

DESCRIPCIÓN

Sistema y metodología para la transmisión de imágenes mediante mazos de fibra incoherentes.

5 Sector de la técnica

Esta invención se relaciona con la transmisión de imágenes visuales “encriptadas” mediante mazos de fibra ópticas no coherentes de bajo coste.

10 Estado de la técnica

Los sistemas de inspección visual mediante cámaras electrónicas son ampliamente utilizados en la actualidad en sistemas de control de calidad de procesos industriales, sistemas de vigilancia, posicionamiento de robots móviles, entre otras aplicaciones. Sin embargo, en lugares de difícil acceso, con condiciones extremas o a largas distancias, puede que no sea posible o conveniente el uso de señales eléctricas y aparatos electrónicos. Ejemplos de su uso en sitios de difícil acceso, pueden ser en aplicaciones médicas vinculadas a la endoscopia, periscopios y en la inspección de ambientes hostiles expuestos a altas temperaturas y/o presión, radiaciones nucleares, o simplemente recintos con riesgo de explosiones y/o corrosión así como, en sistemas de vigilancia de infraestructuras de transporte (ferroviario o por carretera). Para la transmisión de imágenes bajo estas condiciones, es posible el uso de fibras ópticas agrupadas en mazos que aunque esté acoplado en su terminal de salida a un sensor de array (cámara), ésta se encuentra aislada del medio de interés. El mazo sólo se comporta como un elemento de transporte de imágenes, y si es deseado de encriptación, pero no como un dispositivo de enfoque.

Un mazo de fibra óptica para la transmisión de imágenes está compuesto por muchas fibras ópticas (decenas de miles), dispuestas de una manera compacta, de modo que los extremos del mazo pueden modelarse como planos finitos compuestos por varios puntos-fibra. Con esta disposición, cualquier imagen proyectada en el plano de entrada del mazo se descompone en finitos puntos-fibra, y aparecería en el plano de salida como una serie de puntos luminosos. El núcleo de cada fibra capta una porción de la imagen y la entrega al otro extremo del mazo. Los mazos en general se pueden clasificar en cuanto a la forma en que se distribuyen las fibras longitudinalmente, en coherentes e incoherentes.

Los mazos coherentes son los más utilizados en el transporte de imágenes mediante fibras y han encontrado gran aplicación en la medicina, en sistemas de inspección de recintos, videoscopios, etc. Estos mazos poseen algunos inconvenientes como que generalmente están diseñados para trabajar con distancias relativamente pequeñas (pocos metros) y resultan más costosos. Sin embargo garantizan una calidad de imagen buena.

Los IOFBs generalmente están diseñados para la distribución de luz por lo que no mantienen la relación espacial de las fibras entre la entrada y la salida, produciendo una especie de codificación natural de la imagen, la cual es específica para cada mazo. No suelen estar sometidos al proceso denominado como *fusión*, el cual, en los mazos coherentes es el responsable de que a distancias cercanas a 4 metros las interferencias entre las fibras produzcan un efecto borroso en la imagen transmitida. Estas características hacen que si se quieren utilizar en la transmisión de imágenes, los IOFB son dispositivos capaces de transmitir la información a mayores distancias que los coherentes. Además, resultan elementos más flexibles que se pueden utilizar en recintos cerrados y bajo ambientes hostiles siendo más baratos. Sin embargo requieren una mayor complejidad en el tratamiento de la información.

La patente de Dujon *et al.*, “Visual image Transmission by fibre optic cable” (No. Patente US 5327514, Jul. 5, 1994), describe un método de calibración de IOFB para la transmisión de imágenes, utilizando varias imágenes patrones para determinar la relaciones entrada-salida del mazo. Las imágenes patrones están conformadas por franjas (verticales y horizontales) de diferente anchura cada vez, según una codificación de espacios. Si bien se utilizan pocas imágenes de calibración, la calibración del mazo requiere de un sistema óptico un poco más exigente en cuanto a resolución óptica se refiere.

En la patente de Roberts *et al.*, “Robust incoherent líber optic bundle decoder” (No. Patente US 6587189 B1, Jul. 1, 2003) se describe un aparato y la metodología de calibración de un IOFB. El sistema descrito logra calibrar el mazo de fibra realizando un barrido de imágenes conformadas por líneas (verticales u horizontales) pero a diferencia con el trabajo de Dujon son de ancho fijo. La decodificación resulta más sencilla aunque se requiere procesar un mayor número de imágenes. Buscando para cada fibra en qué posición de la franja se obtiene la máxima excitación (tanto en el barrido horizontal como el vertical), se construye una tabla LUT que permite reconstruir la imagen. Para ello los autores sugieren la localización de las posiciones de las fibras mediante transformaciones morfológicas para facilitar la construcción de la LUT.

60 Explicación de la invención

Esta patente describe un sistema de calibración y transmisión de imágenes utilizando IOFBs. También, se detallan los diferentes procedimientos involucrados en el enfoque de la óptica de entrada del IOFB, la calibración, el reajuste de calibración, así como, la reconstrucción de las imágenes capturadas.

El sistema utiliza un IOFB como elemento de transporte. Si bien estos mazos poseen desventajas notables respecto a los coherentes, permiten mediante un proceso de calibración, la transmisión de imágenes a distancias mayores,

así como transmitir totalmente codificada la señal útil. Estas características lo hacen potencialmente interesante en aplicaciones industriales de vídeo-vigilancia en zonas de alto riesgo corrosivo, alta humedad, con peligro de radioactividad o explosión, y en aquellos casos en que se necesite transmitir imágenes de forma óptica a grandes distancias.

El sistema que se describe sirve tanto para la calibración del sistema de transmisión como para la reconstrucción de las imágenes transmitidas. En la figura 1 se representa un diagrama general del sistema de calibración. Los diferentes elementos han sido representados separados entre sí para dar una idea más clara. El sistema está constituido fundamentalmente por (Figura 1):

- *IOFB (1)*: Elemento de transporte de imágenes.
- *Recinto oscuro (2)*: Permite aislar el sistema de entrada del mazo de cualquier reflejo o efecto externo, durante la calibración. No es necesario para poder reconstruir imágenes reales una vez calibrado el sistema.
- *Unidad de Control y Proceso (3)*: Este bloque es el encargado de controlar la calibración del mazo y de todo el control de la cámara. Una vez calibrado el sistema, es el encargado de la captura y almacenamiento de imágenes, de la reconstrucción de éstas y del reajuste de la calibración del sistema cuando se requiere readaptar al sistema a nuevas condiciones.
- *Adaptadores de fibra (4)*: Su forma depende de cada mazo específico y permite la conexión de diferentes modelos al sistema.
- *Sistema de sujeción del mazo (5)*: Permite que ambos extremos del mazo se puedan fijar a la estructura que corresponda.
- *Sistema de acople del mazo a la cámara (6 y 9)*: Acopla el mazo a la cámara mediante un sistema de lentes (6) y permite controlar la profundidad de campo mediante un diafragma o iris (9).
- *Pantalla LCD de alta luminosidad y resolución (7)*: Proyecta imágenes patrones durante el proceso de calibración. Debe ser capaz de emitir suficiente energía para excitar a las fibras.
- *Soporte de pantalla (8)*: Garantiza que la óptica esté perpendicular a la pantalla y evita errores de perspectiva en la calibración.
- *Cámara o sensor (10)*: Dispositivo de alta resolución gobernado por la *Unidad de Control y Procesamiento*. Capta una imagen codificada desde el mazo a través del *sistema de acople mazo-cámara*.
- *Acople de óptica (11)*: Permite adaptar ópticas con diferentes monturas al *sistema de sujeción del mazo*.
- *Óptica de entrada al mazo (12)*: Proyecta las imágenes en la cara de entrada del mazo. Puede ser una óptica de montura estándar y puede requerir de un sistema de acople al *sistema de sujeción del mazo*.
- *Soporte móvil y riel (13 y 14)*: Ajusta el sistema, con el fin de que se maximice el área de barrido de la pantalla con influencia en la entrada del IOFB. Esto permite optimizar la resolución de barrido en función del campo de visión de la óptica de entrada.

El principio de calibración consiste en proyectar mediante una óptica adecuada (12) sobre la cara de entrada del IOFB (1), imágenes provenientes de una pantalla plana (7). Se barre progresivamente la entrada con una línea (de ancho, posición y orientación conocidos) y se verifican a la salida del mazo las fibras sobre las que se logra mayor influencia (17-18). Para ello, se utiliza una cámara de alta resolución (10). El barrido se realiza primero en dirección horizontal y posteriormente en dirección vertical (15-16). Verificando estos resultados y estimando las localizaciones reales de las fibras en la imagen que recibe la cámara, se construye una LUT que una vez depurada es la base de la reconstrucción de cualquier imagen captada por el sensor. En este procedimiento se utilizan técnicas de procesamiento de imágenes que serán descritas posteriormente.

El mazo es acoplado a la entrada con una determinada montura (12) mediante un adaptador (4), el cual también permite fijarlo a un soporte móvil (13), que puede ser desplazado mediante un riel (14) y así optimizar el campo de visión. Para garantizar un acople correcto a diferentes ópticas estándares se puede requerir un adaptador (11). El extremo de salida del mazo es introducido en un sistema de acople del mazo a la cámara (6) mediante un adaptador (4) y un sistema de sujeción (5). El adaptador (4) es un elemento en forma de anillo, con un diámetro tal que se acople en (5) pero con un agujero interior que depende del mazo. Esto garantiza la adaptación del sistema a diferentes IOFB con solo substituir (5) por otro afín al IOFB de interés.

El sistema de acople del mazo a la cámara (6), dispone de un iris que permite controlar la profundidad de campo y la energía que se recibe en la cámara, proveniente del mazo (1). Todo el procedimiento de calibración y reconstrucción de imágenes es llevado a cabo mediante una Unidad de Control y Procesamiento (3).

Respecto a las patentes de Dujon *et al.* y Roberts *et al.* (US 5327514-1994 y US 6587189 B1, -2003), si bien se sigue el mismo concepto de decodificar el mazo mediante imágenes patrones conocidas, se utiliza un algoritmo de secuencia y de proyección de imágenes totalmente distintos a los descritos en otras patentes, utilizando una instalación distinta y siendo la metodología de procesamiento totalmente novedosa. Estos trabajos previos se enfocan más en la calibración del mazo, sin embargo la metodología que aquí se expone, incluye toda la metodología necesaria para definir un sistema real de este tipo totalmente funcional. Se añaden algunos procedimientos novedosos como son el enfoque, la corrección o ecualización de las respuestas de las fibras y el reajuste de la calibración del sistema.

Para cada IOFB, existe una única LUT patrón y esta es inalterable. Esta característica es aprovechada junto a las características propias de cada IOFB, para que cualquier proceso de reajuste de la calibración pueda ser más rápido. Tan pronto un IOFB está calibrado, puede ser reutilizado en otro sistema similar independiente o se puede readaptar cuando es movido de la posición original durante la calibración, pues cualquier cambio en las posiciones relativas de las fibras respecto a la cámara puede ser fácilmente corregido sin necesidad de volver a realizar una larga calibración.

15 Descripción de los dibujos

Las siguientes figuras nos permiten comprender el funcionamiento general del sistema.

La figura 1 muestra un esquema general de los diferentes elementos empleados en la calibración. Se han representado todos los elementos de forma separada para mayor claridad. Una vez realizada la calibración, el sistema está listo para la captura, transmisión y reconstrucción de las imágenes y los elementos (2), (7), (13) y (14), no se requieren.

La figura 2 nos muestra un diagrama en bloques de la metodología a seguir para la localización de las fibras en la imagen de la cara de salida del IOFB, capturada por el sensor (10).

La figura 3 nos muestra la manera en que se realiza la calibración (*decodificación del mazo*) partiendo de imágenes patrones conformadas por líneas que se desplazan horizontalmente y posteriormente verticalmente.

La figura 4 ilustra un diagrama en bloques de la metodología para la calibración del mazo.

La figura 5 nos muestra un diagrama del procedimiento de reconstrucción de las imágenes.

La figura 6 representa un diagrama del método de reajuste de calibración mediante la técnica de registro de imágenes.

35 Modo de realización

Procedimientos de enfoque y localización de fibras

Es importante garantizar el enfoque de la óptica de entrada antes de pasar a calibrar el sistema. Dado que la imagen tomada por la cámara aparece desordenada se requiere de algún método y algoritmo que permita determinar el enfoque correcto. Nótese que no se puede saber si la óptica está enfocada, ya que no se puede reconstruir la imagen antes de calibrar. Para ello se puede representar en la pantalla una pequeña región cuadrada o una línea de tamaño suficiente como para que logre excitar un determinado grupo de fibras. Desde la trama de vídeo se determina en qué fibras se está recibiendo mayor energía. A continuación se ajusta la óptica hasta que este valor de energía promedio de cada una de las fibras detectadas sea máximo. Esta correspondencia entre el nivel de enfoque y nivel de energía (nivel de gris promedio) está dado en que mientras mejor es el enfoque la energía se concentra mejor en las fibras.

El campo de visión está ineludiblemente vinculado a la óptica de entrada. Para garantizar que la óptica captura la mayor zona posible dentro de la pantalla se puede iluminar la pantalla en blanco y verificar en que posición del raíl se garantiza que ninguna fibra se oscurezca. Este proceso va unido al anterior y es posible que se deban repetir indistintamente uno u otro hasta lograr abarcar toda el área activa del monitor LCD con el mejor enfoque posible.

Como se muestra en la figura 3, un IOFB no mantiene la relación espacial entre las posiciones de las fibras en el terminal de entrada respecto a las del terminal de salida. Si se quiere utilizar un sistema así en la transmisión de imágenes, se requiere localizar de antemano las regiones de la imagen, captadas por la cámara, donde se encuentra la información útil. Para ello se debe realizar una búsqueda o detección de los elementos de transporte: las fibras. Este procedimiento permite además conocer de antemano la función de transferencia de luz de la fibra. Esto es importante puesto que las fibras en general sufren de deficiencias en el pulido y en el acabado trayendo consigo que no todas transmitan por igual, aún cuando se someten por igual a un mismo estímulo, por ejemplo, una fuente extensa de luz homogénea. Cada una de las posiciones de las fibras se almacena en la LUT.

La localización de las fibras es también una forma de disminuir de forma efectiva el tiempo de procesamiento. Esta disminución del tiempo de calibración se debe a que se conocen *a priori* las posiciones reales de los núcleos de las fibras en el sensor, los cuales son los encargados de portar la información útil. Por tanto, durante la calibración solo se verifica un número más reducido de píxeles en cada imagen enfocada en la entrada, reduciéndose así el número de operaciones por segundo, la cantidad de memoria necesaria y los tiempos de cálculo necesarios.

Otra ventaja asociada a la detección de las fibras se verifica cuando hay alguna ligera rotación o movimiento del mazo frente a la cámara o se realiza una sustitución de la misma, entonces, las posiciones de las fibras necesitan ser re-localizadas pues físicamente se han modificado. Este movimiento se puede modelar como una combinación de cambios de rotación traslación y escalado (de unos puntos determinados y preestablecidos de cada mazo de fibras -huella-) de las posiciones de fibras en la LUT original. Detectando este cambio se pueden estimar las nuevas posiciones de las fibras y permite el recalibrado del sistema de transmisión o incluso se puede utilizar para encriptar al sistema.

Para realizar una detección adecuada de las posiciones de las fibras en la imagen proyectada sobre el sensor, el mazo es iluminado por la entrada con una fuente de luz difusa de modo que todas las fibras se iluminen homogéneamente. Esta fuente de luz es proporcionada por la propia pantalla de calibración. De esta forma se busca diferenciar con claridad las fibras de los espacios intermedios y mediante un algoritmo de localización de patrones circulares, estimar los centros geométricos de las fibras. Para la localización se desarrolló un método basado en transformaciones morfológicas de imágenes binarias y la transformada de la distancia.

La metodología de localización de fibras se puede definir en seis pasos generales (Figura 2):

- *Acondicionar la imagen captada en el sensor*: Se aplican filtros que permitan disminuir el ruido y aumentar la relación señal a ruido del sistema.
- *Binarizar la imagen*: Obtiene una imagen en blanco y negro donde se separan parcialmente las fibras iluminadas del fondo de la escena.
- *Erosionar y dilatar*: Se erosiona y dilata la imagen en blanco y negro para mejorar la segmentación puesto que después de la binarización pueden existir círculos que se mantienen interconectados.
- *Transformada de la distancia*: Aplicar la transformada de la distancia a dicha imagen pero complementada: Como las fibras son pequeñas y redondas la transformada de la distancia da un pico en el centroide de cada fibra.
- *Binarización de la Transformada de la distancia*: En función del radio de la fibra en píxeles, se elige un umbral para binarizar la imagen resultante.
- *Calcular los centros geométricos de las distintas regiones*: Se realiza mediante un método de ponderación de intensidad que nos permite elegir el punto de mejor emisión cercano al centro. Este punto se elige como centroide.

La transformada de la distancia es una operación que convierte una imagen binaria en una imagen en tonos de gris, donde todos los píxeles tienen un valor correspondiente a la distancia hacia el píxel característico de valor contrario más cercano. Por tanto, para figuras circulares el centro geométrico es aquel que más distancia presenta con respecto al borde.

Procedimiento de calibración

El procedimiento de calibración consiste en decodificar la imagen mediante la exposición de diferentes imágenes patrones en la pantalla LCD sobre la entrada del sistema. Las imágenes patrones están conformadas por franjas de determinado ancho y que una vez proyectada en la entrada, son capaces de excitar cada vez un número indeterminado de fibras. Como el interés está dado en imágenes 2D, se necesita excitar en dos dimensiones la entrada del IOFB: horizontalmente y verticalmente (Figura 2).

Las franjas son desplazadas primero en una dimensión y luego en otra. De esta manera se barre por completo la cara de entrada del mazo con una resolución definida por el ancho de la franja y por el paso de desplazamiento. Cada vez que se cambia la imagen desde la Unidad de Control y Procesamiento, se captura y almacena la imagen con un nombre seriado. Esto permite *a posteriori* reconocer con facilidad en cuales posiciones de las franjas se logró excitar notablemente cada fibra.

El impacto de la franja sobre la cara de entrada del mazo, debe ser tal que su anchura sea ligeramente menor o como mucho igual al diámetro promedio de las fibras (generalmente decenas de micras). Esto garantiza que la máxima repuesta de la fibra se logre cuando hay una mayor exposición de la franja sobre la fibra. A mayor área de exposición, mayor es la respuesta. El número de pasos necesarios para barrer completamente la cara de entrada del mazo define el tamaño de la imagen final reconstruida y está relacionado con el número de fibras máximo en cada dimensión. Sin embargo no necesariamente significa una mayor resolución de imagen. Por ejemplo, si el paso es excesivamente pequeño, provoca que la imagen reconstruida aumente el número de espacios vacíos a los que no se les puede asignar algún valor de gris.

Para el análisis es importante tener en cuenta la respuesta de cada fibra para darles a todas y cada una de ellas la misma importancia durante el análisis. Es por ello que durante el proceso de calibración se debe calcular un factor multiplicativo α_i para cada fibra i tal que si son expuestas todas a un mismo nivel de gris en la pantalla correspondiente

al blanco, todos los niveles de gris promedio de los centroides (NG) multiplicados por dicho factor, resulten en el máximo valor de gris posible (Ej. 255 para 8 bits de resolución).

$$255 = \alpha_i \text{ NG}$$

El parámetro α_i de cada fibra debe ser recalculado una vez terminada esta fase. Esto se realiza utilizando una imagen no saturada formada desde una imagen patrón en blanco. Teniendo en cuenta los centroides y los niveles de gris promedio en un área circundante a estas coordenadas, se recalculan los valores de α_i . Este método proporcional es ideal si no existen alinealidades en las respuestas del sistema. Si no fuese así, la metodología cambia. Esto quiere decir, en vez de almacenar un único valor proporcional α_i se deben almacenar los coeficientes de un polinomio que aproxime la respuesta de las fibras para diferentes niveles de gris. Esto significa que el valor α_i que se utiliza para reconstruir una imagen, se obtiene de dicha respuesta verificando el nivel de gris promedio en la fibra y el valor al que debe aproximarse. En caso de que el sistema manipule imágenes en color RGB, la tabla debe almacenar los valores análogos de α_{Ri} , α_{Gi} , α_{Bi} o los coeficientes de los polinomios antes mencionados pero para cada canal de color.

Como las imágenes patrones son intencionadamente en blanco y negro, a cada cambio de la imagen patrón se verifica si cada fibra cambió su estado (se iluminó) y si este cambio fue el más importante de los recibidos con anterioridad.

Mediante los procedimientos anteriores se construye una tabla de reorganización o LUT. Dicha tabla es almacenada en la *Unidad de Control y Procesamiento*. En ella se almacenan:

- Las posiciones de las fibras (coordenadas).
- Para cada imagen del barrido, se verifican en cada posición de fibras si alguna resulta lo suficientemente iluminada. Si es así, se almacena en la LUT en cual fila y columna se alcanzó dicha condición. Si dicha fibra ya ha sido notablemente excitada, se verifica si la posición nueva permite una mayor excitación. Si es así se actualiza la Tabla.
- Factor de compensación de la función de transferencia de la fibra i (α_i).

Por todo esto la estructura de la LUT resulta:

| | | | | |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| Posición fila fibra i | Posición columna fibra i | Posición franja horizontal | Posición franja vertical | α_i |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|

Una vez construida la LUT, se debe verificar si existen posiciones registradas que se repitan o simplemente de las que se tenga un valor para una dimensión y ninguno para la otra. En tales casos se eliminan o simplemente se redistribuye a posiciones próximas y que no estén contempladas en la LUT.

Proceso de reajuste de la calibración

Cada proceso de calibración es solo válido para un mazo específico. Si este es remplazado por otro nuevo, es necesario indicarle al sistema la nueva ley de correspondencia (LUT). Es significativo que el proceso de calibración solo es necesario hacerlo una vez y por tanto, a cada mazo de fibras se le asocia una LUT propia. Sin embargo cualquier mínimo movimiento del mazo frente a la cámara debido, por ejemplo, a un cambio del sensor o un mal ajuste en el soporte que recibe al mazo, provoca que la imagen a reconstruir no se forme correctamente.

Esto se debe a que el proceso de reconstrucción intenta reubicar la información desde posiciones que ya no corresponden a las originales. Sin embargo, el conjunto de las localizaciones de fibras, se han movido de sus posiciones originales bajo una ley de transformaciones geométricas que incluyen la rotación, la traslación y en menor medida el escalado.

Para lograr una recuperación de la LUT, se debe deducir en qué medida se han producido estos movimientos de las fibras para así corregirlos. Llamamos *huella* al conjunto de regiones características más distinguibles de cada mazo. Por ejemplo, el conjunto de regiones cerradas del interior del mazo que estén vacías de fibras. Estas regiones se deben a defectos en la construcción y nunca cambian, siendo específicas de cada mazo. Partiendo de la LUT original y de la información común entre la *huella* del mazo original y la nueva huella presente en el mazo, se recalcula la LUT ya adaptada a las nuevas condiciones.

Primero se localizan y verifican las regiones de mayor área y se establece una correspondencia entre las regiones más características de la imagen original y la actual. Con esta información se obtiene una matriz de transformación que permite realizar una correspondencia entre imágenes transformadas (*matching*). Esta matriz de transformación

permite relocalizar todas y cada una de las fibras del mazo y por tanto directamente se obtiene la LUT que permitirá reconstruir las imágenes.

5 El proceso de localización de las huellas procesa la imagen capturada por el sensor con todas las fibras iluminadas. De la primera calibración de un determinado IOFB, se extraen las centroides de las mayores regiones del mazo con ausencia de fibras los cuales son utilizados como puntos de control. De dichas regiones también se almacenan algún descriptor de cada contorno de la región (Ej. Descriptores de Fourier). Esta última característica es la que nos permite buscar en cualquier otra imagen, las regiones que corresponden, independientemente de haber sufrido de manera global en la imagen, alguna rotación, traslación o escalado.

10 Las regiones se obtienen mediante un proceso de binarización mediante un determinado umbral y un posterior etiquetado de la imagen. Para localizar en otra huella del mazo las mismas regiones, se debe buscar el umbral óptimo de binarización que permita establecer la correspondencia entre regiones. Esto se implementa mediante un proceso iterativo que verifica dentro de las regiones de mayor área cuándo existe una correspondencia de regiones según el descriptor de contorno. Una vez determinadas las regiones que corresponden, se calcula la matriz de transformación que permite recalcular las nuevas posiciones de todos los centro de fibra y con ello actualizar la LUT (Figura 6).

Proceso de reconstrucción de imágenes

20 Una vez calibrado el sistema se pueden transmitir y posteriormente reconstruir o decodificar las imágenes captadas desde el sensor. Lo primero es construir una *imagen primitiva* que se obtiene reorganizando la información obtenida de la imagen capturada, según la LUT. El proceso se realiza de la siguiente manera:

- 25 1. Captura de la imagen.
- 30 2. Creamos un array bidimensional de tamaño $p \times p$, donde p es el número de posiciones utilizadas en el barrido o paso.
3. Para cada posición de fibra, se toma el nivel de gris promedio de la cercanía de dicho centroide. Este nivel de gris, multiplicado por el valor de compensación α_i propio de la fibra, es almacenado sobre el array 2D (imagen primitiva) en aquellas posiciones de fila y columna declaradas en la LUT.

35 La imagen primitiva, si bien es una imagen que guarda relación con la imagen de entrada, posee una serie de puntos a los que no se le ha asigna ningún valor de gris. Esto se debe a la no uniformidad del mazo en cuanto a la distribución de las fibras. Es por ello que se necesita un algoritmo que complete o rellene estas regiones indeterminadas del espacio imagen. Para solventar esto, se utiliza un filtro, el cual se convoluciona iterativamente n veces con la imagen sólo en aquellas posiciones vacías de la imagen primitiva. A cada paso se restituyen los valores de gris conocidos en la imagen primitiva, sin embargo los “huecos” se van progresivamente relleno con niveles de gris que guardan relación con la vecindad. Se puede utilizar un filtro como el siguiente u otro similar:

$$45 \quad F = \begin{bmatrix} 1/8 & 1/8 & 1/8 \\ 1/8 & 0 & 1/8 \\ 1/8 & 1/8 & 1/8 \end{bmatrix}$$

50 Si el número de regiones vacías en la primitiva es menor, mejor es la reconstrucción y menor es el tiempo empleado en la reconstrucción (*inpainting*) de la imagen final.

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Sistema para la transmisión de imágenes remotas utilizando mazos de fibras ópticas incoherentes (IOFBs) y para la calibración del mazo, **caracterizado** por estar constituido por: una cámara (10) que captura la información transmitida por un IOFB (1) mediante los elementos ópticos (6, 9 y 12); una Unidad de Control y Procesamiento (3) que gobierna un monitor (7) y procesa las imágenes capturadas por la cámara (10); dos accesorios (4 y 5) que permiten la sujeción y el acoplamiento de diferentes IOFBs al sistema; un accesorio (11) para acoplar diferentes monturas de óptica en la entrada y un banco de calibración necesario para la calibración del sistema y que está formado por un recinto oscuro (2) y unos soportes (8, 13 y 14).

10 2. Método para la configuración óptima de un sistema para la transmisión de imágenes remotas utilizando IOFBs, según la reivindicación 1, que comprende los siguientes procedimientos:

- 15 a) *calibración del sistema* para calcular la función de transferencia, entre la entrada y la salida, necesaria para recuperar y corregir cualquier imagen transmitida.
- 20 b) *reajuste de la calibración del sistema* cuando el mazo (1) se sitúa en una posición distinta a la que tenía durante la calibración original, se sustituye por otro diferente o se cambia la cámara (10).
- c) *reconstrucción de la imagen final* captada por la cámara (10) mediante los resultados de la calibración previa.

25 3. Método para la configuración óptima de un sistema para la transmisión de imágenes remotas utilizando IOFBs, según la reivindicación 2, **caracterizado** porque el procedimiento de *calibración del sistema* comprende las siguientes etapas:

- 30 a) Una etapa de preparación del sistema para la calibración basado en el siguiente conjunto no separable de acciones:
- i. Enfoque de la óptica de entrada (12) del IOFB (1) midiendo el nivel de energía que es capaz de transportar un grupo localizado de fibras y que es necesaria para obtener una buena calidad de calibración.
- 35 ii. Localización de las posiciones de las fibras en la imagen captada por la cámara (10).
- iii. Cálculo de los factores de corrección de intensidades o de ecualización de las respuestas de cada fibra (α_i) para igualar las funciones de transferencia de las fibras.
- 40 b) Una etapa de cálculo de la tabla de reconstrucción o LUT basado en el siguiente conjunto no separable de acciones:
- i. Barrido de la entrada del IOFB (1) utilizando una serie de imágenes formadas por franjas luminosas proyectadas desde un monitor (7) sobre la entrada del mazo. Las franjas deben iluminar de manera única y en dos dimensiones a todas las fibras del IOFB.
- 45 ii. Análisis de cada imagen resultante en la salida del mazo para determinar en qué posiciones de la entrada, cada una de las fibras alcanzó su mejor grado de excitación. Estos resultados se almacenan en una LUT o tabla de reconstrucción.
- 50 iii. Depuración de los resultados obtenidos en la tabla de reconstrucción con la intención de eliminar posibles redundancias y errores.

55 4. Método para la configuración óptima de un sistema para la transmisión de imágenes remotas utilizando IOFBs, según la reivindicación 2, **caracterizado** porque el procedimiento de *reajuste de la calibración del sistema* comprende las siguientes etapas:

- 60 a) Identificar las regiones que correspondan en ambas imágenes (al menos 4 regiones) mediante descriptores de formas partiendo de una huella original del mazo y la nueva huella captada por el sensor.
- b) Calcular la matriz de transformación geométrica que permitiría la correspondencia entre las posiciones de las fibras anteriores y actuales.
- 65 c) Mediante la matriz de transformación se recalculan y actualizan las posiciones de las fibras en la LUT.

5. Método para la configuración óptima de un sistema para la transmisión de imágenes remotas utilizando IOFBs, según la reivindicación 2, **caracterizado** porque en el procedimiento de *reconstrucción de la imagen final* se realiza el siguiente conjunto no separable de acciones:

- 5 a) reorganizar la información de la imagen desordenada captada en la cámara (10) a través de una tabla de reconstrucción (LUT) obtenida del procedimiento de calibración, según la reivindicación 2, y que consiste en reubicar y corregir los niveles de gris aportados por cada fibra en el sensor hacia las posiciones indicadas en cada registro de la LUT formándose una imagen primitiva.
- 10 b) reconstrucción de la imagen final que consiste en convolucionar la imagen primitiva, de forma iterativa, con un filtro digital conocido sobre las posiciones vacías y posteriormente restaurando a su estado original los píxeles inicialmente conocidos. Esta acción rellena progresivamente los espacios vacíos presentes en la imagen primitiva con niveles de gris que guardan relación con su vecindad.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

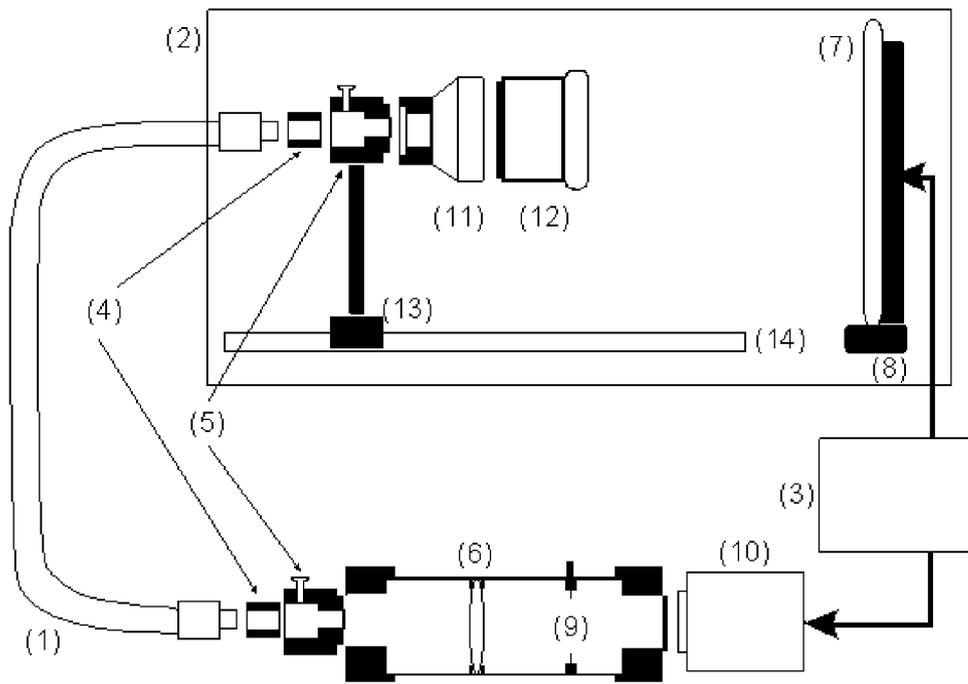


Figura 1

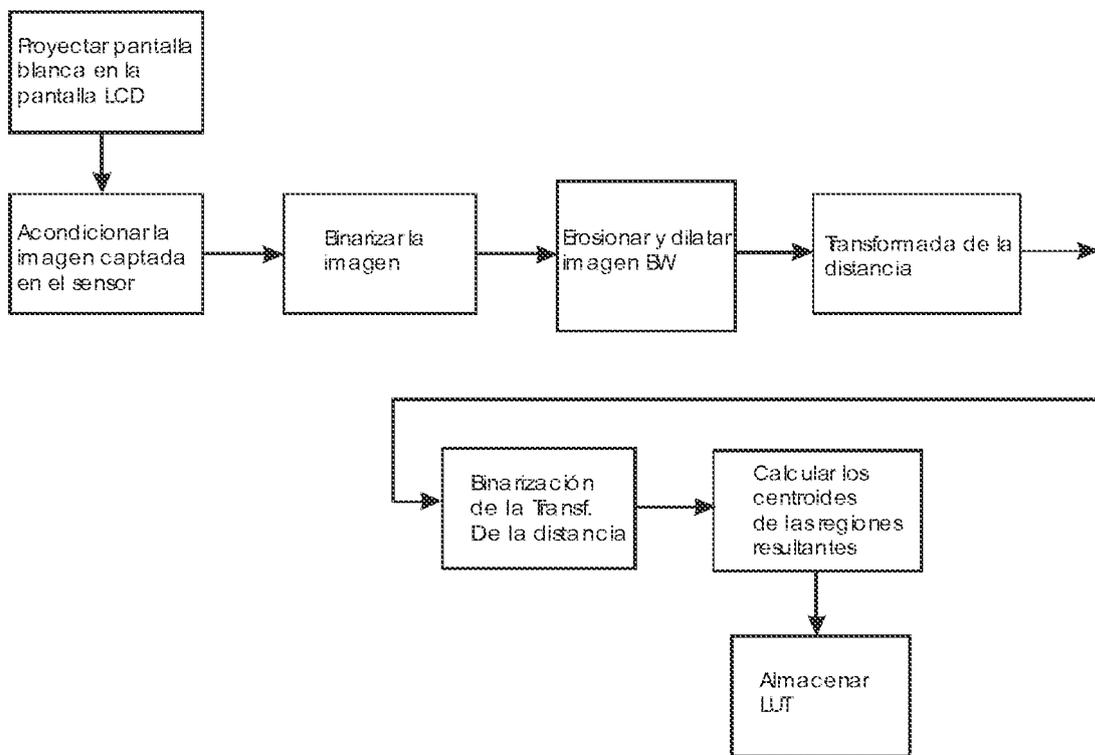


Figura 2

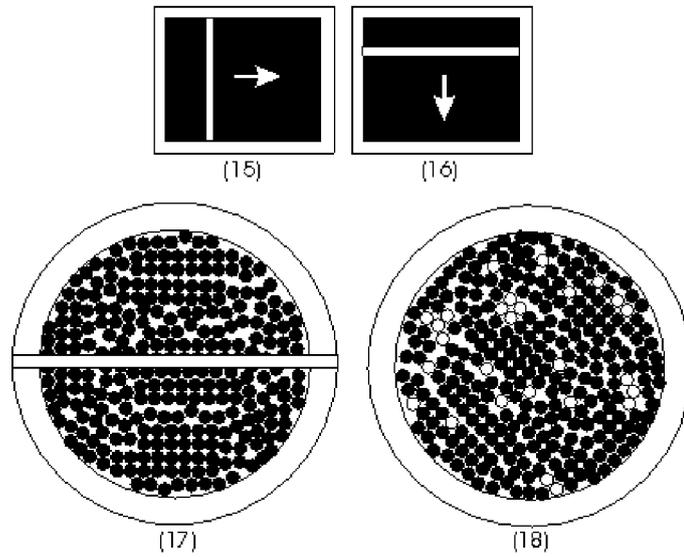


Figura 3

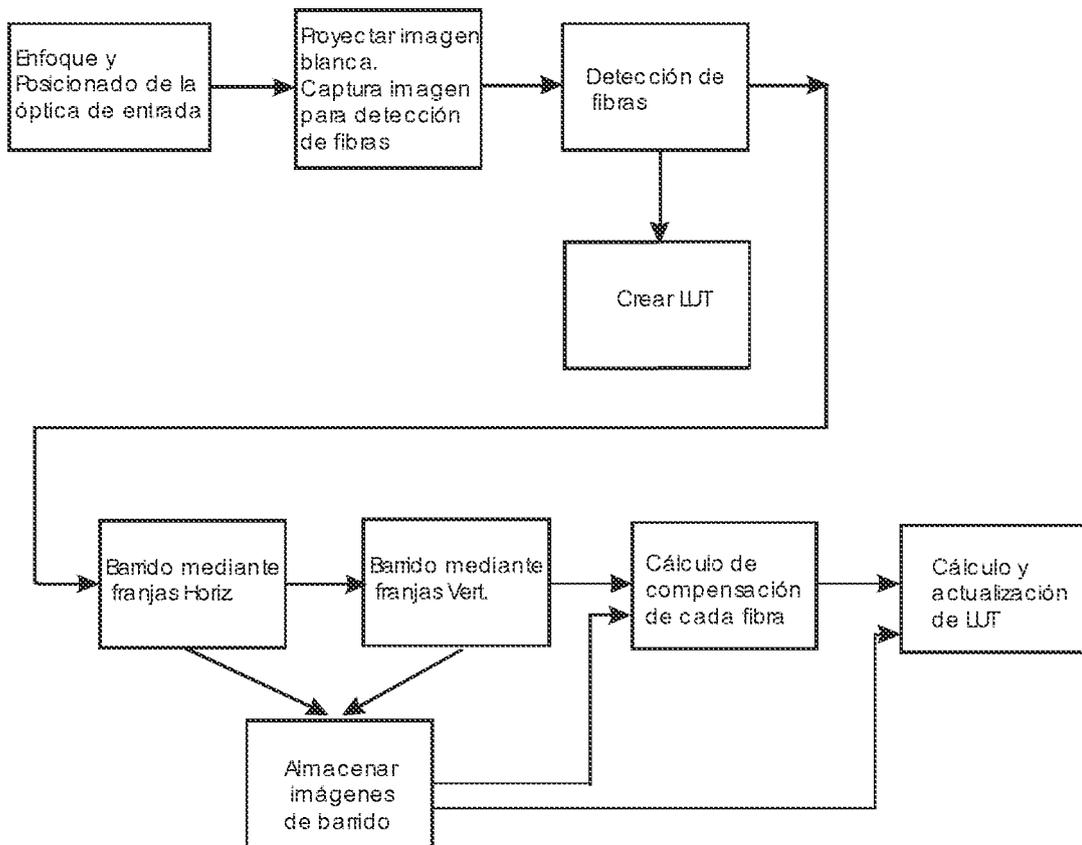


Figura 4

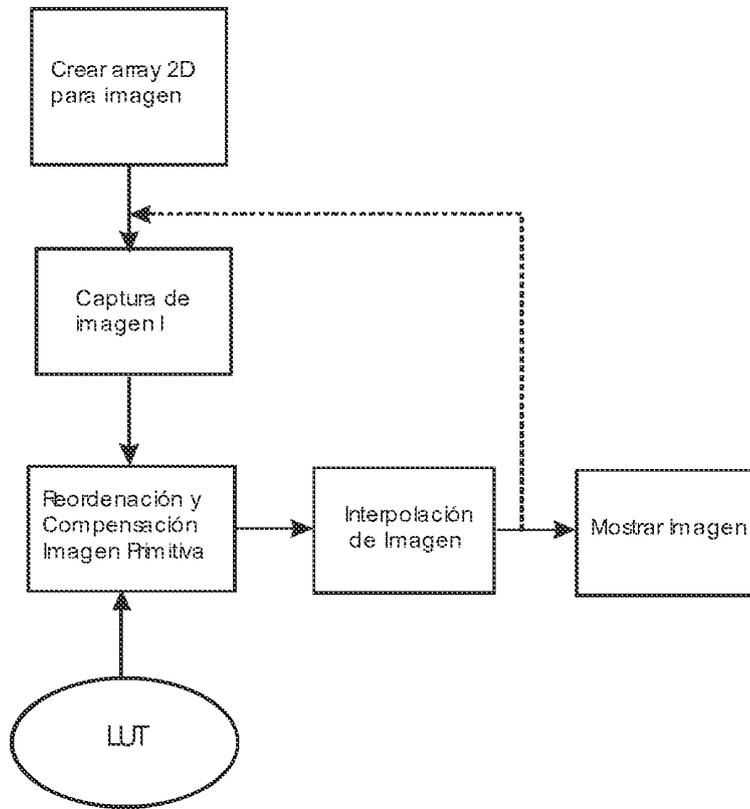


Figura 5

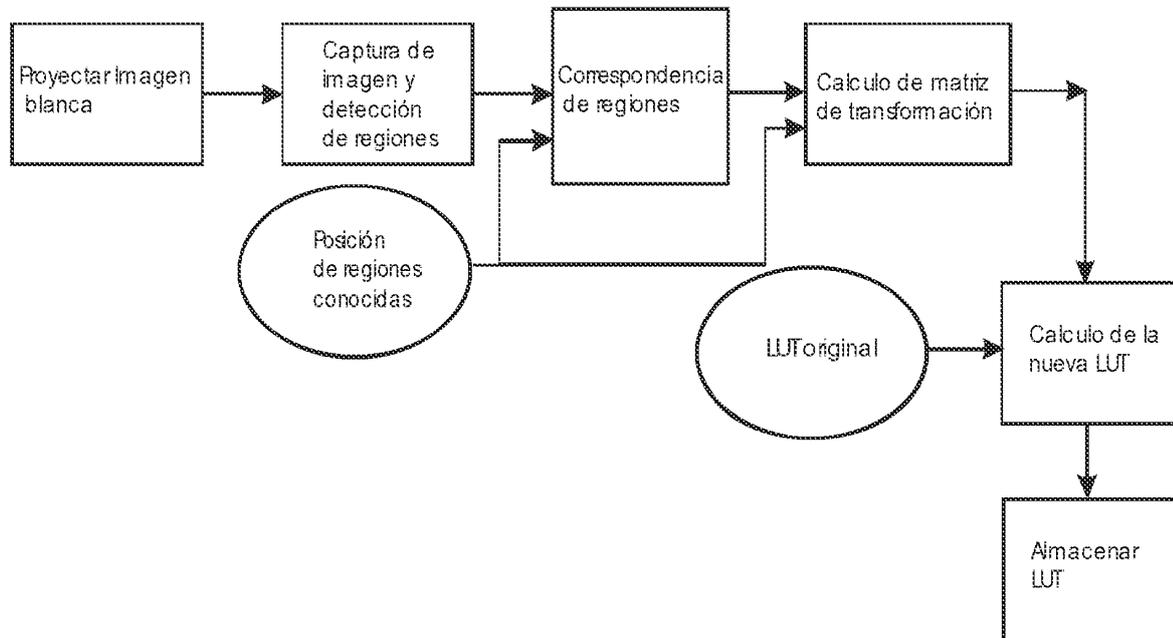


Figura 6



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②¹ N.º solicitud: 200902072

②² Fecha de presentación de la solicitud: 29.10.2009

③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤¹ Int. Cl.: **G02B6/06** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

| Categoría | Documentos citados | Reivindicaciones afectadas |
|-----------|--|----------------------------|
| X | FERNÁNDEZ, LÁZARO, GARDEL, ESTEBAN, CANO Y REVENGA, "Location of Optical Fibers for the Calibration of Incoherent Optical Fiber Bundles for Image Transmission".IEEE TRANSACTION ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 58, NO. 9. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4982623&tag=1 | 1-5 |
| A | US 6587189 B1 (ROBERTS HILARY E et al.) 01.07.2003, todo el documento. | 1-5 |
| A | US 5327514 A (DUJON GREGORY F et al.) 05.07.1994, resumen; reivindicaciones. | 1-5 |

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
19.11.2011

Examinador
B. Pérez García

Página
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G02B, H04N, H04B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 19.11.2011

Declaración

| | | |
|---|----------------------|-----------|
| Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986) | Reivindicaciones | SI |
| | Reivindicaciones 1-5 | NO |
| Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986) | Reivindicaciones | SI |
| | Reivindicaciones 1-5 | NO |

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

| Documento | Número Publicación o Identificación | Fecha Publicación |
|-----------|--|-------------------|
| D01 | FERNÁNDEZ, LÁZARO, GARDEL, ESTEBAN, CANO Y REVENGA, "Location of Optical Fibers for the Calibration of Incoherent Optical Fiber Bundles for Image Transmission". | 30.09.2009 |
| D02 | US 6587189 B1 (ROBERTS HILARY E et al.) | 01.07.2003 |
| D03 | US 5327514 A (DUJON GREGORY F et al.) | 05.07.1994 |

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento del estado de la técnica más próximo a la invención es D01.

El documento D01 es un artículo redactado por los inventores de la solicitud que se está analizando y que fue divulgado con una fecha anterior a la de presentación de dicha solicitud.

Siguiendo la redacción de la primera reivindicación, D01 describe un sistema para transmisión y calibración de imágenes remotas utilizando mazos de fibras ópticas incoherentes (IOFBs, 65000 fibers) y caracterizado por estar constituido por una cámara (CMOS sensor, BCI-6600) que captura la información transmitida por un IOFB (fiber bundle), una unidad de control y procesamiento (PC - Pentium IV) que gobierna un monitor (LCD) y procesa las imágenes capturadas por la cámara, dos accesorios (optic coupling) que permiten la sujeción y el acoplamiento de diferentes IOFBs al sistema, un accesorio para acoplar diferentes monturas de óptica en la entrada (optic coupling) y un banco de calibración necesario para la calibración del sistema y que está formado por un recinto oscuro (shielded from external light) y unos soportes (sliding bar) -ver figura 3, segundo párrafo de la página 3 y página 6.

La reivindicación 1 no presenta novedad, según el Art. 6 de la Ley Española de Patentes.

Las reivindicaciones 2-5 definen el método para la configuración óptima de un sistema para la transmisión de imágenes remotas utilizando IOFBs, que utiliza el sistema de la reivindicación anterior.

La segunda reivindicación divulga los tres pasos básicos del método:

- calibración del sistema para calcular la función de transferencia, entre la entrada y la salida, necesaria para recuperar y corregir cualquier imagen transmitida,
- reajuste de la calibración del sistema cuando el mazo se sitúa en una posición distinta a la que tenía durante la calibración original, se sustituye por otro diferente o se cambia la cámara,
- reconstrucción de la imagen final captada por la cámara mediante los resultados de la calibración previa.

Estas funciones están detalladas en el resumen del artículo.

La tercera reivindicación especifica las funciones de la fase de calibración, que incluye las etapas de:

- preparación del sistema para la calibración, mediante: enfoque de la óptica de entrada del IOFB midiendo el nivel de energía que es capaz de transportar un grupo localizado de fibras, localización de las posiciones de las fibras en la imagen captada por la cámara y cálculo de los factores de corrección de intensidades o de ecualización de las respuestas de cada fibra para igualar las funciones de transferencia de las fibras.
- cálculo de la tabla de reconstrucción o LUT, que realiza: barrido de la entrada del IOFB utilizando una serie de imágenes formadas por franjas luminosas proyectadas desde un monitor sobre la entrada del mazo, análisis de cada imagen resultante en la salida del mazo para determinar en qué posiciones de la entrada cada fibra alcanzó su mejor grado de excitación (el centro) y almacenamiento de estos datos en la LUT.

Todos estos pasos están descritos en los apartados II y III de D01.

La cuarta reivindicación detalla las fases para el reajuste de la calibración del sistema y que consisten en: identificar las regiones que correspondan en ambas imágenes mediante descriptores de formas partiendo de una huella original del mazo y la nueva huella captada por el sensor, calcular la matriz de transformación geométrica que permitiría la correspondencia entre las posiciones de las fibras anteriores y actuales y recalcular y actualizar las posiciones de las fibras en la LUT.

Al igual que en el caso previo, estas etapas se definen en el apartado III de D01.

La última reivindicación se refiere a la reconstrucción de la imagen donde se reorganiza la información corrigiendo los niveles de gris aportados por cada fibra formándose una imagen primitiva y reconstrucción de la imagen final al convolucionar iterativamente la imagen primitiva con un filtro digital conocido sobre las posiciones vacías y posteriormente restaurando a su estado original los píxeles inicialmente conocidos.

Este método de reconstrucción se describe en el apartado III de D01.

A la luz del documento D01, se concluye que la solicitud presentada no cumple el requisito de novedad, según el Art 6 de la ley 11/1986.