerca del caballo, tales como su nombre, raza, color y similares.

Cuando un cliente 78 desea registrar un caballo en la base de datos 76, usa su kit 80 para capturar una imagen de uno de los ojos o de ambos ojos del caballo y envía el código de iris que se ha creado sobre la base de esta imagen a la base de datos 76 junto con otra información a introducir en el registro 82. Preferentemente, el cliente genera una pluralidad de códigos de iris para el mismo ojo del caballo, y un software en el kit 80 o en las instalaciones del proveedor 74 comprueba si estos códigos son congruentes, es decir, si las concordancias del código entre estos códigos son satisfactorias. Cuando una concordancia de códigos no resulta satisfactoria, puede realizarse otro intento después de haber llevado a cabo un desplazamiento cíclico de los bits en uno de los códigos que debe concordar, reflejando este desplazamiento de bits una permutación cíclica de los rayos o coordenadas a según se ha descrito en combinación con las figuras 14 y 15. Cuando se ha obtenido un número suficiente de códigos de iris que se pueden comparar mutuamente entre sí, uno de estos códigos o un promedio sobre la totalidad de estos códigos se puede transmitir a la base de datos 76 para su introducción en el campo de código de iris 84.

Cuando un cliente 78 desea recuperar datos sobre un caballo individual de la base de datos 76, el mismo usa el kit 80 para crear un código de iris para este caballo y envía el código de iris a la base de datos 76, si es posible junto con otra información para identificar el caballo, tal como el nombre, el propietario, y similares. Para encontrar el registro pertinente en la base de datos, puede que resulte más conveniente buscar el nombre u otra información de ID en lugar de buscar un código de iris concordante. Cuando se ha encontrado un registro pertinente, el código de iris enviado por el cliente 78 se puede comprobar con respecto al código de iris almacenado en el registro con el fin de confirmar la identidad del caballo. Nuevamente, la concordancia de códigos se puede repetir para una versión del código desplazada en bits en caso de que el primer intento no resultase satisfactorio. Por otra parte, para mejorar la robustez de la identificación, es posible que el cliente 78 capture una pluralidad de imágenes del mismo ojo del mismo caballo y que envíe el código de iris correspondiente a la base de datos 76, en donde este se comprueba si concuerdan con el código almacenado. A continuación, se confirmará la identidad cuando por lo menos uno de los códigos concuerde. No obstante, el número requerido de códigos puede ser menor que en el caso en el que se introduzca un registro nuevo en la base de datos.

Cuando un cliente 78 intenta averiguar la identidad de un caballo desconocido, puede enviar el código de iris de ese caballo a la base de datos 76, y este código se puede comprobar con respecto a los códigos que están almacenados en todos los registros 82 de la base de datos, con el fin de determinar la identidad del caballo.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de segmentación de pupila en una imagen digital de un ojo de vertebrado, siendo dicha imagen una imagen de intensidad compuesta por unos píxeles que presentan, cada uno de ellos, un valor de intensidad específico, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:
- derivar una imagen de textura a partir de la imagen de intensidad, estando dicha imagen de textura compuesta por unos píxeles que presentan, cada uno de ellos, un valor de contraste de borde específico;
 - 10 - formar una imagen combinada combinando a nivel de puntos la imagen de intensidad con la imagen de textura,
 - identificar un conjunto de píxeles en la imagen combinada que satisfacen un criterio combinado de baja intensidad y bajo contraste; y
 - 15 - aproximar un límite de dicho conjunto por medio de una curva convexa y tomar dicha curva convexa como límite de la pupila.
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha curva convexa es una envoltura convexa de dicho conjunto de píxeles.
- 25 3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha imagen combinada es una imagen de producto formada por la multiplicación, a nivel de puntos, de la imagen de intensidad por la imagen de textura, y dicho criterio combinado de baja intensidad y bajo contraste es un criterio umbral para la imagen de producto.
- 30 4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que un umbral para dicho criterio umbral es determinado individualmente para la imagen digital, basándose en un análisis de histograma de la imagen de producto.
- 35 5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que el análisis de histograma comprende identificar un pico en un extremo inferior de un intervalo de valores de producto que aparecen en la imagen de producto, y el umbral es seleccionado para separar dicho pico del resto del histograma.
- 40 6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que dicho análisis de histograma comprende una operación de filtrado para suavizar el histograma, siendo dicha operación de filtrado llevada a cabo antes de que el pico sea identificado.
- 45 7. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende una comprobación sobre si una dimensión de dicho límite de la pupila, tal como es descrita por dicha curva convexa, está dentro de un intervalo predeterminado.
- 50 8. Procedimiento según la reivindicación 7, que comprende una etapa de medición de una distancia entre el ojo y una cámara con la cual la imagen digital es capturada, y una etapa de escalado de la imagen de intensidad en proporción a la distancia entre la cámara y el ojo, de tal manera que las dimensiones de un detalle en la imagen del ojo indiquen las dimensiones verdaderas correspondientes del detalle en el ojo real.
- 55 9. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que el proceso de segmentación es abortado y la imagen es rechazada cuando la dimensión del límite de pupila no está en dicho intervalo predeterminado.
- 60 10. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que, cuando dicha dimensión no está en el intervalo predeterminado, las etapas de identificación de un conjunto de píxeles que satisfacen el criterio combinado de baja intensidad y bajo contraste y de aproximación del límite de dicho conjunto con una curva convexa son repetidos para un criterio combinado de baja intensidad y bajo contraste.
- 65 11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que el proceso de segmentación es abortado y la imagen es rechazada cuando la dimensión del límite de pupila no está en el intervalo predeterminado después de que el criterio combinado de baja intensidad y bajo contraste haya sido modificado un número predeterminado de veces.
12. Procedimiento según la reivindicación 1, para una imagen digital que incluye un patrón de especularidad causado por la reflexión de por lo menos una fuente de luz en una córnea del ojo, comprendiendo el procedimiento una etapa de eliminación de dicho patrón de especularidad de la imagen de intensidad antes de que se lleven a cabo las otras etapas de la segmentación.
13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que se usa un algoritmo de restauración de imágenes para eliminar el patrón de especularidad.
14. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha curva convexa es un objeto de línea geométrico

cerrado que solamente puede ser descrito con más de cinco parámetros independientes.

- 5 15. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que dicho objeto de línea es un polígono, que se aproxima a una curva cerrada lisa.
16. Procedimiento de creación de un código de iris binario a partir de unos datos de imagen de un ojo de un vertebrado, que incluye humanos, usando el procedimiento según la reivindicación 1 para la segmentación de pupila.
- 10 17. Procedimiento según la reivindicación 16, que comprende una etapa de transformación de una imagen digital del iris en un sistema de coordenadas en el que cada punto sobre el iris es descrito por una primera coordenada que indica la posición del punto a lo largo del límite de la pupila y una segunda coordenada indica la distancia del punto con respecto a dicho límite.
- 15 18. Registro de datos almacenado en un soporte de datos legible por máquina, incluyendo dicho registro de datos un código de iris binario obtenido con el procedimiento según la reivindicación 17.
19. Kit de generación de código de iris que comprende una cámara y software y hardware aptos para realizar el procedimiento según la reivindicación 1.
- 20 20. Sistema de identificación para identificar vertebrados, que incluyen humanos, sobre la base de una concordancia de código de iris, que comprende por lo menos un kit de generación de código de iris según la reivindicación 19 y una base de datos que almacena unos registros de datos según la reivindicación 18.

Fig. 1

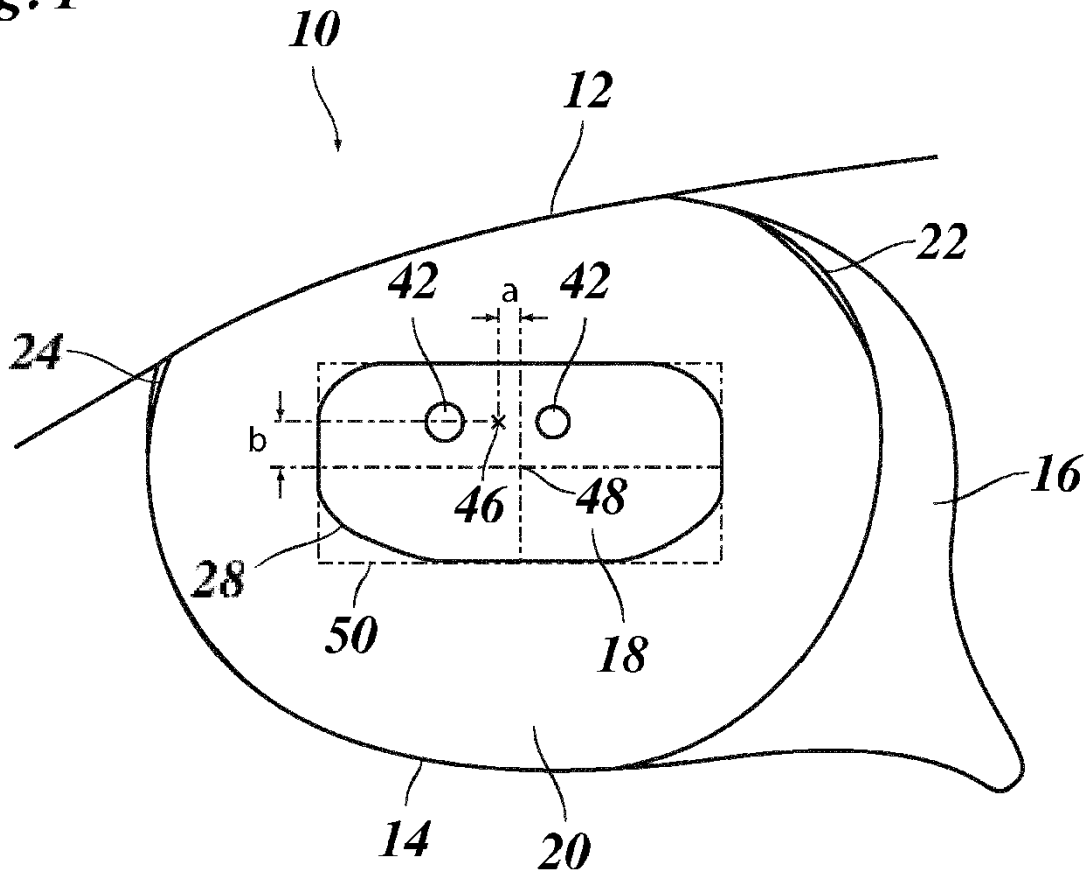


Fig. 2

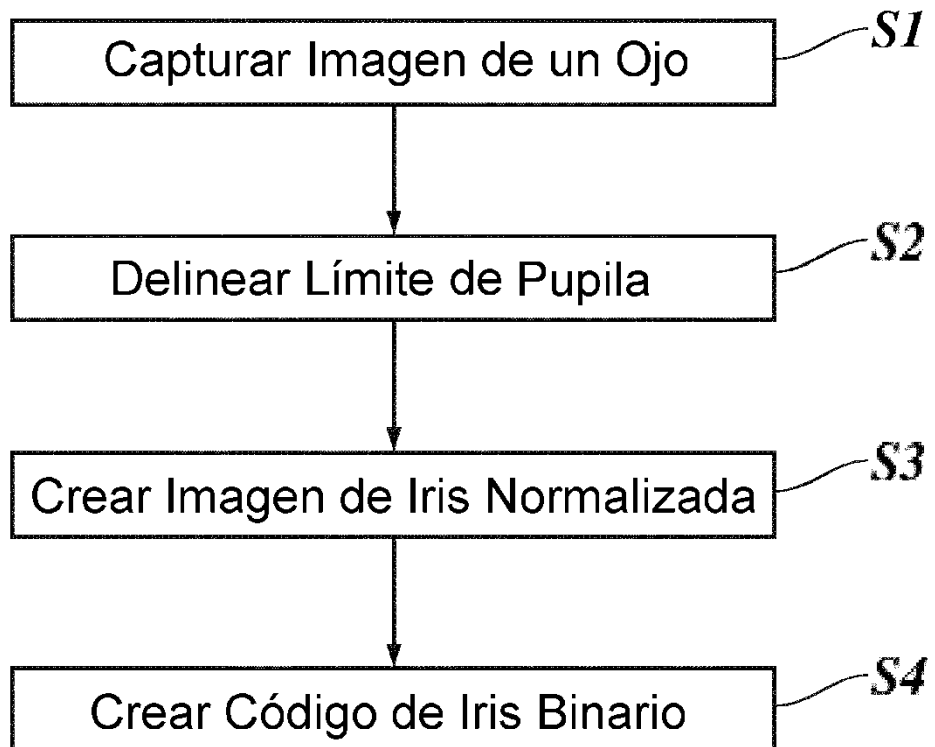


Fig. 3

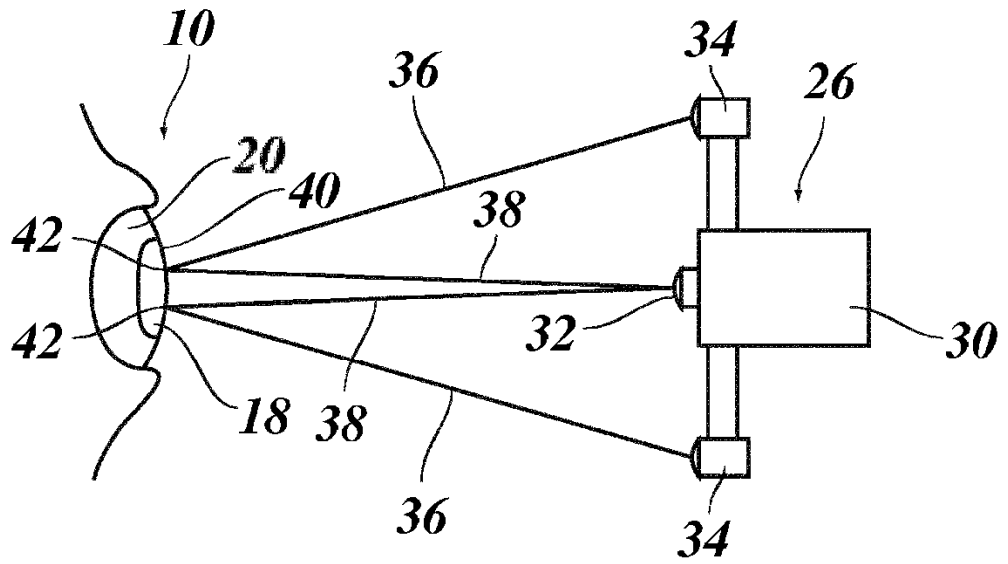


Fig. 4

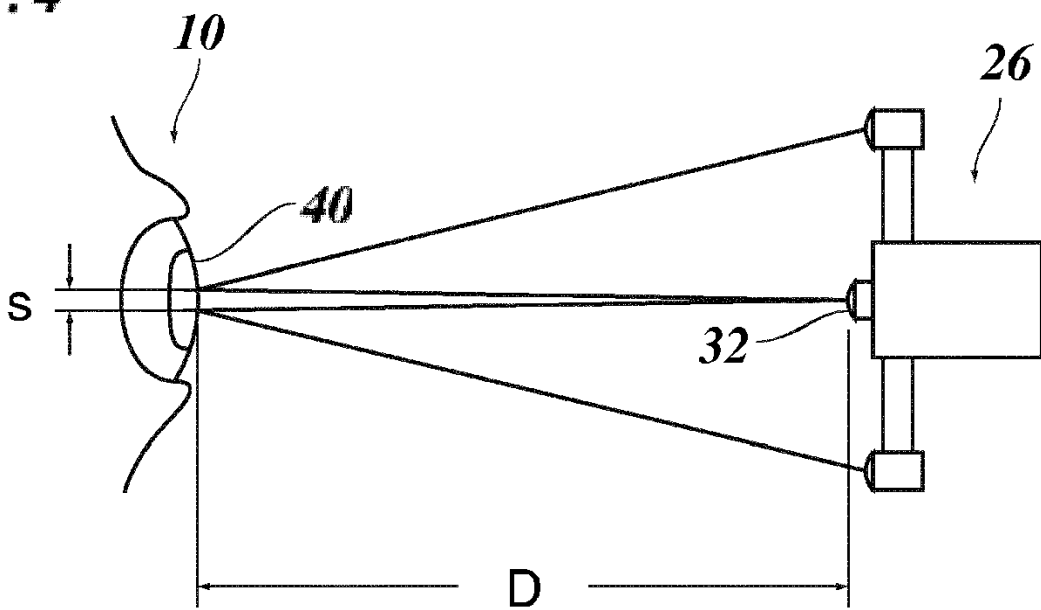


Fig. 5

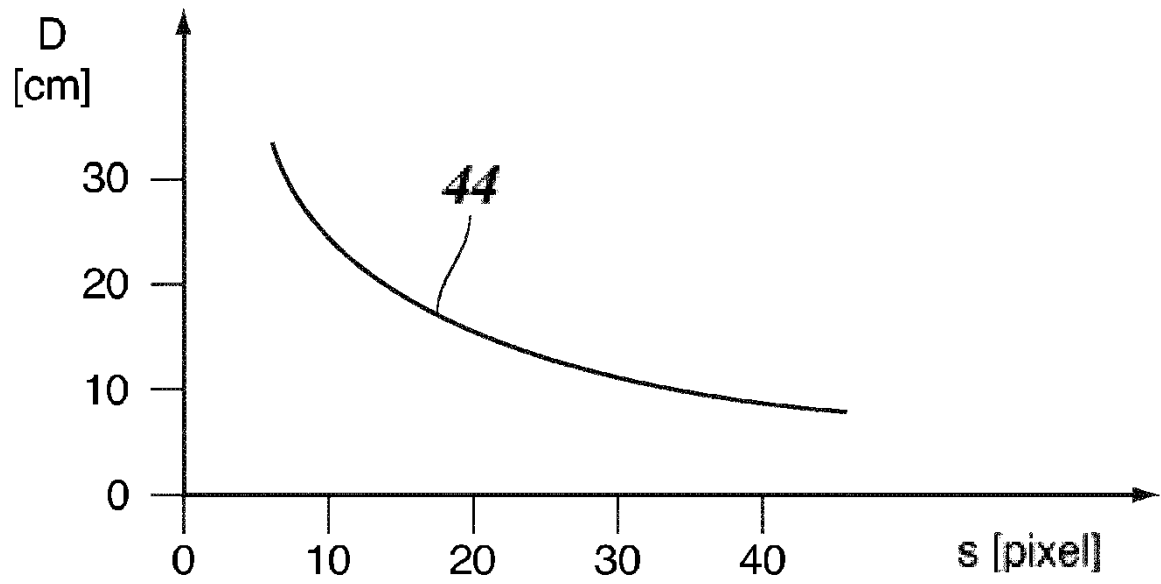


Fig. 6

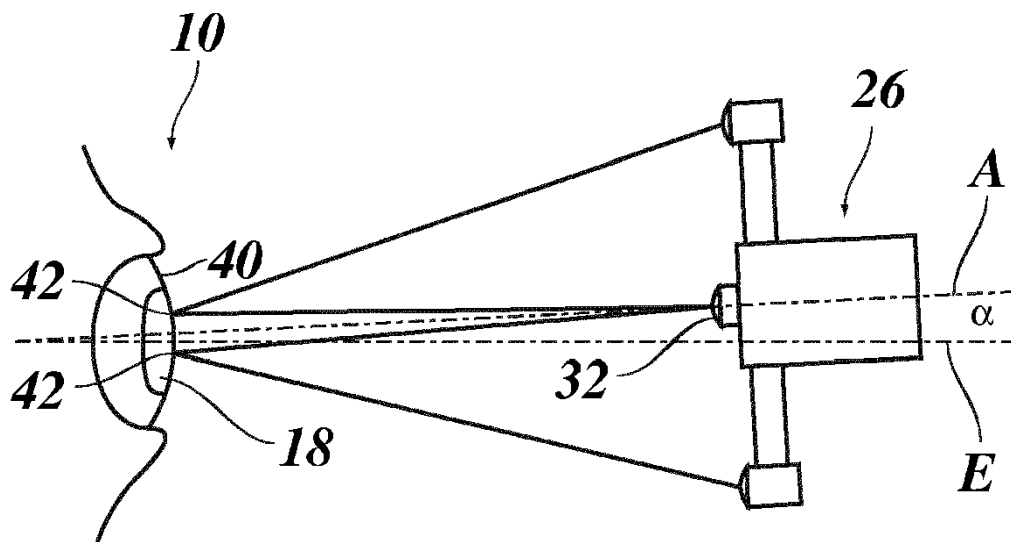


Fig. 7

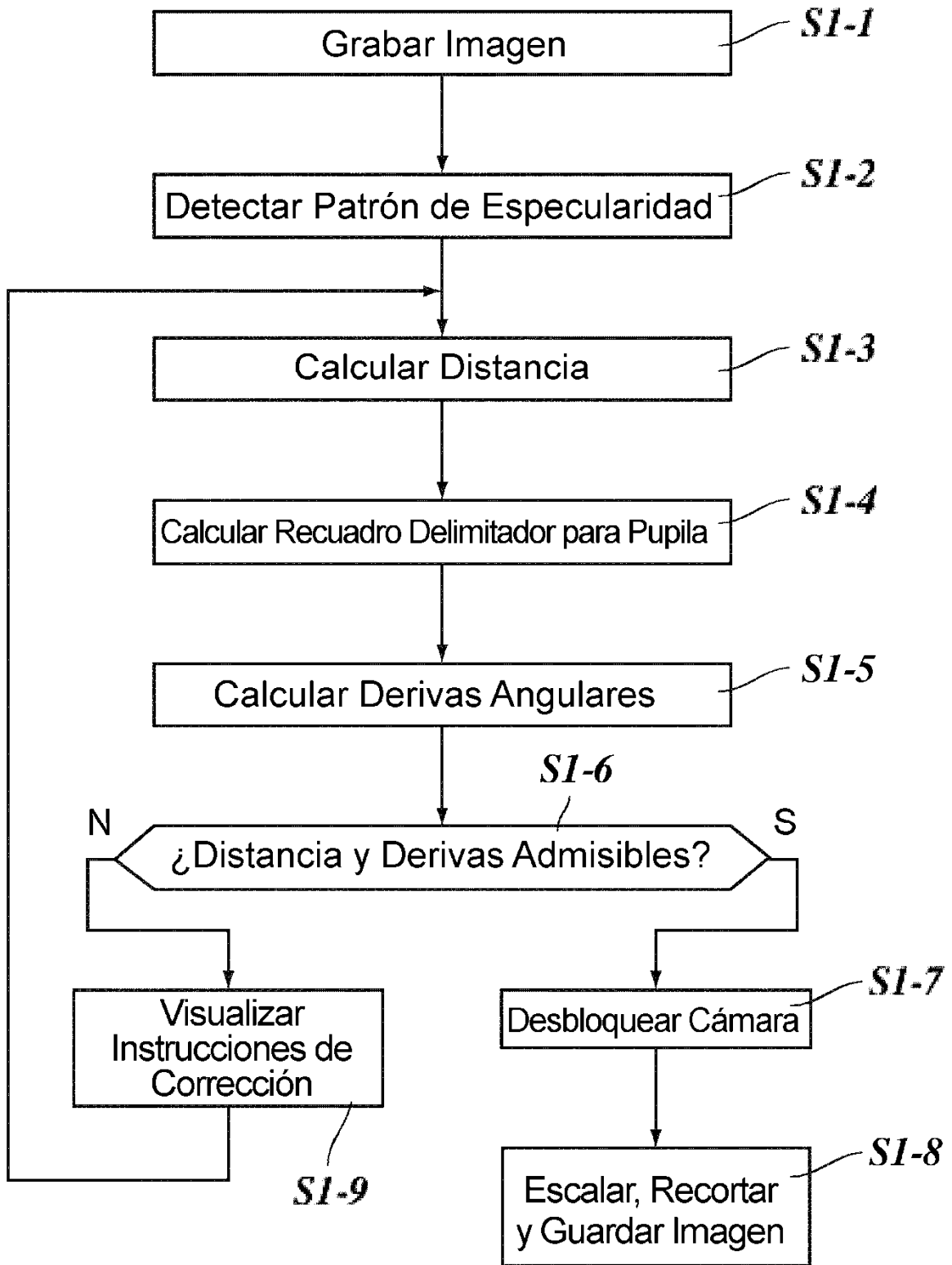


Fig. 8

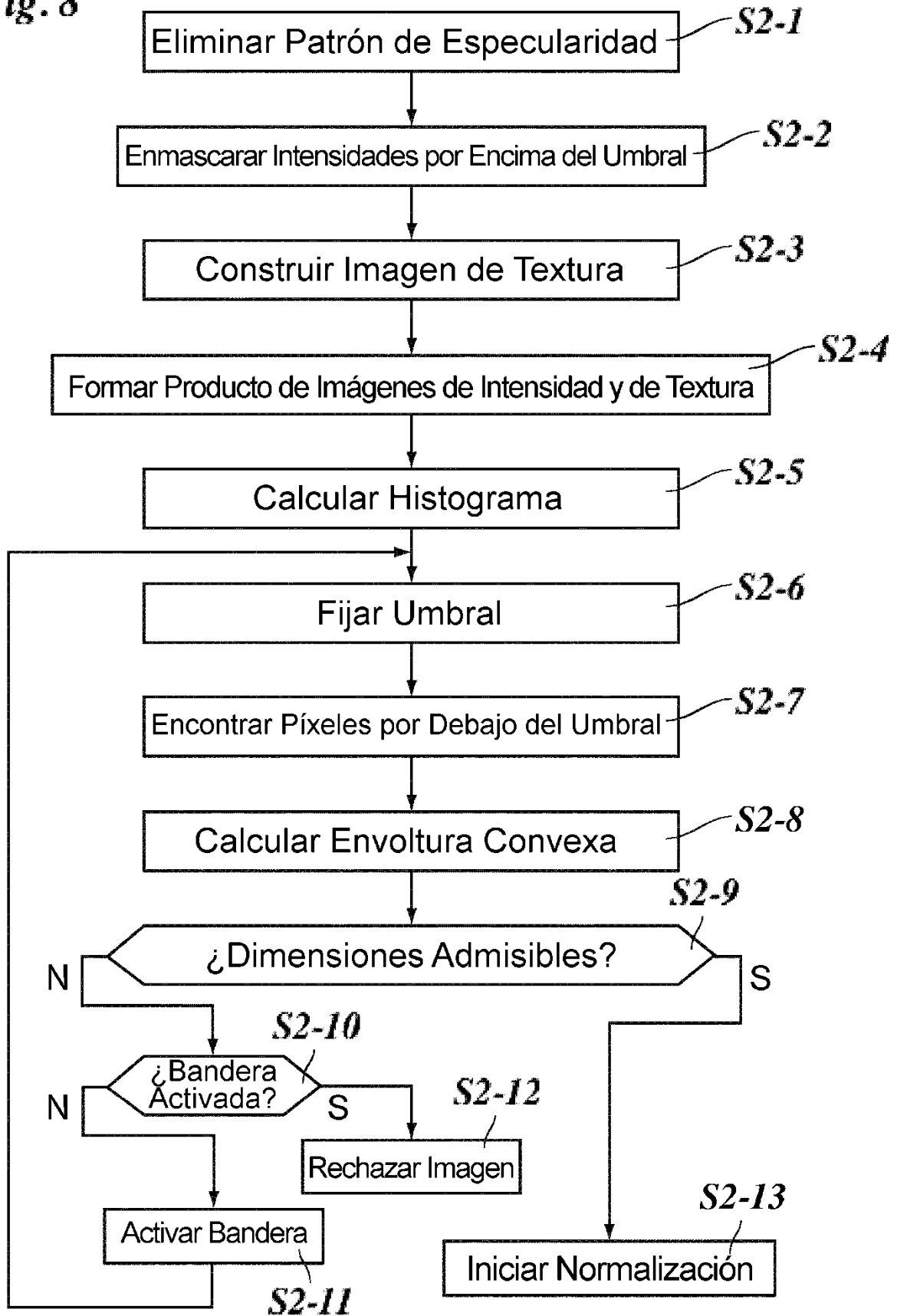


Fig. 9

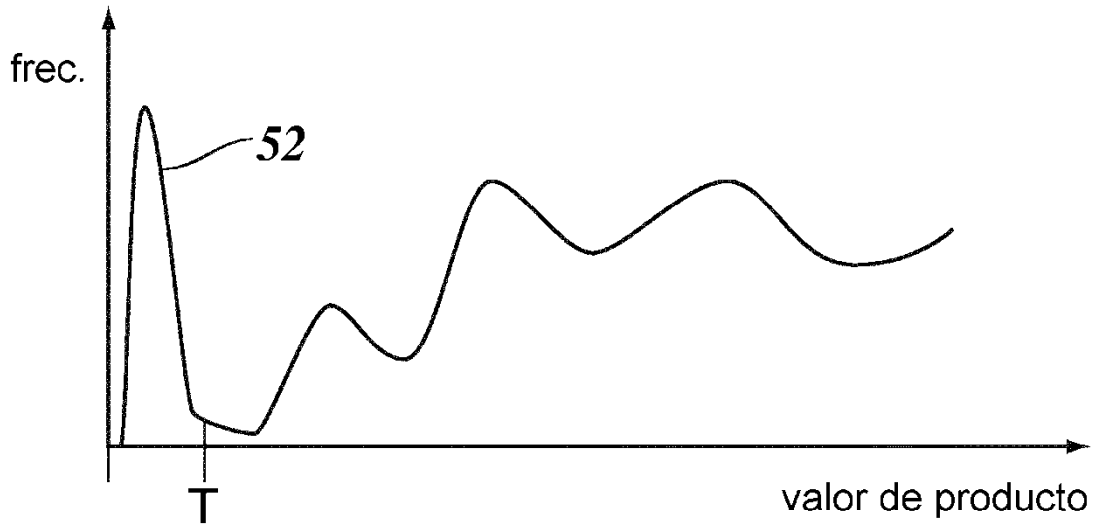


Fig. 10

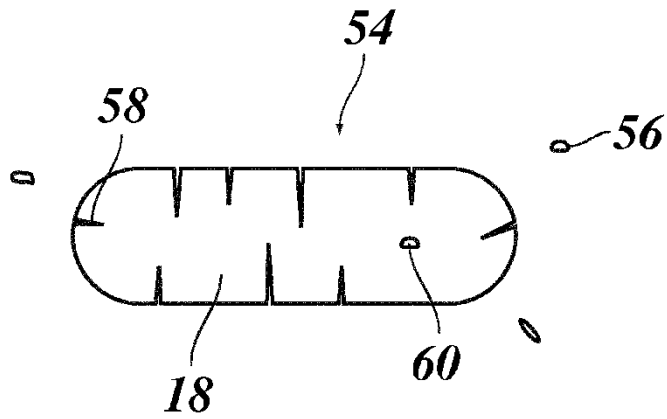


Fig. 11

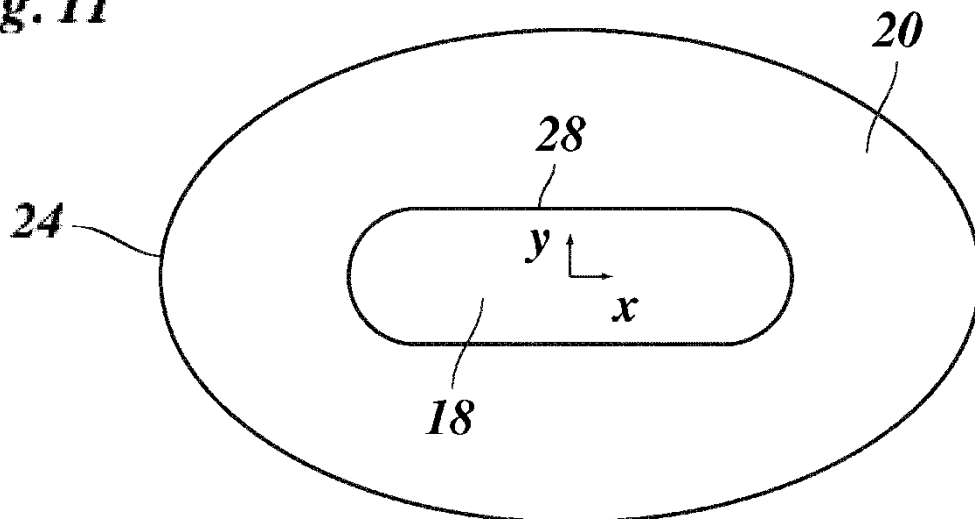


Fig. 12

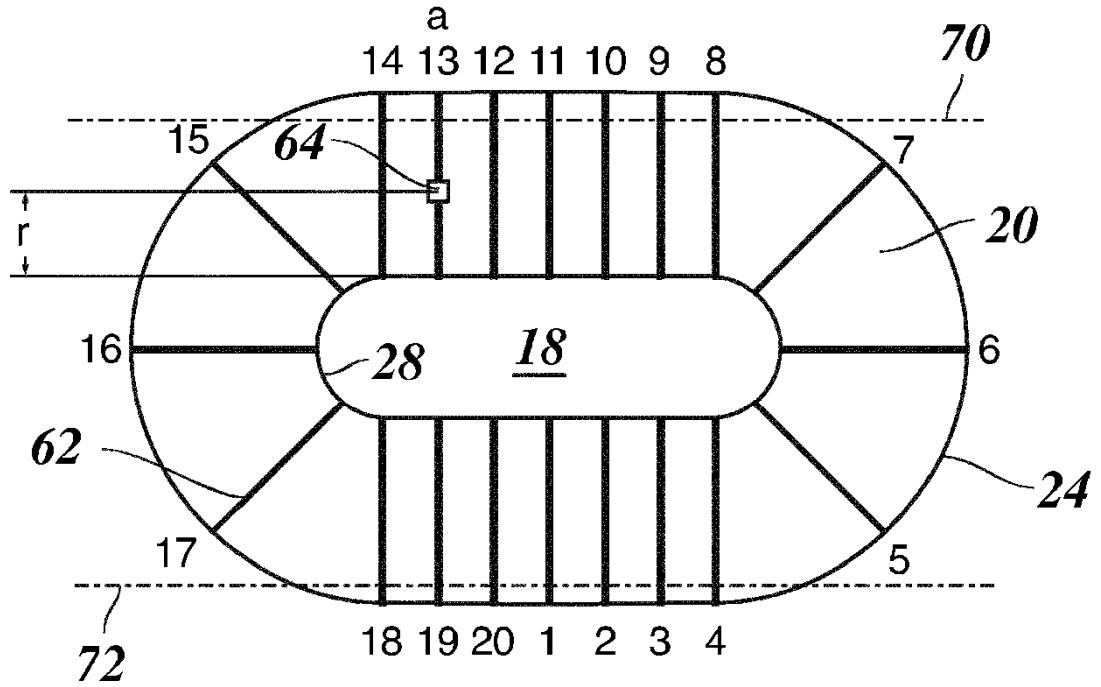


Fig. 13

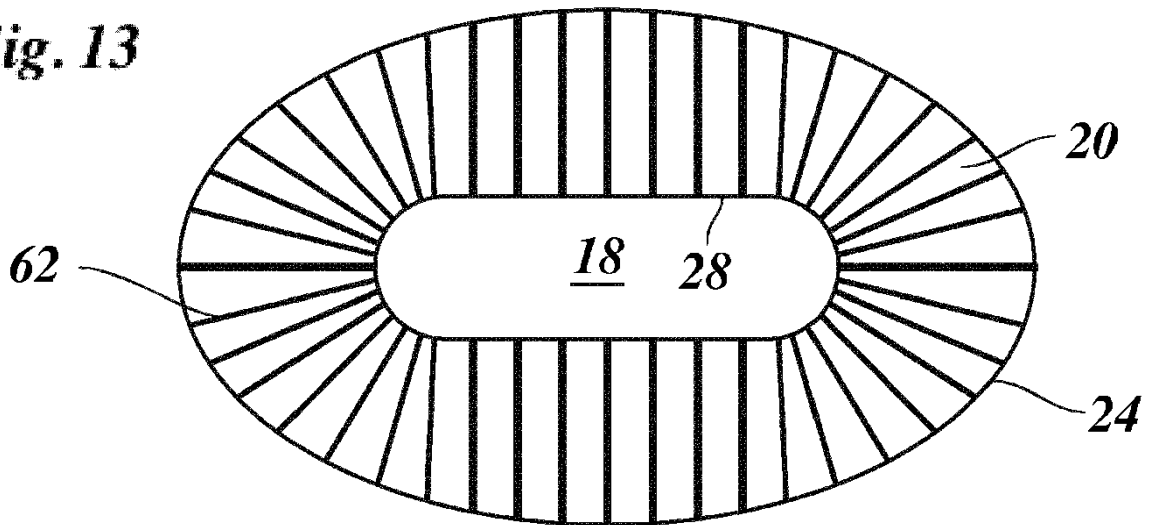


Fig. 14

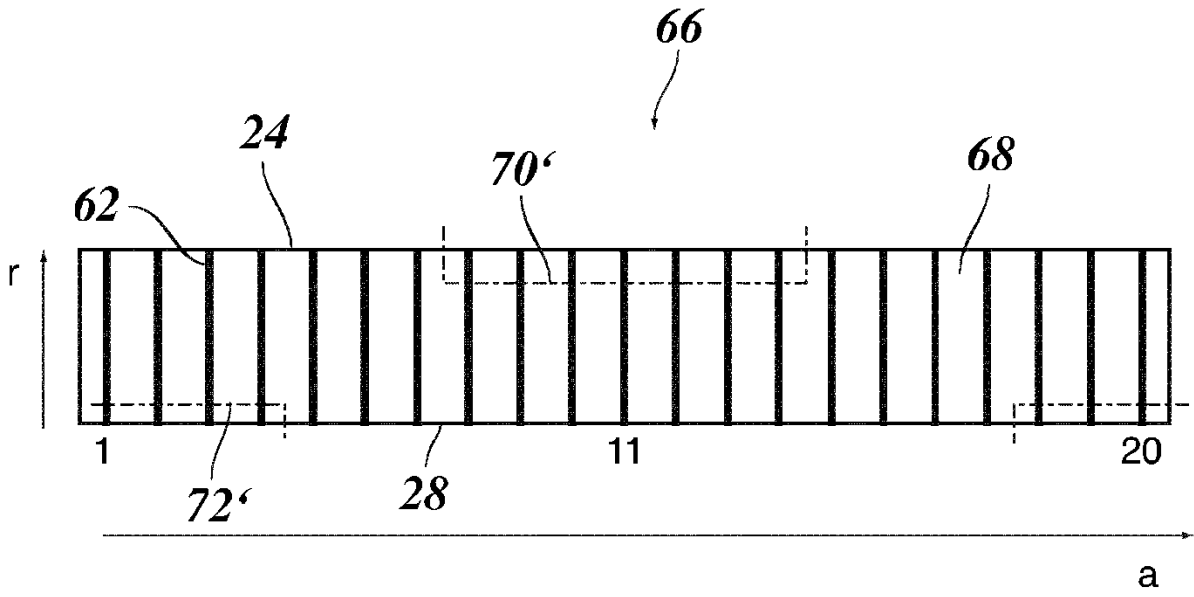


Fig. 15

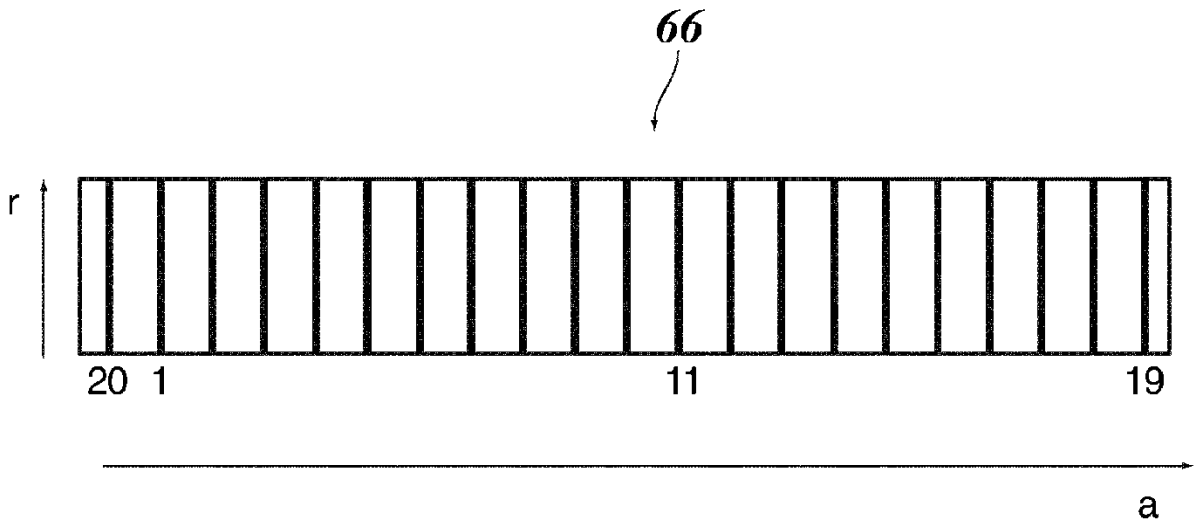


Fig. 16

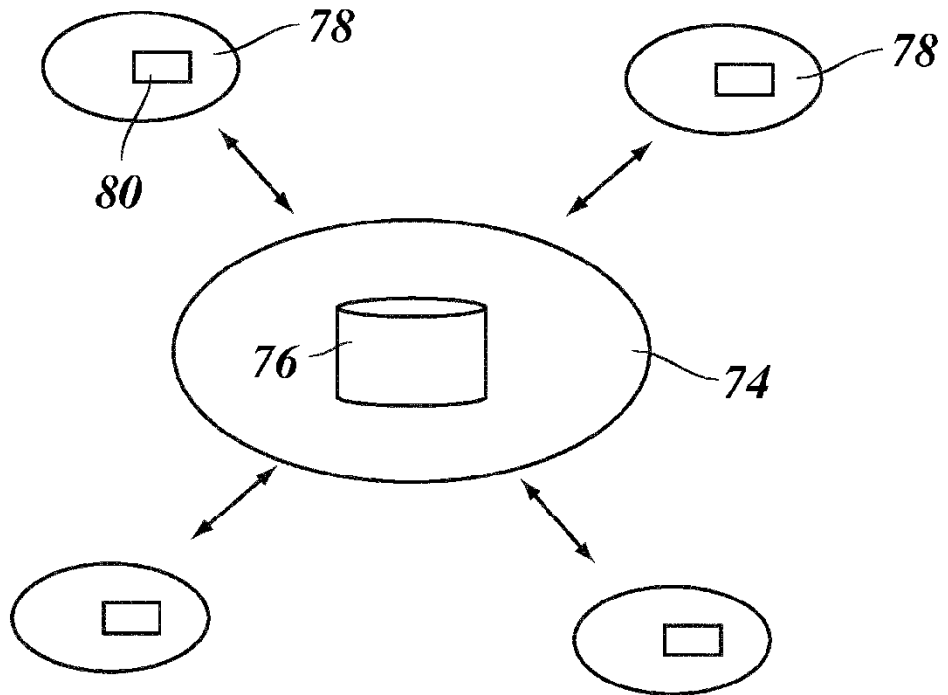
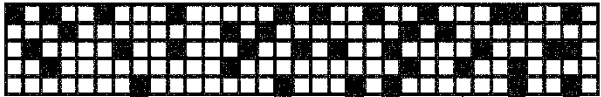


Fig. 17

Base de datos de identificación equina

Registro n.º	xxx
Código de iris	
Nombre	xxxxxxxx
Raza	xxxxxxxx
Color	xxxxxxxx
Progenitores	xxxxxxxx
Vacunas	xxxxxxxx

82

84