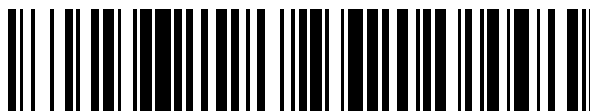


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 775 512**

51 Int. Cl.:

G01B 11/25

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.08.2016** **PCT/US2016/047179**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.03.2017** **WO17040028**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.08.2016** **E 16757436 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2019** **EP 3344949**

54 Título: **Control de potencia en dominio de código para luz estructurada**

30 Prioridad:

31.08.2015 US 201562212507 P
03.03.2016 US 201615060028

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.07.2020

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
International IP Administration, 5775 Morehouse
Drive
San Diego, CA 92121-1714, US

72 Inventor/es:

NASH, JAMES WILSON;
ATANASSOV, KALIN MITKOV y
LINDNER, ALBRECHT JOHANNES

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 775 512 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

Control de potencia en dominio de código para luz estructurada

5 ANTECEDENTES

Campo

10 **[0001]** Diversas características se refieren a la detección de profundidad activa y, más específicamente, al control de la potencia de salida de un transmisor de palabras de código de luz estructurada usando estadísticas de dominio de código.

Descripción de la técnica relacionada

15 **[0002]** Los dispositivos de formación de imágenes que son sistemas de detección activa de luz estructurada incluyen un transmisor y un receptor configurados para transmitir y recibir patrones correspondientes a códigos espaciales (o "palabras de código" (*codeword*)) para generar un mapa de profundidad que indica la distancia de uno o más objetos en una escena desde el dispositivo de formación de imágenes. Cuanto más lejos esté un objeto en una escena del transmisor y el receptor, más cerca estará de su posición original una palabra de código recibida reflejada desde el objeto (en comparación con la palabra de código transmitida) ya que la trayectoria de propagación de la palabra de código saliente y de la palabra de código entrante reflejada son más paralelas. Por el contrario, cuanto más cerca esté el objeto del transmisor y del receptor, más lejos estará la palabra de código recibida de su posición original en la palabra de código transmitida. En consecuencia, la diferencia entre la posición de una palabra de código recibida y la palabra de código transmitida correspondiente se puede usar para determinar la profundidad de un objeto en una escena. Los sistemas de detección activa de luz estructurada pueden usar estas profundidades determinadas para generar un mapa de profundidad de una escena, que puede ser una representación tridimensional de la escena. Muchas aplicaciones pueden beneficiarse de determinar un mapa de profundidad de una escena, lo que incluye la mejora de la calidad de imagen y las técnicas de visión por ordenador.

30 **[0003]** Cada palabra de código puede representarse mediante filas y columnas de valores de intensidad correspondientes a símbolos. Por ejemplo, los códigos espaciales binarios pueden usar ceros (0) y unos (1), correspondientes a valores de intensidad oscuros y luminosos para representar un patrón binario. Otros códigos espaciales pueden usar más de dos valores de intensidad diferentes correspondientes a más de dos símbolos. También se pueden usar otras representaciones espaciales.

35 **[0004]** La generación de un mapa de profundidad depende de la detección de palabras de código. Para detectar palabras de código constituidas por una serie de símbolos, los filtros de descodificación pueden identificar límites espaciales de palabras de código y símbolos, y clasificar símbolos como, por ejemplo, "0" o "1" en función de sus valores de intensidad. Los filtros de descodificación pueden usar filtros coincidentes, correspondientes al conjunto de funciones base armónicas usadas para definir el conjunto de palabras de código posibles, para clasificar las funciones base entrantes. Por lo tanto, la precisión del mapa de profundidad depende de la recepción precisa de símbolos, palabras de código y/o funciones base.

45 **[0005]** Si el nivel de potencia de una fuente de luz usada para proyectar un patrón (por ejemplo, un láser) es demasiado bajo, entonces los puntos correspondientes a símbolos más luminosos pueden ser demasiado oscuros para diferenciarse de símbolos más oscuros. Si el nivel de potencia de la fuente de luz es demasiado alto, entonces los puntos correspondientes a símbolos más luminosos pueden saturarse y propagarse en (mezclarse con) los puntos vecinos. Cuando esto sucede, puede ser difícil clasificar con precisión símbolos, palabras de código y funciones base. Los intervalos óptimos de nivel de potencia pueden depender, al menos parcialmente, de la profundidad del objeto y la reflectancia de la superficie. Los niveles de potencia óptimos pueden variar tanto dentro de las escenas como entre escenas.

50 **[0006]** Los procedimientos y sistemas existentes para controlar la potencia de la fuente de luz pueden no tener en cuenta la variación local, y pueden no estar optimizados para maximizar la precisión de los símbolos, palabras de código o funciones fase. En consecuencia, existe la necesidad de procedimientos y sistemas para controlar la potencia de la fuente de luz en sistemas de luz estructurada para una generación de mapas de profundidad más precisa.

60 **[0007]** La solicitud de patente estadounidense con número de publicación US 2014/0132721 A1 describe sistemas de detección de profundidad activa de luz estructurada que combinan múltiples imágenes para compensar las diferencias en reflectancia y/o absorción. Un sensor receptor captura una pluralidad de imágenes en dos o más momentos de exposición de una escena en la que se proyecta una máscara de código. Dos o más de las imágenes se combinan mediante la extracción de partes descodificables de la máscara de código de cada imagen para generar una imagen combinada. La información de profundidad para la escena se puede determinar en función de la imagen combinada y usando la máscara de código.

65 SUMARIO

[0008] El alcance de protección está definido por las reivindicaciones independientes. Características opcionales se incluyen en las reivindicaciones dependientes.

5 **[0009]** A continuación se ofrece un sumario de aspectos de muestra de la divulgación. Por conveniencia, uno o más aspectos de la divulgación pueden denominarse en el presente documento simplemente como "algunos aspectos".

10 **[0010]** Los procedimientos y aparatos o dispositivos divulgados en el presente documento tienen cada uno varios aspectos, ninguno de los cuales es el único responsable de sus atributos deseables. Sin limitar el alcance de esta divulgación, por ejemplo, según lo expresado por las reivindicaciones adjuntas, a continuación se analizarán brevemente sus características más importantes. Después de considerar este análisis y, en particular, después de leer la sección titulada "descripción detallada", se entenderá cómo las características que se describen proporcionan ventajas que incluyen maneras eficientes de controlar la potencia de salida de un transmisor de palabras de código de luz estructurada usando estadísticas de dominio de código que dan como resultado menos errores de descodificación.

15 **[0011]** Una innovación es un sistema de luz estructurada. El sistema de luz estructurada puede incluir un dispositivo de memoria configurado para almacenar un mapa de profundidad. El sistema de luz estructurada puede incluir además un dispositivo de proyección de imágenes que incluye un sistema láser configurado para proyectar palabras de código. El sistema de luz estructurada puede incluir además un dispositivo receptor que incluye un sensor, estando el dispositivo receptor configurado para detectar las palabras de código proyectadas reflejadas desde un objeto. El sistema de luz estructurada puede incluir además un circuito de procesamiento configurado para recuperar al menos una parte de un mapa de profundidad almacenado en el dispositivo de memoria y calcular palabras de código esperadas del mapa de profundidad. El sistema de luz estructurada puede incluir además un sistema de retroalimentación configurado para controlar la potencia de salida del sistema láser en función de las palabras de código detectadas y las palabras de código esperadas.

20 **[0012]** En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado además para actualizar el mapa de profundidad en función de las palabras de código detectadas. En algunas implementaciones, el dispositivo de memoria está configurado además para almacenar el mapa de profundidad actualizado.

25 **[0013]** En algunas implementaciones, el sistema de retroalimentación está configurado para determinar una estadística de dominio de código que compara las palabras de código detectadas con las palabras de código esperadas. En algunas implementaciones, el sistema de retroalimentación controla la salida del sistema láser basándose, al menos en parte, en la estadística de dominio de código determinada. En algunas implementaciones, la estadística de dominio de código cuantifica la precisión de la clasificación de símbolos. En algunas implementaciones, la estadística de dominio de código es el cuadrado de la diferencia en los promedios de intensidad dividido por la suma de las varianzas de intensidad.

30 **[0014]** En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado además para calcular los símbolos recibidos esperados del mapa de profundidad y/o las palabras de código recibidas previamente. En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado además para asignar cada valor de intensidad recibido a un símbolo recibido esperado correspondiente. En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado además para calcular un valor promedio de intensidad para cada símbolo. En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado además para calcular un valor de varianza de intensidad para cada símbolo. En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado además para calcular la estadística de dominio de código como el cuadrado de la diferencia en los promedios de intensidad dividido por la suma de las varianzas de intensidad.

35 **[0015]** En algunas implementaciones, la estadística de dominio de código cuantifica la precisión de la detección de palabras de código. En algunas implementaciones, la estadística de dominio de código es el porcentaje de palabras de código recibidas que coinciden con las palabras de código esperadas.

40 **[0016]** En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado además para comparar las palabras de código recibidas con las palabras de código esperadas. En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado además para calcular el porcentaje de palabras de código recibidas correctamente. En algunas implementaciones, las palabras de código recibidas correctamente corresponden a las palabras de código esperadas.

45 **[0017]** En algunas implementaciones, la estadística de dominio de código cuantifica la precisión de funciones base. En algunas implementaciones, la estadística de dominio de código es el porcentaje de funciones base recibidas que coinciden con las funciones base esperadas.

50 **[0018]** En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado para calcular funciones base esperadas del mapa de profundidad y/o las palabras de código recibidas previamente. En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado para comparar las funciones base recibidas con las funciones base

esperadas. En algunas implementaciones, el circuito de procesamiento está configurado además para calcular el porcentaje de funciones base recibidas correctamente. En algunas implementaciones, las funciones base recibidas correctamente corresponden a las funciones base esperadas.

5 **[0019]** En algunas implementaciones, el sistema de retroalimentación controla la potencia de salida del sistema láser de forma iterativa para converger en un valor máximo para la estadística de dominio de código.

10 **[0020]** Otra innovación es un procedimiento para controlar la potencia del láser en un sistema de luz estructurada. El procedimiento puede incluir almacenar un mapa de profundidad con un dispositivo de memoria. El procedimiento puede incluir la proyección de palabras de código con un sistema láser. El procedimiento puede incluir detectar las palabras de código proyectadas reflejadas desde un objeto con un sensor receptor. El procedimiento puede incluir recuperar una parte del mapa de profundidad del dispositivo de memoria. El procedimiento puede incluir el cálculo de palabras de código esperadas a partir del mapa de profundidad. El procedimiento puede incluir controlar la potencia de salida del sistema láser en función de las palabras de código detectadas y las palabras de código esperadas.

15 **[0021]** En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además actualizar el mapa de profundidad en función de las palabras de código detectadas. En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además almacenar el mapa de profundidad actualizado con el dispositivo de memoria.

20 **[0022]** En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además determinar una estadística de dominio de código que compara las palabras de código detectadas con las palabras de código esperadas. En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además controlar la potencia de salida del sistema láser en función de, al menos en parte, la estadística de dominio de código determinada.

25 **[0023]** En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además calcular símbolos recibidos esperados del mapa de profundidad y/o palabras de código recibidas previamente. En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además asignar cada valor de intensidad recibido a un símbolo recibido esperado correspondiente. En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además calcular un valor promedio de intensidad para cada símbolo. En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además calcular un valor de varianza de intensidad para cada símbolo. En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además calcular la estadística de dominio de código como el cuadrado de la diferencia en los promedios de intensidad dividido por la suma de las varianzas de intensidad.

30 **[0024]** En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además comparar palabras de código recibidas con palabras de código esperadas. En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además calcular el porcentaje de palabras de código recibidas correctamente, donde las palabras de código recibidas correctamente corresponden a las palabras de código esperadas.

35 **[0025]** En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además calcular funciones base esperadas a partir del mapa de profundidad y/o palabras de código recibidas previamente. En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además comparar funciones de base recibidas con funciones base esperadas. En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además calcular el porcentaje de funciones base recibidas correctamente, donde las funciones base recibidas correctamente corresponden a las funciones base esperadas.

40 **[0026]** En diversos modos de realización, el procedimiento puede incluir además controlar la potencia de salida del sistema láser de forma iterativa para converger en un valor máximo para la estadística de dominio de código.

45 **[0027]** Otra innovación es un sistema de luz estructurada. El sistema de luz estructurada puede incluir medios para almacenar un mapa de profundidad. El sistema de luz estructurada puede incluir medios para proyectar palabras de código. El sistema de luz estructurada puede incluir medios para detectar las palabras de código proyectadas reflejadas desde un objeto. El sistema de luz estructurada puede incluir medios para recuperar una parte del mapa de profundidad de los medios para almacenar un mapa de profundidad. El sistema de luz estructurada puede incluir medios para calcular las palabras de código esperadas del mapa de profundidad. El sistema de luz estructurada puede incluir medios para controlar la potencia de salida de los medios de proyección en función de una comparación entre las palabras de código detectadas y las palabras de código esperadas.

50 **[0028]** En diversos modos de realización, los medios de almacenamiento pueden incluir un dispositivo de memoria. En diversos modos de realización, los medios de proyección pueden incluir un sistema láser. En diversos modos de realización, los medios de detección incluyen un sensor receptor. En diversos modos de realización, los medios de recuperación incluyen un circuito de procesamiento. En diversos modos de realización, los medios de cálculo incluyen el circuito de procesamiento. En diversos modos de realización, los medios de control incluyen un sistema de retroalimentación.

55 **[0029]** En diversos modos de realización, el sistema de luz estructurada incluye además medios para determinar una estadística de dominio de código que compara las palabras de código detectadas con las palabras de código

esperadas. En diversos modos de realización, el sistema de luz estructurada incluye además medios para controlar la potencia de salida del sistema láser en función de, al menos en parte, la estadística de dominio de código determinada.

[0030] Otra innovación es un medio no transitorio legible por ordenador que almacena instrucciones que, cuando se ejecutan, hacen que un procesador realice un procedimiento. El procedimiento puede incluir almacenar un mapa de profundidad con un dispositivo de memoria. El procedimiento puede incluir la proyección de palabras de código con un sistema láser. El procedimiento puede incluir detectar las palabras de código proyectadas reflejadas desde un objeto con un sensor receptor. El procedimiento puede incluir recuperar una parte del mapa de profundidad del dispositivo de memoria. El procedimiento puede incluir el cálculo de palabras de código esperadas a partir del mapa de profundidad. El procedimiento puede incluir controlar la potencia de salida del sistema láser en función de las palabras de código detectadas y las palabras de código esperadas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0031] Diversas características, aspectos y ventajas resultarán evidentes a partir de la descripción del presente documento y los dibujos adjuntos del mismo, en los que los símbolos de referencia similares identificarán, en general, aspectos o componentes correspondientes ilustrados en los dibujos. Como entenderá un experto en la técnica, los aspectos descritos o ilustrados para un modo de realización pueden incluirse en otro u otros modos de realización descritos o ilustrados, si no entorpece la implementación o función de dicho modo de realización, a menos que se indique lo contrario.

La Figura 1 es un esquema que ilustra un ejemplo de un sistema de detección activa en el que se usa un patrón conocido para iluminar una escena y obtener información de profundidad con la que generar información tridimensional (3D) a partir de imágenes y/o información bidimensional (2D).

La Figura 2 es un diagrama que ilustra otro ejemplo de un sistema de detección activa en el que se genera una escena 3D a partir de imágenes o información 2D.

La Figura 3 es un esquema que ilustra cómo se puede detectar la profundidad de un objeto o escena.

La Figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra un ejemplo de un dispositivo transmisor que puede configurarse para generar una máscara de código compuesta y/o proyectar dicha máscara de código compuesta.

La Figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra un ejemplo de un dispositivo receptor que puede configurarse para obtener información de profundidad de una máscara de código compuesta.

La Figura 6 es un diagrama de bloques de un modo de realización de un aparato configurado para realizar uno o más de los procedimientos de corrección de errores desvelados en el presente documento.

La Figura 7 es una imagen que ilustra un ejemplo de una máscara de código con conjuntos de símbolos correspondientes a puntos luminosos y oscuros.

La Figura 8 es una imagen que ilustra una imagen de una escena usada para generar un mapa de profundidad, superpuesta con palabras de código proyectadas por un láser a través de una máscara de código, tal como la máscara de código de la Figura 7.

La Figura 9 ilustra un ejemplo de un mapa de profundidad para la escena de la Figura 8.

La Figura 10 ilustra un ejemplo de una palabra de código iluminada a un nivel de potencia óptimo. La palabra de código incluye una matriz 4x4 de símbolos "0" o "1", correspondientes a símbolos codificados en la máscara de código de la Figura 7, teniendo los símbolos límites bien definidos y una separación clara en los valores de intensidad entre los símbolos "0" y los símbolos "1".

La Figura 11 muestra un ejemplo de funciones de distribución de probabilidad bien separadas de valores de intensidad para los símbolos "0" y "1" codificados en la máscara de código de la Figura 7, a la potencia óptima del láser, como se describe en la Figura 10.

La Figura 12 ilustra un ejemplo de la palabra de código de la Figura 10 pero iluminada a un nivel de potencia más bajo que en la Figura 10, de modo que los puntos luminosos no son tan luminosos como en la Figura 10.

La Figura 13 muestra un ejemplo de funciones de distribución de probabilidad superpuestas de valores de intensidad por símbolo para los símbolos "0" y "1" codificados en la máscara de código de la Figura 7, a un nivel de potencia inferior al óptimo, como se describe en referencia a la Figura 12.

La Figura 14 ilustra un ejemplo de la palabra de código de la Figura 10 pero iluminada a un nivel de potencia más alto

que en la Figura 10, de modo que los puntos luminosos están saturados, se mezclan entre sí y hacen que algunos puntos oscuros parezcan luminosos.

La Figura 15 muestra un ejemplo de funciones de distribución de probabilidad superpuestas de valores de intensidad por símbolo para los símbolos "0" y "1" codificados en la máscara de código de la Figura 7, a una potencia de láser superior a la óptima, como se describe en la Figura 14.

La Figura 16 ilustra un ejemplo de un gráfico de contraste o separación entre los dos símbolos en función del nivel de potencia.

La Figura 17 ilustra imágenes de luz estructurada tomadas con tres configuraciones de potencia diferentes en un modo de realización de ejemplo.

La Figura 18 ilustra un ejemplo de un sistema de control de retroalimentación que se puede usar para controlar un láser en un sistema de luz estructurada para proyectar palabras de código que no son demasiado oscuras para ser detectadas y distinguidas, ni demasiado luminosas para saturarse cuando son detectadas por un receptor en el sistema de luz estructurada.

La Figura 19 ilustra un ejemplo de un proceso 1900 para ajustar la potencia de un transmisor de luz estructurada usando estadísticas de dominio de código en función de información de mapa de profundidad existente e imágenes detectadas y reflejadas de palabras de código.

La Figura 20 ilustra un ejemplo de un proceso 2000 para controlar la potencia de un transmisor de luz estructurada usando información determinada a partir de palabras de código recibidas que se reflejan desde un objeto, incluido el cálculo de una estadística de dominio de código.

La Figura 21 ilustra un ejemplo de un proceso 2100 para calcular la estadística de dominio de código del proceso 2000, donde la estadística de dominio de código es el contraste entre símbolos medidos por el cuadrado de la diferencia en los promedios de intensidad dividido por la suma de las variantes de intensidad.

La Figura 22 ilustra un ejemplo de un proceso 2200 para calcular la estadística de dominio de código del proceso 2000, donde la estadística de dominio de código es el porcentaje de palabras de código recibidas que coinciden con las palabras de código esperadas.

La Figura 23 ilustra un ejemplo de un proceso 2300 para calcular la estadística de dominio de código del proceso 2000, donde la estadística de dominio de código es el porcentaje de funciones base recibidas que coinciden con las funciones base esperadas.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0032] La siguiente descripción detallada se refiere a determinados modos de realización específicos. Sin embargo, los procedimientos y sistemas divulgados pueden realizarse en una multitud de formas diferentes. Resulta evidente que los aspectos del presente documento se pueden realizar en una amplia variedad de formas y que cualquier estructura o función específica, o ambas, que se divulguen en el presente documento son simplemente representativas. Los aspectos divulgados en el presente documento pueden implementarse independientemente de cualquier otro aspecto. Dos o más de estos aspectos pueden combinarse de varias maneras. Por ejemplo, un aparato se puede implementar o un procedimiento se puede llevar a la práctica usando un número cualquiera de los aspectos expuestos en el presente documento. Además, dicho aparato se puede implementar, o dicho procedimiento se puede llevar a la práctica usando otra estructura, funcionalidad, o estructura y funcionalidad, además o aparte de uno o más de los aspectos expuestos en el presente documento.

[0033] Además, los sistemas y procedimientos descritos en el presente documento pueden implementarse en una variedad de diferentes sistemas de formación de imágenes y dispositivos y sistemas informáticos. Pueden usar sistemas de propósito general o de propósito especial.

[0034] Los sistemas de luz estructurada generan mapas de profundidad descodificando los patrones recibidos de palabras de código y comparándolos con los patrones transmitidos. Si los símbolos y palabras de código recibidos tienen límites espaciales bien definidos y niveles de intensidad bien separados para diferentes valores de símbolo, entonces es posible descodificar los patrones recibidos con precisión y generar mapas de profundidad precisos. Si los límites de símbolo no están bien definidos y/o los niveles de intensidad no están bien separados, la precisión de detección disminuye y la precisión del mapa de profundidad se ve afectada.

[0035] Los sistemas de luz estructurada transmiten los patrones de las palabras de código emitiendo luz a un nivel de potencia controlable a través de una máscara. En algunos modos de realización, la fuente de luz es un láser (aunque también puede ser otro tipo de fuente de luz), y la máscara es un elemento óptico difractivo. Cuando el nivel de potencia de la fuente de luz es demasiado bajo, los símbolos pueden ser demasiado oscuros para recibirse con

precisión y descodificarse correctamente. A un nivel de potencia más alto de la fuente de luz es más probable que los símbolos transmitidos se descodifiquen ya que sus límites están bien delineados y, con una potencia creciente, bien separados por intensidad. Por ejemplo, los símbolos "0" aparecen oscuros y los símbolos "1" aparecen claros, y hay una gran brecha de intensidad entre los símbolos oscuros y los símbolos claros. Si el nivel de potencia de la fuente de luz es demasiado alto, puede parecer que los símbolos se propagan más allá de los límites previstos de los símbolos en bandas de protección e incluso en símbolos vecinos. Por lo tanto, cuando el nivel de potencia de la fuente de luz es demasiado alto, los límites de símbolo pueden no ser claros, ya que los símbolos pueden mezclarse entre sí, y los símbolos recibidos pueden parecer significativamente diferentes de lo que se proyectó, lo que reduce la precisión de detección. En cualquier escena particular, los objetos a diferentes distancias y/o con diferentes características de superficie pueden requerir diferentes niveles de potencia de láser para una descodificación precisa.

[0036] La tecnología divulgada incluye sistemas y procedimientos para controlar el nivel de potencia de fuente de luz, de modo que las imágenes recibidas pueden descodificarse con precisión. Las estadísticas de dominio de código se usan para caracterizar la eficacia con que se pueden descodificar las imágenes recibidas, por ejemplo, cuantificando el contraste o la separación entre diferentes valores de símbolos, cuantificando la precisión de detección de palabras de código o cuantificando la precisión de detección de funciones base. Estas medidas caracterizan directamente la precisión de la descodificación y permiten controlar la convergencia hasta un nivel de potencia de láser óptimo mediante la retroalimentación (por ejemplo, a través de un bucle de retroalimentación negativa o usando un algoritmo adaptativo) de la estadística de dominio de código al controlador de láser. Como resultado, el mapa de profundidad resultante puede tener menos errores de descodificación y, por lo tanto, ser más preciso.

[0037] La **Figura 1** ilustra un ejemplo de un sistema de detección activa 100 que genera información tridimensional, tal como un mapa de profundidad 107, a partir de imágenes bidimensionales. El sistema de detección activa 100 incluye un transmisor 102 y un receptor 108. El transmisor 102 proyecta luz a través de una máscara de código para formar una imagen proyectada 104. Una sección 112 de la imagen proyectada 104 incluye una palabra de código única 120 que se proyecta sobre la escena 106. La superficie del/de los objeto(s) en la escena 106 se ilumina mediante el patrón espacial 116, que forma parte de la imagen reflejada que es detectada por el receptor 108. El receptor 108 detecta una parte 118 (segmento) de la imagen reflejada 110, que incluye la palabra de código única 120, y compara la posición relativa de la palabra de código única 120 con otras palabras de código únicas en la máscara de código para determinar la información de profundidad, para generar un mapa de profundidad 107, de la superficie del objeto en la escena 106, como se describe más adelante con respecto a la Figura 3. El receptor 108 forma un mapa de profundidad 107 basado en estimaciones de profundidad sobre las superficies de los objetos en la escena, que reflejan otras palabras de código identificables de otros segmentos de la imagen reflejada 110. Cada segmento 118 que se captura puede identificarse de manera única en el receptor 108 y su ubicación con respecto a otros segmentos se determina a partir del patrón conocido de la máscara codificada. El receptor 108 puede usar técnicas de segmentación de patrones para abordar la distorsión, técnicas de descodificación para identificar códigos, y triangulación para determinar la orientación y/o profundidad.

[0038] La **Figura 2** ilustra otro ejemplo de un sistema de detección activa para generar mapas de profundidad y mostrar representaciones tridimensionales de escenas. Un codificador/modulador de forma 201 puede generar una máscara de código que posteriormente es proyectada por un dispositivo transmisor 202 sobre un canal de transmisión 204. La máscara de código puede proyectarse sobre un objetivo (por ejemplo, una escena) y la luz reflejada es capturada por un sensor receptor 205 como una imagen de máscara de código proyectada. El sensor receptor 205 (por ejemplo, el receptor 108 en la Figura 1) captura la imagen reflejada del blanco, donde un segmentador/descodificador 206 la segmenta y descodifica para determinar la información de profundidad usada para generar el mapa de profundidad 208. El mapa de profundidad 208 puede usarse después para presentar, generar y/o proporcionar una versión de imagen en 3D de un blanco, por ejemplo, uno de los blancos 210a-e.

[0039] La detección activa se basa en la capacidad de reconocer (en el sensor receptor 205 y/o el segmentador/descodificador 206) códigos espaciales (por ejemplo, palabras de código) de la máscara de código proyectada por el dispositivo transmisor 202 en una escena. Si una escena está demasiado cerca del transmisor y el receptor, la superficie de la escena puede estar en ángulo o curvada, un plano de referencia de línea de base puede estar inclinado y los códigos pueden modificarse bajo una transformación afín desconocida (por ejemplo, rotación, inclinación, compresión, alargamiento, etc.). Uno o más aspectos o características descritos en el presente documento pueden implementarse dentro de los entornos ejemplares de las Figuras 1 y 2.

[0040] La **Figura 3** ilustra un ejemplo de cómo se puede detectar la profundidad de uno o más objetos en una escena. La Figura 3 muestra un dispositivo 300 que incluye un transmisor 302 y un receptor 304. El dispositivo está iluminando dos objetos 306 y 308 con luz estructurada emitida desde el transmisor 302 como proyección de palabra de código 310. La proyección de palabra de código 310 se refleja desde los objetos 306 y/o 308 y se recibe como una palabra de código reflejada 311 por el receptor 304 en el plano del sensor 307.

[0041] Como se ilustra en la Figura 3, el transmisor 302 está en el mismo plano de referencia que el receptor 304 (por ejemplo, el plano de lente 305). El transmisor 302 proyecta la proyección de palabra de código 310 sobre los objetos 306 y 308 a través de una abertura 313.

[0042] La proyección de palabra de código 310 ilumina el objeto 306 como segmento proyectado 312', e ilumina el objeto 308 como segmento proyectado 312". Cuando los segmentos proyectados 312' y 312" son recibidos por el receptor 304 a través de la abertura de receptor 315, la palabra de código reflejada 311 puede mostrar reflexiones generadas desde el objeto 308 a una primera distancia d1 y reflexiones generadas desde el objeto 306 a una segunda distancia d2.

[0043] Como se muestra en la Figura 3, dado que el objeto 306 está ubicado más cerca del transmisor 302 (por ejemplo, una primera distancia desde el dispositivo transmisor), el segmento proyectado 312' aparece a una distancia d2 de su ubicación inicial. Por el contrario, dado que el objeto 308 está ubicado más lejos (por ejemplo, una segunda distancia del transmisor 302), el segmento proyectado 312" aparece a una distancia d1 de su ubicación inicial (donde $d1 < d2$). Es decir, cuanto más lejos esté un objeto del transmisor/receptor, más cerca estará el/la segmento/parte/ventana proyectado/a recibido/a de su posición original en el receptor 304 (por ejemplo, la proyección saliente y la proyección entrante son más paralelas). A la inversa, cuanto más cerca esté un objeto del transmisor/receptor, más lejos estará el/la segmento/parte/ventana proyectado/a recibido/a de su posición original en el receptor 304. Por tanto, la diferencia entre la posición de la palabra de código recibida y la transmitida se puede usar como un indicador de la profundidad de un objeto. En un ejemplo, dicha profundidad (por ejemplo, profundidad relativa) puede proporcionar un valor de profundidad para los objetos representados por cada píxel o píxeles agrupados (por ejemplo, regiones de dos o más píxeles) en una imagen.

[0044] Se pueden usar diversos tipos de esquemas de modulación y codificación para generar una proyección de palabra de código o máscara de código. Estos esquemas de modulación y codificación incluyen, por ejemplo, codificación temporal, codificación espacial y codificación directa.

[0045] En la codificación temporal, los patrones se proyectan sucesivamente sobre la superficie de medición a lo largo del tiempo. Esta técnica tiene una alta precisión y resolución, pero es menos adecuada para escenas dinámicas.

[0046] En la codificación espacial, la información se codifica en un entorno circundante local en función de formas y patrones. Los códigos pseudoaleatorios pueden basarse en matrices M o de De-Bruijn que definen el libro de códigos de palabras de código válidas (por ejemplo, modulación de color o intensidad m-aria). La segmentación de patrones puede no lograrse fácilmente, por ejemplo, cuando las formas y los patrones están distorsionados.

[0047] En la codificación directa, se codifican coordenadas de píxel tanto horizontales como verticales. La modulación puede ser por una fase monotónica o una forma de onda de intensidad. Sin embargo, este esquema puede utilizar un libro de códigos que es más grande que el libro de códigos utilizado para otros procedimientos. En la mayoría de los procedimientos, las palabras de código recibidas (palabras de código detectadas) pueden correlacionarse con un conjunto definido de palabras de código posibles (por ejemplo, en un libro de códigos). Por lo tanto, el uso de un pequeño conjunto de palabras de código (por ejemplo, un pequeño libro de códigos) puede proporcionar un mejor rendimiento que un libro de códigos más grande. Además, dado que un libro de códigos más grande da como resultado distancias más pequeñas entre las palabras de código, las implementaciones que usan libros de códigos más grandes pueden experimentar errores adicionales.

[0048] Los patrones de luz estructurada se pueden proyectar en una escena emitiendo la luz a través de una máscara de código. La luz proyectada a través de la máscara de código puede contener una o más primitivas de máscara de código teseladas. Cada primitiva de máscara de código puede contener una serie de códigos espaciales. Un libro de códigos o estructura de datos puede incluir el conjunto de códigos. Los códigos espaciales, la máscara de código y las primitivas de máscara de código pueden generarse usando funciones base. Las periodicidades de las funciones base se pueden elegir para cumplir los requisitos del patrón agregado de simetría hermitiana (para eliminar imágenes fantasma y simplificar la fabricación), el ciclo de trabajo mínimo (para garantizar una potencia mínima por palabra de código), la propiedad de ventana perfecta (para una resolución de contorno óptima y paquetización de código para una alta resolución), y un desplazamiento aleatorio (para una mejor detección en los límites de los objetos). Un receptor puede hacer uso del libro de códigos y/o los atributos del diseño destinados a ajustarse a las restricciones al desmodular, descodificar y corregir errores en los patrones recibidos.

[0049] El tamaño y la resolución correspondiente de los códigos espaciales corresponden a una extensión espacial física de un código espacial en una máscara de código. El tamaño puede corresponder al número de filas y columnas en una matriz que representa cada palabra de código. Cuanto más pequeña sea una palabra de código, más pequeño será el objeto que se pueda detectar. Por ejemplo, para detectar y determinar una diferencia de profundidad entre un botón de una camisa y la tela de la camisa, la palabra clave no debe ser más grande que el tamaño del botón. En algunos modos de realización, cada código espacial puede ocupar cuatro filas y cuatro columnas. En algunos modos de realización, los códigos pueden ocupar más o menos filas y columnas (filas x columnas), para ocupar, por ejemplo, 3x3, 4x4, 4x5, 5x5, 6x4 o 10x10 filas y columnas.

[0050] La representación espacial de los códigos espaciales corresponde a cómo cada elemento de palabra de código se modela en la máscara de código y se proyecta posteriormente en una escena. Por ejemplo, cada elemento de palabra de código puede representarse usando uno o más puntos, uno o más segmentos de línea, una o más cuadrículas, alguna otra forma o alguna combinación de lo anterior.

[0051] El "ciclo de trabajo" de los códigos espaciales corresponde a una relación de un número de bits o partes afirmadas (por ejemplo, "1") con un número de bits o partes no afirmadas (por ejemplo, "0") en la palabra de código. Cuando un patrón de luz codificado que incluye la palabra de código se proyecta en una escena, cada bit o parte que tenga un valor de "1" puede tener energía (por ejemplo, "energía de luz"), pero cada bit que tenga un valor de "0" puede estar desprovisto de energía. Para que una palabra de código sea fácilmente detectable, la palabra de código debe tener suficiente energía.

[0052] La característica de "resolución de contorno" o "ventana perfecta" de los códigos indica que cuando una palabra de código se desplaza en una cantidad, por ejemplo, una rotación de un bit, los datos resultantes representan otra palabra de código.

[0053] La **Figura 4** es un diagrama de bloques que ilustra un ejemplo de un dispositivo transmisor que puede configurarse para generar una máscara de código compuesta y/o proyectar dicha máscara de código compuesta. El dispositivo transmisor 402 puede incluir un circuito de procesamiento 404 acoplado a un dispositivo de memoria/almacenamiento 406 (dispositivo de memoria), un dispositivo de proyección de imágenes 408 y/o un medio tangible 409. En algunos aspectos, el dispositivo transmisor 402 puede corresponder al transmisor 302 analizado anteriormente con respecto a la Figura 3.

[0054] En un primer ejemplo, el dispositivo transmisor 402 puede estar acoplado para incluir un medio tangible 409. El medio tangible puede definir, incluir y/o almacenar una máscara de código compuesta 414. El medio tangible puede ser un elemento óptico difractivo (DOE) que codifica la máscara de código, de modo que cuando la luz de un láser u otra fuente de luz se proyecta a través del DOE en, por ejemplo, una frecuencia de infrarrojo cercano, se proyecta una imagen de patrón de palabra de código del transmisor. La máscara de código compuesta puede incluir una capa de código combinada con una capa portadora. La capa de código puede incluir palabras de código codificadas espacialmente identificables de forma única definidas por una pluralidad de símbolos. La capa portadora puede determinarse de manera independiente y ser distinta de la capa de código. La capa portadora puede incluir una pluralidad de objetos de referencia que son robustos frente a la distorsión tras la proyección. Al menos una de la capa de código y la capa portadora puede estar conformada previamente mediante una función de dispersión de puntos sintéticos antes de la proyección.

[0055] En un segundo ejemplo, el circuito de procesamiento (o procesador) 404 puede incluir un generador/selector de capa de código 416, un generador/selector de capa portadora 418, un generador/selector de máscara de código compuesta 420 y/o un circuito de preconformación 422. El generador/selector de capa de código 416 puede seleccionar una capa de código prealmacenada 410 y/o puede generar dicha capa de código. El generador/selector de capa portadora 418 puede seleccionar una capa portadora prealmacenada 412 y/o puede generar dicha capa portadora. El generador/selector de máscara de código compuesta puede seleccionar una máscara de código compuesta prealmacenada 414 y/o puede combinar la capa de código 410 y la capa portadora 412 para generar la máscara de código compuesta 414. Opcionalmente, el circuito de procesamiento 404 puede incluir un circuito de preconformación 422 que conforma previamente la máscara de código compuesta 414, la capa de código 410 y/o la capa portadora 412 para compensar la distorsión esperada en el canal a través del cual va a proyectarse la máscara de código compuesta.

[0056] En algunas implementaciones puede estar disponible una pluralidad de diferentes capas de código y/o capas portadoras, donde cada una de dichas capas de código o portadoras pueden configurarse para diferentes condiciones (por ejemplo, para objetos a diferentes distancias, o diferentes configuraciones entre el dispositivo transmisor y el dispositivo receptor). Por ejemplo, para objetos dentro de una primera distancia o alcance, se puede usar una combinación diferente de capas portadoras y de código que para objetos a una segunda distancia o alcance, donde la segunda distancia es mayor que la primera distancia. En otro ejemplo, se puede usar una combinación diferente de capas portadoras y de código dependiendo de la orientación relativa del dispositivo transmisor y del dispositivo receptor.

[0057] El dispositivo de proyección de imágenes 408 puede servir para proyectar la máscara de código compuesta generada/seleccionada sobre un objeto de interés. Por ejemplo, se puede usar un láser u otra fuente de luz para proyectar la máscara de código compuesta sobre el objeto de interés (por ejemplo, a través de un canal de proyección). En un ejemplo, la máscara de código compuesta 414 puede proyectarse en un espectro infrarrojo, por lo que puede no ser visible a simple vista. En cambio, se puede usar un sensor receptor en la gama del espectro infrarrojo para capturar dicha máscara de código compuesta proyectada.

[0058] La **Figura 5** es un diagrama de bloques que ilustra un ejemplo de un dispositivo receptor 502 que está configurado para recibir una máscara de código compuesta reflejada desde un objeto y para determinar la información de profundidad a partir de una máscara de código compuesta. El dispositivo receptor 502 puede incluir un circuito de procesamiento 504 acoplado a un dispositivo de memoria/almacenamiento y un sensor receptor 508 (por ejemplo, un dispositivo de captura de imágenes 508). En algunos aspectos, el dispositivo receptor 502 ilustrado en la Figura 5 puede corresponder al receptor 304 analizado anteriormente con respecto a la Figura 3. En algunos modos de realización, el sensor receptor 508 es un dispositivo de captura de imágenes, por ejemplo, una cámara.

[0059] El sensor receptor 508 puede configurarse para obtener al menos una parte de una máscara de código compuesta proyectada en la superficie de un objeto. Por ejemplo, el sensor receptor puede capturar una imagen de al menos una parte de una máscara de código compuesta 414 proyectada en la superficie de un objeto de destino. La máscara de código compuesta 414 puede definirse por: (a) una capa de código de palabras de código codificadas espacialmente identificables de forma única definidas por una pluralidad de símbolos, y (b) una capa portadora que puede determinarse de manera independiente y distinta de la capa de código y que incluye una pluralidad de objetos de referencia que son robustos frente a la distorsión durante la proyección. Al menos una de la capa de código y la capa portadora puede haberse conformado previamente mediante una función de dispersión de puntos sintéticos antes de la proyección. En un ejemplo, el sensor receptor 508 puede capturar (detectar) la máscara de código compuesta en el espectro infrarrojo.

[0060] Todavía haciendo referencia a la Figura 5, en algunos modos de realización, la capa de código puede comprender n1 por n2 símbolos binarios, donde n1 y n2 son enteros mayores que dos. En la máscara de código compuesta, cada símbolo puede ser un segmento de línea en uno de dos tonos de escala de grises distintos de los objetos de referencia. Los símbolos de la capa de código pueden estar escalonados en al menos una dimensión. Los objetos de referencia de la capa portadora pueden comprender una pluralidad de bandas de referencia igualmente espaciadas con un intervalo de guarda entre las mismas. Las bandas de referencia y el intervalo de guarda pueden tener un ancho diferente. El ancho de cada banda de referencia con respecto a un ancho de intervalo de guarda puede determinarse mediante una dispersión óptica esperada de un dispositivo transmisor y/o un dispositivo receptor.

[0061] El circuito de procesamiento 504 puede incluir un circuito/módulo detector de bandas de referencia 512, un circuito/módulo de ajuste de distorsión 514, un circuito/módulo identificador de palabras de código 516, un circuito/módulo de detección de profundidad 518 y/o un circuito/módulo de generación de mapas de profundidad 520.

[0062] El circuito/módulo detector de bandas de referencia 512 puede configurarse para detectar bandas de referencia dentro de la parte de la máscara de código compuesta. El circuito/módulo de ajuste de distorsión 514 puede configurarse para ajustar una distorsión de la parte de la máscara de código compuesta en base a una orientación esperada de las bandas de referencia con respecto a una orientación real de las bandas de referencia. El circuito/módulo identificador de palabras de código 516 puede configurarse para obtener una palabra de código a partir de una ventana definida dentro de la parte de la máscara de código compuesta. El circuito/módulo de detección de profundidad 518 puede configurarse para obtener información de profundidad para una parte de superficie del objeto de destino correspondiente a la ventana en base a: (a) una sola proyección de la máscara de código compuesta, y (b) un desplazamiento de la ventana con respecto a una máscara de código de referencia conocida.

[0063] El circuito/módulo de generación de mapas de profundidad 520 puede configurarse para ensamblar un mapa de profundidad para el objeto en base a una pluralidad de palabras de código detectadas como ventanas superpuestas diferentes dentro de la parte de la máscara de código compuesta no distorsionada.

[0064] La **Figura 6** es un diagrama de bloques que ilustra un modo de realización de un aparato configurado para realizar uno o más de los procedimientos de corrección de errores desvelados en el presente documento. El aparato 600 incluye un emisor de luz 602, un elemento receptor de luz 604, un procesador 606 y una memoria 608. El emisor de luz 602, el elemento receptor de luz 604, el procesador 606 y la memoria 608 están conectados de manera operativa a través de un bus 610. En algunos aspectos, el elemento receptor de luz 604 puede corresponder al dispositivo receptor 502 analizado anteriormente con respecto a la FIG. 5. En algunos aspectos, el emisor de luz 602 puede corresponder al dispositivo transmisor 402 analizado anteriormente con respecto a la FIG. 4.

[0065] La memoria 608 puede almacenar instrucciones que configuran el procesador 606 para realizar una o más funciones de los procedimientos analizados en el presente documento. Por ejemplo, las instrucciones almacenadas en la memoria pueden configurar el procesador 606 para controlar el emisor de luz 602 para emitir luz que codifica luz estructurada como palabras de código, para iluminar un objeto de destino. Las instrucciones almacenadas en la memoria 608 pueden hacer además que el procesador 606 controle el elemento receptor de luz 604 para recibir luz reflejada desde el objeto de destino y producir datos codificados en la luz reflejada. Las instrucciones almacenadas en la memoria pueden configurar además el procesador para corregir errores en los datos producidos por el elemento receptor de luz de acuerdo con el procedimiento 1500 analizado más adelante.

[0066] La **Figura 7** es una imagen de un ejemplo de una máscara de código 700 con conjuntos de símbolos correspondientes a puntos luminosos y oscuros. Los puntos luminosos corresponden a símbolos "1". Están alineados en filas y columnas y separados por intervalos de guarda negros y bandas de guarda que dan estructura a los códigos proyectados y permiten determinar los límites espaciales de símbolos y palabras de código individuales. Las palabras de código ocupan un área espacial rectangular que incluye filas y columnas de símbolos. Por ejemplo, una palabra de código puede incluir dieciséis símbolos en cuatro filas y cuatro columnas. Los símbolos "1" con puntos luminosos son visibles, pero los símbolos "0" con puntos oscuros se mezclan en los intervalos de guarda y las bandas de guarda.

[0067] La **Figura 8** es una imagen 800 de una imagen de una escena usada para generar un mapa de profundidad, superpuesta con palabras de código proyectadas por un láser a través de una máscara de código, tal como la máscara

de código de la Figura 7. La imagen de la Figura 8 incluye un copo de nieve en primer plano, seguido a profundidades cada vez mayores por una mano abierta a la derecha del copo de nieve, una cabeza esculpida de perfil, una mano cerrada con un pulgar hacia arriba y más atrás una mano abierta a la izquierda de la mano con el pulgar hacia arriba. Como las palabras de código pueden recibirse en una parte no visible del espectro de frecuencia, la proyección de palabra de código superpuesta de la Figura 8 se imprime en color falso para que sea visible en la Figura 8.

[0068] La **Figura 9** ilustra un ejemplo de un mapa de profundidad 900 para la escena de la Figura 8, determinado usando las técnicas de luz estructurada descritas anteriormente. Los puntos de profundidad mínima y máxima se indican en la Figura 9. En algunos modos de realización, el mapa de profundidad 900 se actualiza continuamente a velocidad de vídeo (por ejemplo, a 30 tramas por segundo). El mapa de profundidad existente, generado a partir de tramas recibidas previamente, proporciona el conjunto de profundidades esperadas para cada nueva trama de imagen. La profundidad en cada ubicación en una imagen corresponde a la profundidad esperada en cada ubicación, y puede usarse para determinar la palabra de código, el símbolo y la función base esperados en esa ubicación.

[0069] La **Figura 10** ilustra un ejemplo de una palabra de código proyectada a un nivel de potencia óptimo. La palabra de código incluye una matriz 4x4 de símbolos 1000, correspondiente a los símbolos codificados en la máscara de código de la Figura 7. Los símbolos en la Figura 10 tienen límites bien definidos y una separación clara en los valores de intensidad entre los símbolos "0" y "1". El símbolo 1010, así como los otros tres símbolos representados como un círculo con un borde negro y sin sombreado, corresponden a puntos oscuros del símbolo "0". El símbolo 1020, así como los otros 11 símbolos, cada uno representado como un círculo con sombreado oscuro, corresponden a puntos luminosos del símbolo "1". En el ejemplo de la Figura 10, el nivel de potencia es óptimo. Cada símbolo en la Figura 10 tiene un límite claro sin saturación o propagación en los bordes. Existe una clara separación de intensidad entre los puntos oscuros 1010 y los puntos luminosos 1020, como se ilustra adicionalmente en la Figura 11.

[0070] La **Figura 11** muestra un ejemplo de funciones de distribución de probabilidad bien separadas 1110 y 1120 de valores de intensidad para los símbolos "0" y "1", respectivamente, codificados en la máscara de código de la Figura 7, a una potencia de láser óptima como se describe en la Figura 10. Los ejes horizontal y vertical de la Figura 11 corresponden al nivel de intensidad y al nivel de probabilidad, respectivamente. La función de distribución de probabilidad 1110 para los símbolos oscuros "0" se aproxima a una distribución gaussiana con un pico en el nivel de intensidad promedio de μ_0 y una desviación estándar de σ_0 . La varianza correspondiente es σ_0^2 . De forma similar, la función de distribución de probabilidad 1120 para los símbolos luminosos "1" se aproxima a una distribución gaussiana con media μ_1 y una desviación típica de σ_1 . En este ejemplo, $\mu_1 > \mu_0$ y $\sigma_1 > \sigma_0$. Las dos funciones de distribución de probabilidad 1110 y 1120 están bien separadas pero se superponen.

[0071] Los niveles de intensidad recibidos a la izquierda del límite de decisión 1130 tienen más probabilidades de ser símbolos "0" que símbolos "1". La probabilidad es igual en el límite de decisión 1130, donde las dos funciones de distribución de probabilidad 1110 y 1120 se cruzan, con valores de probabilidad iguales. Los niveles de intensidad recibidos a la derecha del límite de decisión 1130 tienen más probabilidades de ser símbolos "1" que símbolos "0". Por lo tanto, los símbolos "0" con valores de intensidad a la izquierda del límite de decisión 1130 se clasificarán correctamente, mientras que aquellos a la derecha del límite de decisión, correspondientes a la cola derecha 1150, se clasificarán incorrectamente como símbolos "1".

[0072] De forma similar, los símbolos "1" con valores de intensidad a la derecha del límite de decisión 1130 se clasificarán correctamente, mientras que aquellos a la izquierda del límite de decisión, correspondientes a la cola izquierda 1140, se clasificarán incorrectamente como símbolos "0". En consecuencia, menos separación corresponde a menos errores de clasificación de símbolos.

[0073] En el ejemplo de la Figura 11, la cola izquierda 1140 y la cola derecha 1150 son pequeñas porque la diferencia en la media de las funciones de distribución de probabilidad 1110 y 1120 es relativamente grande cuando se normaliza por la suma de sus varianzas. Esta relación puede cuantificarse como una estadística de dominio de código que mide el contraste, o entre agrupaciones dentro de la variación de agrupaciones, como se define en la ecuación (1), a continuación. Una mejor separación entre los niveles de intensidad de símbolo corresponde a valores más altos para A.

$$A = \frac{(\mu_1 - \mu_0)^2}{\sigma_0^2 + \sigma_1^2} \quad (1)$$

[0074] La **Figura 12** ilustra un ejemplo de la palabra de código de la Figura 10, pero iluminada a un nivel de potencia más bajo, de modo que los puntos luminosos no son tan luminosos como en la Figura 10, como se muestra mediante el sombreado más claro en el símbolo 1220. Los símbolos en la Figura 12 tienen límites bien definidos, pero hay una separación menos clara en los valores de intensidad entre los símbolos "0" y "1". El símbolo 1210, así como los otros tres símbolos representados como un círculo con un borde negro y sin sombreado, corresponden a puntos oscuros del símbolo "0". El símbolo 1220, así como los otros 11 símbolos, cada uno representado como un círculo con sombreado claro, corresponden a puntos luminosos del símbolo "1". En el ejemplo de la Figura 10, en el nivel de potencia inferior al óptimo, los símbolos luminosos "1" 1220 no son tan luminosos como los símbolos luminosos "1"

1020, lo que da como resultado una separación de menor intensidad entre los puntos oscuros y los puntos luminosos.

[0075] La **Figura 13** muestra un ejemplo de funciones de distribución de probabilidad superpuestas de valores de intensidad por símbolo para los símbolos "0" y "1" codificados en la máscara de código de la Figura 7, a una potencia de láser inferior a la óptima, como se describe en la Figura 12. En comparación con la Figura 10, las funciones de distribución de probabilidad 1310 y 1320 para los símbolos oscuros "0" y los símbolos luminosos "1", se superponen en mayor grado respectivamente porque los puntos luminosos no son tan luminosos con el nivel de potencia de láser más bajo. El límite de decisión 1330 tiene un valor de intensidad menor que el límite de decisión 1130. La cola derecha 1350 de la función de distribución de probabilidad 1310 tiene un área significativamente mayor que la cola derecha 1150. De manera similar, la cola izquierda 1340 tiene un área significativamente mayor que la cola izquierda 1140. Con el mayor grado de superposición entre las funciones de distribución de probabilidad 1310 y 1320, con niveles de potencia de láser inferiores al óptimo, que fue aparente para las funciones de distribución de probabilidad 1110 y 1120, la estadística de contraste A es menor para una potencia inferior a la óptima que para la potencia óptima.

[0076] La **Figura 14** ilustra un ejemplo de la palabra de código de la Figura 10 pero iluminada a un nivel de potencia más alto, de modo que los puntos luminosos están saturados, se mezclan entre sí y hacen que algunos puntos oscuros parezcan luminosos. Los símbolos en la Figura 12 ya no tienen límites bien definidos que corresponden a los límites transmitidos ya que los bits luminosos saturados "1" 1420 se propagan en bandas de guarda, intervalos de guarda e incluso pueden superponerse con símbolos vecinos "0" 1410. Esto puede dar como resultado que aumenten los valores de intensidad promedio para los valores de símbolos "0", que aumente la varianza de los valores de símbolos oscuros "0", lo que da como resultado una separación de menor intensidad entre los puntos luminosos y los puntos oscuros.

[0077] La **Figura 15** muestra un ejemplo de funciones de distribución de probabilidad superpuestas de valores de intensidad por símbolo para los símbolos "0" y "1" codificados en la máscara de código de la Figura 7, a una potencia de láser superior a la óptima como se describe en la Figura 14. En comparación con la Figura 10, las funciones de distribución de probabilidad 1510 y 1520 para los símbolos oscuros "0" y los símbolos luminosos "1" se superponen en mayor grado de manera respectiva porque los puntos oscuros aparecen más luminosos debido a la propagación o la mezcla en los puntos luminosos vecinos y debido a un aumento en la varianza de los valores de intensidad para los puntos oscuros, como se muestra en la función de distribución de probabilidad 1510. El límite de decisión 1530 tiene un valor de intensidad mayor que el límite de decisión 1130. La cola derecha 1550 de la función de distribución de probabilidad 1510 tiene un área significativamente mayor que la cola derecha 1150. De manera similar, la cola izquierda 1540 tiene un área significativamente mayor que la cola izquierda 1140. Con el mayor grado de superposición entre las funciones de distribución de probabilidad 1510 y 1520, con niveles de potencia de láser superiores al óptimo, que fue aparente para las funciones de distribución de probabilidad 1110 y 1120, la estadística de contraste A es menor para una potencia superior a la óptima que para la potencia óptima.

[0078] La **Figura 16** ilustra un ejemplo de un gráfico 1600 de contraste (o separación) entre los dos símbolos en función del nivel de potencia de una fuente de luz. El eje horizontal corresponde a un nivel de potencia de fuente de luz. El eje vertical corresponde a una estadística de contraste calculada A. Esta curva de "contraste por potencia" 1610 tiene un valor máximo de estadística de contraste 1630 a un nivel de potencia óptimo 1620. La curva de "contraste por potencia" 1610 tiene una cola pronunciada a la izquierda del nivel de potencia óptimo 1620 a medida que la potencia disminuye hasta el punto donde no es suficiente para iluminar los puntos luminosos para que puedan verse, y una cola larga a la derecha del nivel de potencia óptimo 1620 a medida que la potencia aumenta hacia la saturación.

[0079] La **Figura 17** ilustra ejemplos de imágenes de luz estructurada tomadas en tres configuraciones de nivel de potencia diferentes de una fuente de luz. En una primera fila de imágenes originales en la Figura 17, las imágenes correspondientes se generaron a partir de una estadística de contraste de código en una segunda fila, y de los mapas de profundidad correspondientes en una tercera fila. La primera fila de imágenes originales incluye una imagen 1705 generada usando una fuente de luz a un nivel de potencia nominal dentro de un intervalo óptimo, una imagen 1710 generada usando una fuente de luz a un nivel de potencia del 170% por encima del intervalo óptimo, y una imagen 1715 generada usando una fuente de luz a un nivel de potencia del 200%, incluso más allá del intervalo óptimo. La segunda fila en la Figura 17 incluye imágenes de estadística de contraste de código, específicamente una imagen 1720 que corresponde a la imagen original 1705, una imagen 1725 que corresponde a la imagen original 1710 y una imagen 1730 que corresponde a la imagen original 1715. La tercera fila en la Figura 17 incluye mapas de profundidad 1735, 1740 y 1745 generados por las imágenes de luz estructurada originales 1705, 1710 y 1715, respectivamente. En consecuencia, la Figura 17 ilustra que a medida que la potencia de la fuente de luz aumenta del 100% y óptima al 170% de la óptima y al 200% de la óptima, los mapas de profundidad proporcionan información menos precisa. Por ejemplo, las profundidades circulares de los copos de nieve están bien definidas en el mapa de profundidad 1735, pero están menos definidas en el mapa de profundidad 1740, e incluso menos definidas en el mapa de profundidad 1745.

[0080] La **Figura 18** ilustra un sistema de control de retroalimentación 1800 que se puede usar para controlar un láser 1820 en un sistema de luz estructurada para proyectar palabras de código que no son ni demasiado oscuras para ser detectadas y distinguidas, ni demasiado luminosas para saturarse, cuando son detectadas por un sensor receptor 508

en el sistema de luz estructurada. El sistema de control de retroalimentación 1800 (sistema de retroalimentación) incluye un controlador 1810 acoplado a un láser (fuente de luz) 1820, una máscara de código compuesta 414, un sensor receptor 508, un circuito de procesamiento 504, un dispositivo de memoria/almacenamiento 506 (dispositivo de memoria) y un sumador 1830. Estos elementos se acoplan entre sí para formar un bucle de retroalimentación negativa como se ilustra en la Figura 18 para controlar de forma iterativa la salida del láser 1820 (sistema láser). En algunos modos de realización, el controlador 1810, el láser 1820 y la máscara de código compuesta 414 pueden ser elementos de un dispositivo transmisor 402 (Figura 4). El controlador 1810 y el láser 1820 están alojados dentro del dispositivo de proyección de imágenes 408 (Figura 4). En algunos modos de realización, el sensor receptor 508, el circuito de procesamiento 504 y el dispositivo de memoria/almacenamiento 506 pueden ser elementos del dispositivo receptor 502 (Figura 5). El sumador 1830 puede incorporarse dentro del dispositivo transmisor 402 o del dispositivo receptor 502 (Figura 5). Como se indicó anteriormente, el dispositivo transmisor 402 y el dispositivo receptor 502 pueden alojarse dentro de un solo dispositivo. Además, el controlador 1810 puede incluir el sumador 1830; y/o el controlador 1810 y el circuito de procesamiento 404 pueden combinarse dentro de un único elemento. El circuito de procesamiento 504, el sumador 1830, el controlador 1810 y el láser 1820 están acoplados y en comunicación electrónica entre sí. El sensor receptor 508, el circuito de procesamiento 504 y el dispositivo de memoria/almacenamiento están acoplados y en comunicación electrónica entre sí.

[0081] El dispositivo de proyección de imágenes 408 (Figura 4) incluye un láser 1820 controlado por el controlador 1810. El láser 1820 emite luz a, por ejemplo, una frecuencia de infrarrojo cercano que no es visible para el ojo humano pero que puede ser detectada por el sensor receptor 508. El nivel de salida del láser 1820 puede ajustarse mediante el controlador 1810. La máscara de código compuesta 414, el sensor receptor 508, el circuito de procesamiento 504 y el dispositivo de memoria/almacenamiento 506 se han descrito anteriormente con respecto a las Figuras 4 y 5.

[0082] La **Figura 19** ilustra un ejemplo de un proceso 1900 para ajustar la potencia de un transmisor de luz estructurada usando estadísticas de dominio de código, usando información de mapa de profundidad existente (por ejemplo, mapa de profundidad determinado previamente o palabras de código determinadas previamente de una escena) e imágenes detectadas de palabras de código que se reciben (se reflejan) de una escena.

[0083] En el bloque 1905, el proceso 1900 inicializa el nivel de potencia de láser. Esto puede realizarse, por ejemplo, mediante el dispositivo de proyección de imágenes 408 (Figura 4), el controlador 1810 (Figura 18) o el emisor de luz 602 (Figura 6). La configuración inicial del láser se puede establecer, por ejemplo, en función de un nivel de potencia de láser previamente óptimo que se almacenó previamente en la memoria y que se recuperó posteriormente de la memoria en el bloque 1905 y se usó para establecer el nivel de potencia de láser correspondiente a una potencia de salida del láser. El nivel de potencia de láser almacenado puede ser, por ejemplo, un valor de "configuración de fábrica" predeterminado o puede haberse determinado previamente durante un uso previo del láser y almacenado en memoria.

[0084] En el bloque 1910, el proceso 1900 genera un mapa de profundidad y lo almacena en memoria. Esto puede realizarse, por ejemplo, mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18, o el procesador 606 de la Figura 6. El proceso 1900 puede usar procedimientos de luz estructurada como se describe con respecto a la Figura 3, en la cual los desplazamientos de palabras de código se usan para generar información de profundidad. El proceso 1900 puede generar información de mapa de profundidad a partir de una sola trama de luz estructurada o múltiples tramas de luz estructurada. La información de mapa de profundidad puede almacenarse en el dispositivo de memoria/almacenamiento 506 de la Figura 5 y la Figura 18, o en la memoria 608 de la Figura 6.

[0085] El elemento de diagrama de flujo circular 1915 es el punto de partida para un ciclo de actualización de mapa de profundidad. Para cada ciclo de actualización, el proceso 1900 converge a un nivel de potencia de láser óptimo como se describe en los bloques 1920-1955, y la ruta de retroalimentación 1960. Una vez convergido, el proceso 1900 actualiza el mapa de profundidad y lo almacena en memoria en el bloque 1965. Una vez actualizado, el proceso 1900 vuelve al elemento de diagrama de flujo circular 1915 a través de la ruta 1970 para realizar otro ciclo de actualización de mapa de profundidad. En algunos modos de realización, la convergencia del láser y el ciclo de actualización de mapa de profundidad pueden producirse a velocidades de vídeo, por ejemplo, 30 o más ciclos por segundo.

[0086] En el bloque 1920, el proceso 1900 recupera la información del mapa de profundidad de una escena (o de un área o parte determinada de una escena) de la memoria. Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18, o el procesador 606 de la Figura 6. La información de mapa de profundidad se puede recuperar del dispositivo de memoria/almacenamiento 506 de la Figura 5 y la Figura 18, o de la memoria 608 de la Figura 6.

[0087] En el bloque 1925, el proceso 1900 genera símbolos esperados, palabras de código y/o funciones base para el área en función de la información de mapa de profundidad recuperada calculando símbolos esperados, calculando funciones base esperadas y/o calculando palabras de código esperadas. Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18, o el procesador 606 de la Figura 6. El mapa de profundidad 1735 es una representación pictórica de profundidades en función de la ubicación.

[0088] Cada fila y columna de la imagen tiene un valor de profundidad que corresponde a una profundidad "esperada" o distancia desde la superficie de un objeto en la escena. Como se describe con respecto a la Figura 3, existe una

correspondencia biunívoca entre el desplazamiento de palabras de código y la profundidad para palabras de código únicas dentro de un área. En cada ubicación de palabra de código, el proceso 1900 calcula el desplazamiento de palabra de código correspondiente a la profundidad en el mapa de profundidad recuperado. El proceso 1900 se convierte dentro de la máscara de código mediante el desplazamiento de palabra de código para determinar la palabra de código esperada en cada ubicación de palabra de código. Al repetir esto en el área, el proceso 1900 determina una serie de palabras de código esperadas en función de la ubicación.

[0089] Cada palabra de código comprende un conjunto conocido de símbolos. Al asociar cada palabra de código con sus símbolos, el proceso 1900 determina el conjunto correspondiente de símbolos en cada ubicación de símbolo.

[0090] Además, las palabras de código en cada parte de la máscara de código se correlacionan directamente con las funciones base armónicas usadas para generar la máscara de código. Al asociar palabras de código centradas en cada ubicación con las funciones base usadas para generar la máscara de código en la ubicación de máscara de código correspondiente (desplazada), el proceso 1900 determina el conjunto correspondiente de funciones base en cada ubicación de función base.

[0091] Las palabras de código esperadas, los símbolos esperados y las funciones base esperadas corresponden a las palabras de código, símbolos y funciones base que el proceso 1900 descodifica si la potencia de láser está en un nivel óptimo y el mapa de profundidad es preciso. Por lo tanto, estos valores se pueden usar para ayudar a converger a un nivel óptimo de potencia de láser.

[0092] En el bloque 1930, el proceso 1900 proyecta luz de láser a través de una máscara de código para proyectar palabras de código en una escena. La máscara de código tiene las mismas palabras de código, símbolos asociados, y está formada por las mismas funciones base armónicas que la máscara de código descrita anteriormente con respecto al bloque 1925. Esto se puede realizar, por ejemplo, mediante el dispositivo de proyección de imágenes 408 (Figura 4), el láser 1820 (Figura 18) o el emisor de luz 602 (Figura 6). Las palabras de código se proyectan continuamente durante el intervalo de tiempo. Las palabras de código proyectadas pueden proyectarse en una escena u objetos en una escena.

[0093] En el bloque 1935, el proceso 1900 detecta una imagen reflejada de las palabras de código. Esto puede realizarse mediante un sensor receptor 508 de la Figura 5 y la Figura 18, o un sensor integrado con una fuente de luz, por ejemplo el elemento receptor de luz 604 integrado con un emisor de luz 602 de la Figura 6. Las palabras de código recibidas pueden recibirse en una imagen de la escena u objetos en la escena.

[0094] En el bloque 1940, el proceso 1900 determina los niveles de intensidad de símbolos detectados, palabras de código y/o funciones base para el área en función de la imagen detectada. Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18, o el procesador 606 de la Figura 6. El proceso 1900 realiza las funciones descritas anteriormente con respecto a la Figura 5 para delinear y detectar palabras de código usando el circuito de procesamiento 504 y los módulos 512, 514, 516 y 518. Una vez que el proceso 1900 determine las palabras de código recibidas, asocia cada palabra de código al conjunto conocido (por ejemplo, almacenado, preexistente) de símbolos correspondientes a cada palabra de código para generar el conjunto de palabras de código recibidas. En los modos de realización en los que la máscara de código y las palabras de código se generan usando funciones base armónicas, el proceso 1900 puede determinar funciones base recibidas aplicando los valores de intensidad entrantes a los filtros adaptados, uno por función base armónica, y determinando qué filtro adaptado tiene la salida más alta. El filtro adaptado con la salida más alta corresponde a la función base más probable en esa ubicación.

[0095] En el bloque 1950, el proceso 1900 genera al menos una estadística de dominio de código basada en el símbolo, la palabra de código y/o las funciones base esperados y detectados. Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18, o el procesador 606 de la Figura 6. Un primer ejemplo de una estadística de palabra de código caracteriza la separación de símbolos usando la estadística de contraste A como se define en la ecuación (1), arriba, para cuantificar cómo de bien se pueden detectar las palabras de código recibidas. Una segunda estadística de palabra de código caracteriza la precisión de detección de palabras de código calculando el porcentaje de palabras de código recibidas que coinciden con sus correspondientes palabras de código esperadas. Una tercera estadística de palabra de código caracteriza la precisión de la función base calculando el porcentaje de funciones base recibidas que coinciden con sus correspondientes funciones base esperadas. Ejemplos de determinados procesos para calcular el contraste, la precisión de detección de palabras de código y las estadísticas de precisión de detección de función base se describen posteriormente con respecto a las Figuras 21, 22 y 23, respectivamente.

[0096] En el bloque 1950, el proceso 1900 ajusta la potencia de láser en respuesta al al menos una estadística de dominio de código. Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18, o el procesador 606 de la Figura 6. Con referencia a la Figura 18, la(s) estadística(s) de dominio de código puede(n) combinarse con un valor de referencia mediante el sumador 1830 para determinar un valor de error usado por el controlador 1810 para determinar si el nivel de potencia de láser debe aumentarse o disminuirse. El controlador 1810 transmite después una señal de control al láser 1820, ajustando así la potencia de láser para mejorar la estadística de dominio de código. Este sistema de control de retroalimentación 1800 puede funcionar continuamente y, en algunos

modos de realización, converger en un nivel de potencia óptimo a velocidades de tramas de vídeo. La Figura 18 describe el control del láser 1820 como un bucle de retroalimentación negativa. En algunos modos de realización, el láser 1820 puede controlarse usando un algoritmo adaptativo o usando técnicas de búsqueda no lineal.

[0097] En el bloque 1955, el proceso 1900 determina si el nivel de potencia de láser ha convergido. Esto se puede realizar por el controlador 1810 de la Figura 18, el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18, o el procesador 606 de la Figura 6. El proceso 1900 puede determinar que el nivel de potencia de láser converge si el ajuste de potencia es menor que un valor umbral. Si el nivel de potencia de láser aún no ha convergido, el proceso 1900 continúa a lo largo de la ruta de retroalimentación 1960 hasta el bloque 1930.

[0098] Si el nivel de potencia de láser ha convergido, el proceso 1900 avanza hasta el bloque 1965. En el bloque 1965, el proceso 1900 actualiza el mapa de profundidad y lo almacena en memoria. Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18, o el procesador 606 de la Figura 6. El mapa de profundidad actualizado, o la información de mapa de profundidad actualizada, puede almacenarse en la memoria/dispositivo de almacenamiento 506 de la Figura 5 y la Figura 18, o en la memoria 608 de la Figura 6. El proceso 1900 continúa a lo largo de la ruta 1970 hasta el elemento de diagrama de flujo circular 1915 para comenzar un nuevo ciclo de actualización de mapa de profundidad.

[0099] La **Figura 20** ilustra un ejemplo de un proceso 2000 para controlar la potencia de un transmisor de luz estructurada usando información determinada a partir de una o más palabras de código recibidas que se reflejan desde un objeto.

[0100] En el bloque 2005, el proceso 2000 proyecta patrones de palabras de código en uno o más objetos. Esto se puede realizar, por ejemplo, mediante el dispositivo de proyección de imágenes 408 (Figura 4), el láser 1820 (Figura 18) o el emisor de luz 602 (Figura 6). Las palabras de código se proyectan continuamente durante el intervalo de tiempo. Las palabras de código proyectadas pueden proyectarse en una escena u objetos en una escena.

[0101] En el bloque 2010, el proceso 2000 recibe las palabras de código. Esto puede realizarse mediante un sensor receptor 508 de la Figura 5 y la Figura 18, o un sensor integrado con una fuente de luz, por ejemplo el elemento receptor de luz 604 integrado con un emisor de luz 602 de la Figura 6. Las palabras de código recibidas pueden recibirse en una imagen de la escena u objetos en la escena.

[0102] En el bloque 2015, el proceso 2000 calcula una estadística de dominio de código a partir de una o más de las palabras de código recibidas. Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18, o el procesador 606 de la Figura 6. Las estadísticas de dominio de código cuantifican la precisión de clasificación de símbolos, la precisión de descodificación de palabras de código y/o la precisión de descodificación de funciones base.

[0103] En un primer ejemplo, la precisión de clasificación de símbolos puede correlacionarse con el contraste entre símbolos. El grado de contraste puede cuantificarse como se describió anteriormente con respecto a la Figura 11, en donde se estiman las medias y las desviaciones típicas (y/o las varianzas correspondientes) para los valores de intensidad recibidos para cada símbolo, y la ecuación (1) se usa para determinar la estadística de dominio de código A. Más adelante, la Figura 21 ilustra un proceso 2100 para determinar una estadística de dominio de código. La estadística de dominio de código determinada cuantifica la precisión de clasificación de símbolos.

[0104] En un segundo ejemplo, una estadística de dominio de código puede cuantificar la precisión de detección de palabras de código calculando el porcentaje de palabras de código descodificadas que coinciden con las palabras de código esperadas en función de un mapa de profundidad existente o palabras de código recibidas previamente. Más adelante, la Figura 22 ilustra un proceso 2200 para determinar una estadística de dominio de código que caracteriza la precisión de detección de palabras de código.

[0105] En un tercer ejemplo, una estadística de dominio de código puede cuantificar la precisión de codificación de función base calculando el porcentaje de función base recibida correctamente. Más adelante, la Figura 23 ilustra un proceso 2300 para determinar una estadística de dominio de código. La estadística de dominio de código determinada cuantifica la precisión de función base.

[0106] En el bloque 2020, el proceso 2000 ajusta la potencia de la fuente de luz en función de la(s) estadística(s) de dominio de código, y puede volver a recorrer la ruta 2025 para proyectar más palabras de código en la configuración de potencia ajustada de la fuente de luz. El proceso 2000 puede ajustar la potencia de la fuente de luz en diversas implementaciones. Un ejemplo es una implementación de retroalimentación negativa de bucle cerrado como se describe con respecto a la Figura 18, en donde una estadística de dominio de código determinada por el circuito de procesamiento 504 se compara con un valor de referencia por el sumador 1830 para generar una señal de diferencia o error usada por el controlador 1810 para determinar una señal de control que ajuste el nivel de potencia del láser 1820. En un segundo ejemplo, se usa un algoritmo adaptativo para converger en un nivel óptimo de potencia de láser. En un tercer ejemplo, las técnicas de búsqueda no lineal se usan para identificar un nivel óptimo de potencia de láser 1820 que maximice una o más estadísticas de dominio de código.

[0107] La **Figura 21** ilustra un ejemplo de un proceso 2100 para calcular la estadística de dominio de código del proceso 2000, donde la estadística de dominio de código es el contraste entre símbolos medidos por el cuadrado de la diferencia en los promedios de intensidad dividido por la suma de las variantes de intensidad.

[0108] En el bloque 2105, el proceso 2100 calcula los símbolos esperados correspondientes a partir de un mapa de profundidad y/o palabras de código recibidas previamente. Los símbolos recibidos "esperados" corresponden al símbolo más probable (probabilidad máxima). Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18 o el procesador 606 de la Figura 6. El mapa de profundidad y/o las palabras de código recibidas previamente se almacenan en una memoria o dispositivo de almacenamiento. Esto puede realizarse mediante la memoria/dispositivo de almacenamiento 506 de la Figura 5 y la Figura 18 o la memoria 608 de la Figura 6.

[0109] En el bloque 2110, el proceso 2100 asigna cada valor de intensidad recibido al símbolo esperado. Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18 o el procesador 606 de la Figura 6. Esto permite identificar los valores de intensidad recibidos para ubicaciones donde se esperan símbolos "0", así como los valores de intensidad para ubicaciones donde se esperan símbolos "1" según el mapa de profundidad y/o las palabras de código recibidas previamente. Los valores de intensidad recibidos pueden etiquetarse en una estructura de datos por símbolo, o incorporarse en los histogramas de símbolos respectivos.

[0110] En el bloque 2115, el proceso 2100 calcula los valores de intensidad de media y varianza para cada símbolo. Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18 o el procesador 606 de la Figura 6. Como se analizó anteriormente con respecto a la Figura 11, las funciones de distribución de probabilidad de los valores de intensidad para cada símbolo pueden, si se considera que están distribuidas normalmente, caracterizarse por su media y varianza (o desviación típica correspondiente) de los valores de intensidad.

[0111] En el bloque 2120, el proceso 2100 calcula una estadística de contraste basándose en los valores de intensidad de media y varianza para cada símbolo. Esto puede realizarse mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18 o el procesador 606 de la Figura 6. Por ejemplo, la estadística de contraste A es el cuadrado de la distancia en medias de intensidad dividido por la suma de varianzas de intensidad, como se define en la ecuación 1. Estadísticas de mayor contraste corresponden a una mayor separación de símbolos, una menor superposición y una mayor precisión de detección de símbolos.

[0112] La **Figura 22** ilustra un ejemplo de un proceso 2200 para calcular la estadística de dominio de código del proceso 2000, donde la estadística de dominio de código es el porcentaje de palabras de código recibidas que coinciden con las palabras de código esperadas. Los bloques 2205, 2210, 2215 y 2220 del proceso 2200 pueden realizarse cada uno mediante el circuito de procesamiento 504 de la Figura 5 y la Figura 18 o el procesador 606 de la Figura 6.

[0113] En el bloque 2205, el proceso 2200 calcula las palabras de código esperadas a partir de un mapa de profundidad y/o palabras de código recibidas previamente. El mapa de profundidad y/o las palabras de código recibidas previamente se almacenan, por ejemplo, en el dispositivo de memoria/almacenamiento 506 de la Figura 5 y la Figura 18 o la memoria 608 de la Figura 6.

[0114] En el bloque 2210, el proceso 2200 compara cada palabra de código recibida después de la corrección de errores con su palabra de código esperada. Se supone que la palabra de código esperada es correcta en ausencia de información adicional.

[0115] En el bloque 2215, el proceso 2200 calcula el porcentaje de palabras de código recibidas correctamente. El porcentaje es la relación de palabras de código recibidas que coinciden con las palabras de código esperadas. Los porcentajes más altos corresponden a una mayor precisión de detección de palabras de código.

[0116] La **Figura 23** ilustra un ejemplo de un proceso 2300 para calcular la estadística de dominio de código del proceso 2000, donde la estadística de dominio de código es el porcentaje de funciones base recibidas que coinciden con las funciones base esperadas. Los bloques 2305, 2310 y 2315 del proceso 2300 se describen a continuación, donde cada uno se puede realizar procesando el circuito 504 de la Figura 5 y la Figura 18 o el procesador 606 de la Figura 6.

[0117] En el bloque 2305, el proceso 2300 calcula las funciones base esperadas, como se definió anteriormente con respecto a la Figura 3, a partir de un mapa de profundidad y/o palabras de código recibidas previamente. El mapa de profundidad y/o las palabras de código recibidas previamente se almacenan, por ejemplo, en el dispositivo de memoria/almacenamiento 506 de la Figura 5 y la Figura 18 o la memoria 608 de la Figura 6.

[0118] En el bloque 2310, el proceso 2300 compara cada función base recibida con su función base esperada. Se supone que la función base esperada es correcta en ausencia de información adicional.

[0119] En el bloque 2315, el proceso 2300 calcula el porcentaje de funciones base recibidas correctamente. El

porcentaje es la relación de funciones base recibidas que coinciden con las funciones base esperadas. Los porcentajes más altos corresponden a una mayor precisión de detección de funciones base. Una mayor precisión de detección de funciones base corresponde a una mayor precisión de detección de palabras de código.

[0120] Debe entenderse que cualquier referencia a un elemento en el presente documento usando una designación, por ejemplo, "primero", "segundo", etc., no limita, en general, la cantidad o el orden de esos elementos. En cambio, estas designaciones se pueden usar en el presente documento como un procedimiento conveniente para distinguir entre dos o más elementos o instancias de un elemento. Por lo tanto, una referencia a un primer y un segundo elemento no significa que solo se puedan emplear dos elementos allí o que el primer elemento deba preceder al segundo elemento de alguna manera. Asimismo, a menos que se establezca de otro modo, un conjunto de elementos puede comprender uno o más elementos. Además, la terminología de la expresión "al menos uno de: A, B o C" usada en la descripción o en las reivindicaciones significa "A o B o C o cualquier combinación de estos elementos".

[0121] Como se usa en el presente documento, el término "determinar" abarca una amplia variedad de acciones. Por ejemplo, "determinar" puede incluir calcular, computar, procesar, obtener, investigar, consultar (por ejemplo, consultar una tabla, por ejemplo una tabla de consulta, una base de datos u otra estructura de datos), averiguar y similares. Además, "determinar" puede incluir recibir (por ejemplo, recibir información), acceder (por ejemplo, acceder a datos en una memoria) y similares. Además, "determinar" puede incluir resolver, seleccionar, elegir, establecer y similares.

[0122] Como se usa en el presente documento, una expresión que se refiere a "al menos uno de" una lista de elementos se refiere a cualquier combinación de esos elementos, incluidos elementos individuales. Por ejemplo, "al menos uno de: a, b o c" pretende abarcar: a, b, c, a-b, a-c, b-c y a-b-c.

[0123] Las diversas operaciones de los procedimientos descritos anteriormente se pueden realizar por cualquier medio adecuado capaz de realizar las operaciones, tal como diversos módulos, circuitos y/o componentes de hardware y/o de software. En general, cualquier operación ilustrada en las figuras se puede realizar por medios funcionales correspondientes capaces de realizar las operaciones.

[0124] Los diversos bloques, módulos y circuitos lógicos ilustrativos descritos en relación con la presente divulgación pueden implementarse o realizarse con un procesador de propósito general, un procesador de señales digitales (DSP), un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), una matriz de puertas programables in situ (FPGA) u otro dispositivo de lógica programable (PLD), lógica de puertas discretas o de transistores, componentes de hardware discretos o cualquier combinación de los mismos diseñada para realizar las funciones descritas en el presente documento. Un procesador de propósito general puede ser un microprocesador pero, de forma alternativa, el procesador puede ser cualquier procesador, controlador, microcontrolador o máquina de estados disponible en el mercado. Un procesador también puede implementarse como una combinación de dispositivos informáticos, por ejemplo, una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores junto con un núcleo de DSP o cualquier otra configuración de este tipo.

[0125] En uno o más aspectos, las funciones descritas se pueden implementar en hardware, software, firmware o en cualquier combinación de los mismos. Si se implementan en software, las funciones se pueden almacenar en, o transmitir por, un medio legible por ordenador como una o más instrucciones o código. Los medios legibles por ordenador incluyen tanto medios de almacenamiento informáticos como medios de comunicación que incluyen cualquier medio que facilite la transferencia de un programa informático de un lugar a otro. Un medio de almacenamiento puede ser cualquier medio disponible al que se pueda acceder mediante un ordenador. A modo de ejemplo y no de limitación, dichos medios legibles por ordenador pueden comprender RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM u otros dispositivos de almacenamiento en disco óptico, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que se pueda usar para transportar o almacenar el código de programa deseado en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que se pueda acceder mediante un ordenador. Los discos, como se usan en el presente documento, incluyen el disco compacto (CD), el disco láser, el disco óptico, el disco versátil digital (DVD), el disco flexible y el disco Blu-ray, donde algunos discos reproducen normalmente los datos magnéticamente, mientras que otros discos reproducen los datos ópticamente con láseres. Por tanto, en algunos aspectos, el medio legible por ordenador puede comprender un medio no transitorio legible por ordenador (por ejemplo, medios tangibles).

[0126] Los procedimientos divulgados en el presente documento comprenden una o más etapas o acciones para lograr el procedimiento descrito. Las etapas y/o acciones de procedimiento se pueden intercambiar entre sí sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. En otras palabras, a menos que se especifique un orden específico de etapas o acciones, el orden y/o el uso de etapas y/o acciones específicas se pueden modificar sin apartarse del alcance de las reivindicaciones.

[0127] Además, se debe apreciar que los módulos y/u otros medios adecuados para realizar los procedimientos y las técnicas descritos en el presente documento se pueden descargar y/u obtener de otra forma mediante un terminal de usuario y/o una estación base, según corresponda. Por ejemplo, un dispositivo de este tipo puede estar acoplado a un servidor para facilitar la transferencia de medios para realizar los procedimientos descritos en el presente documento. De forma alternativa, diversos procedimientos descritos en el presente documento se pueden

proporcionar a través de medios de almacenamiento (por ejemplo, RAM, ROM, un medio físico de almacenamiento, por ejemplo, un disco compacto (CD) o un disco flexible, etc.), de modo que un terminal de usuario y/o una estación base puedan obtener los diversos procedimientos tras acoplarse o proporcionar los medios de almacenamiento al dispositivo. Además, se puede utilizar cualquier otra técnica adecuada para proporcionar a un dispositivo los procedimientos y técnicas descritos en el presente documento.

[0128] Se ha de entender que las reivindicaciones no están limitadas a la configuración y a los componentes precisos ilustrados anteriormente. Se pueden realizar diversas modificaciones, cambios y variaciones en la disposición, el funcionamiento y los detalles de los procedimientos y aparatos descritos anteriormente sin apartarse del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de luz estructurada (100), que comprende:

- 5 un dispositivo de memoria (506) configurado para almacenar un mapa de profundidad;
- un dispositivo de proyección de imágenes (408) que incluye un sistema láser (1820) configurado para proyectar palabras de código (*codewords*);
- 10 un dispositivo receptor (502) que incluye un sensor (508), estando el dispositivo receptor (502) configurado para detectar las palabras de código proyectadas reflejadas desde un objeto;
- un circuito de procesamiento (504) configurado para recuperar al menos una parte del mapa de profundidad almacenado en el dispositivo de memoria (506) y calcular palabras de código esperadas a partir del mapa de
- 15 profundidad; y
- un sistema de retroalimentación (504, 1810, 1830) configurado para controlar la potencia de salida del sistema láser (1820) en base a las palabras de código detectadas y las palabras de código esperadas.

20 2. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 1, en el que el circuito de procesamiento (504) está configurado además para actualizar el mapa de profundidad en base a las palabras de código detectadas, y en el que el dispositivo de memoria (506) está configurado además para almacenar el mapa de profundidad actualizado.

25 3. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 2, en el que el sistema de retroalimentación (504, 1810, 1830) está configurado para determinar una estadística de dominio de código que compara las palabras de código detectadas con las palabras de código esperadas, y en el que el sistema de retroalimentación (504, 1810, 1830) controla la potencia de salida del sistema láser (1820) basándose, al menos en parte, en la estadística de dominio de código determinada.

30 4. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 3, en el que la estadística de dominio de código cuantifica la precisión de la clasificación de símbolos.

35 5. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 4, en el que la estadística de dominio de código es el cuadrado de la diferencia en las medias de intensidad dividido por la suma de las varianzas de intensidad.

6. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 5, en el que el circuito de procesamiento (504) está configurado además para calcular símbolos esperados a partir del mapa de profundidad y/o palabras de código recibidas previamente, el circuito de procesamiento (504) está configurado además para asignar cada valor de intensidad recibido a los símbolos esperados correspondientes, el circuito de procesamiento (504) está configurado

40 además para calcular un valor de intensidad promedio para cada símbolo, el circuito de procesamiento (504) está configurado además para calcular un valor de intensidad de varianza para cada símbolo, y el circuito de procesamiento (504) está configurado además para calcular la estadística de dominio de código como el cuadrado de la diferencia en las medias de intensidad dividido por la suma de varianzas de intensidad.

45 7. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 3, en el que la estadística de dominio de código cuantifica la precisión de detección de palabra de código.

50 8. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 7, en el que la estadística de dominio de código es el porcentaje de palabras de código recibidas que coinciden con las palabras de código esperadas.

9. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 8, en el que el circuito de procesamiento (504) está configurado además para comparar las palabras de código recibidas con las palabras de código esperadas, estando además configurado el circuito de procesamiento (504) para calcular el porcentaje de palabras de código recibidas correctamente, donde las palabras de código recibidas correctamente corresponden a las palabras de código

55 esperadas.

10. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 3, en el que la estadística de dominio de código cuantifica la precisión de funciones base.

60 11. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 10, en el que la estadística de dominio de código es el porcentaje de funciones base recibidas que coinciden con las funciones base esperadas.

65 12. El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 11, en el que el circuito de procesamiento (504) está configurado además para calcular funciones base esperadas a partir del mapa de profundidad y/o palabras de código recibidas previamente; el circuito de procesamiento (504) está configurado además para comparar las funciones base recibidas con las funciones base esperadas, y el circuito de procesamiento (504) está configurado además para

calcular el porcentaje de funciones base recibidas correctamente, donde las funciones base recibidas correctamente corresponden a funciones base esperadas.

5 **13.** El sistema de luz estructurada (100) según la reivindicación 3, en el que el sistema de retroalimentación (504, 1810, 1830) está configurado para controlar la potencia de salida del sistema láser (1820) de forma iterativa para converger en un valor máximo para la estadística de dominio de código.

14. Un procedimiento (1900) para controlar la potencia de láser en un sistema de luz estructurada, que comprende:

10 almacenar (1910) un mapa de profundidad con un dispositivo de memoria;
 proyectar (1930) palabras de código con un sistema láser;
 detectar (1935) las palabras de código proyectadas reflejadas desde un objeto con un sensor receptor;
15 recuperar (1920) una parte del mapa de profundidad del dispositivo de memoria;
 calcular (1925) palabras de código esperadas a partir del mapa de profundidad; y
20 controlar (1950) la potencia de salida del sistema láser en base a las palabras de código detectadas y las palabras de código esperadas.

25 **15.** Un medio no transitorio legible por ordenador, que almacena instrucciones que, cuando se ejecutan, hacen que un procesador y un sistema de luz estructurada realicen un procedimiento para controlar la potencia de salida de un sistema láser del sistema de luz estructurada, comprendiendo el procedimiento:

 almacenar un mapa de profundidad con un dispositivo de memoria;
 proyectar palabras de código con el sistema láser;
30 detectar las palabras de código proyectadas reflejadas desde un objeto con un sensor receptor;
 recuperar una parte del mapa de profundidad del dispositivo de memoria;
35 calcular palabras de código esperadas a partir del mapa de profundidad; y
 controlar la potencia de salida del sistema láser en base a las palabras de código detectadas y las palabras de código esperadas.

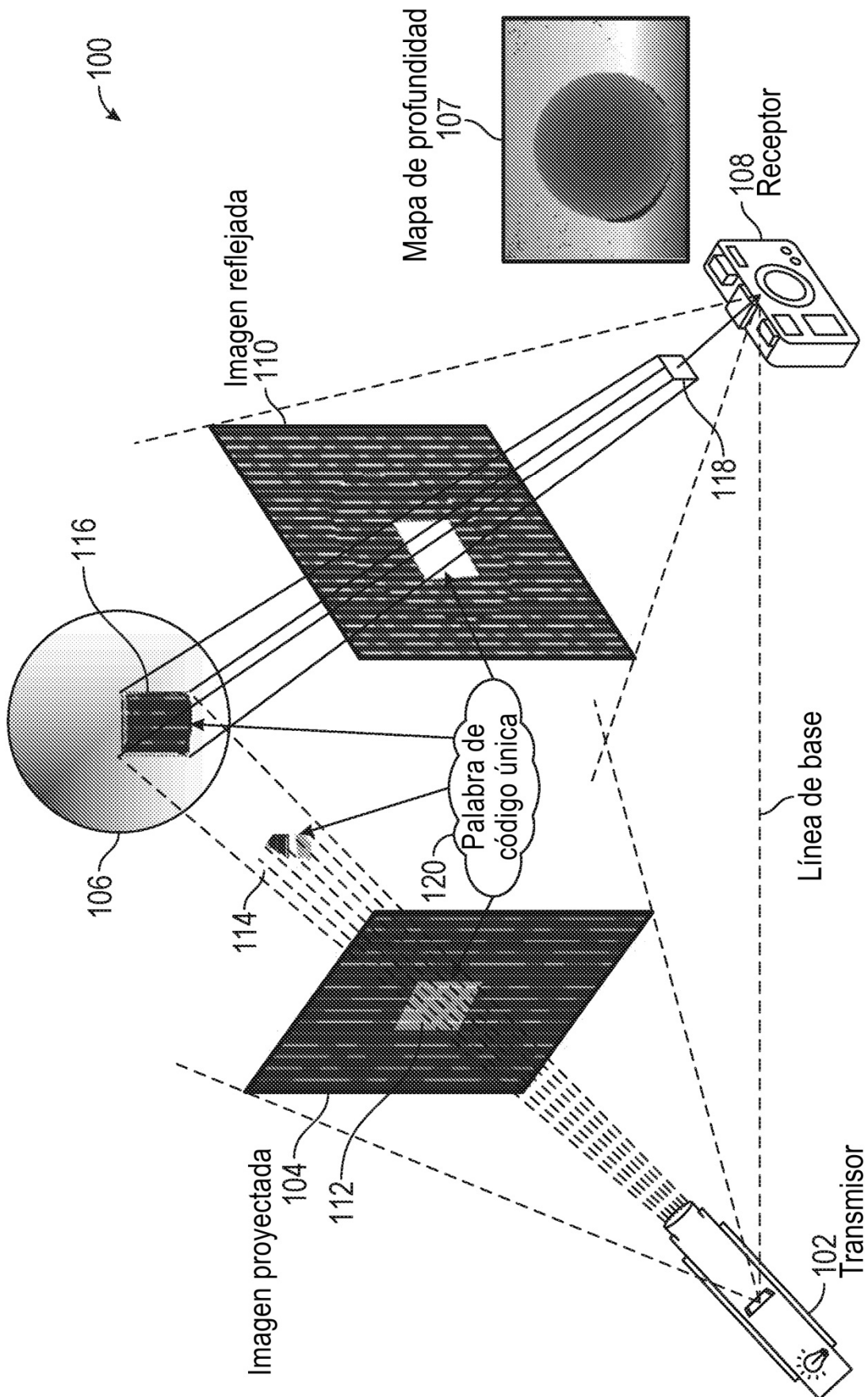


FIG. 1

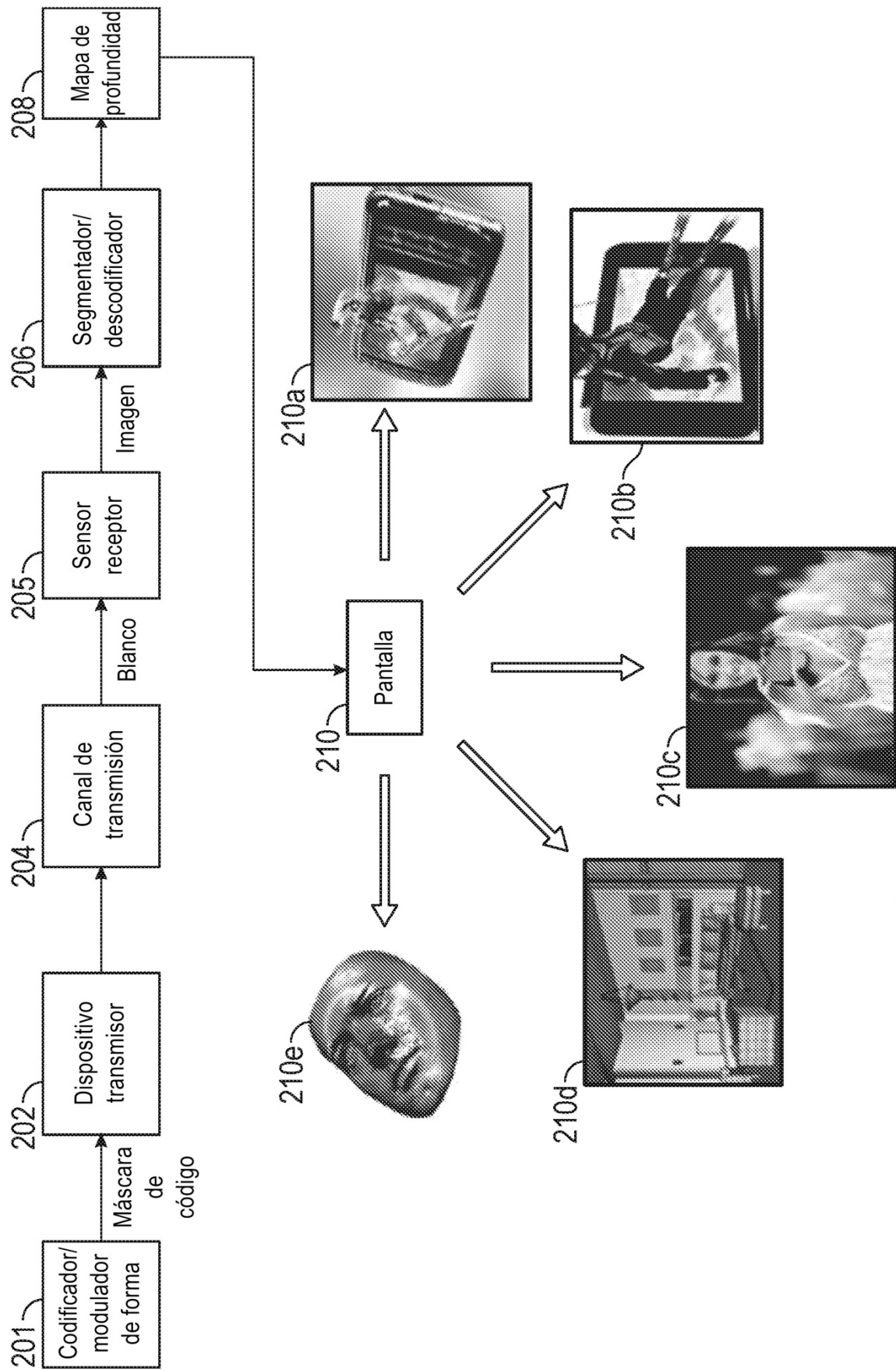


FIG. 2

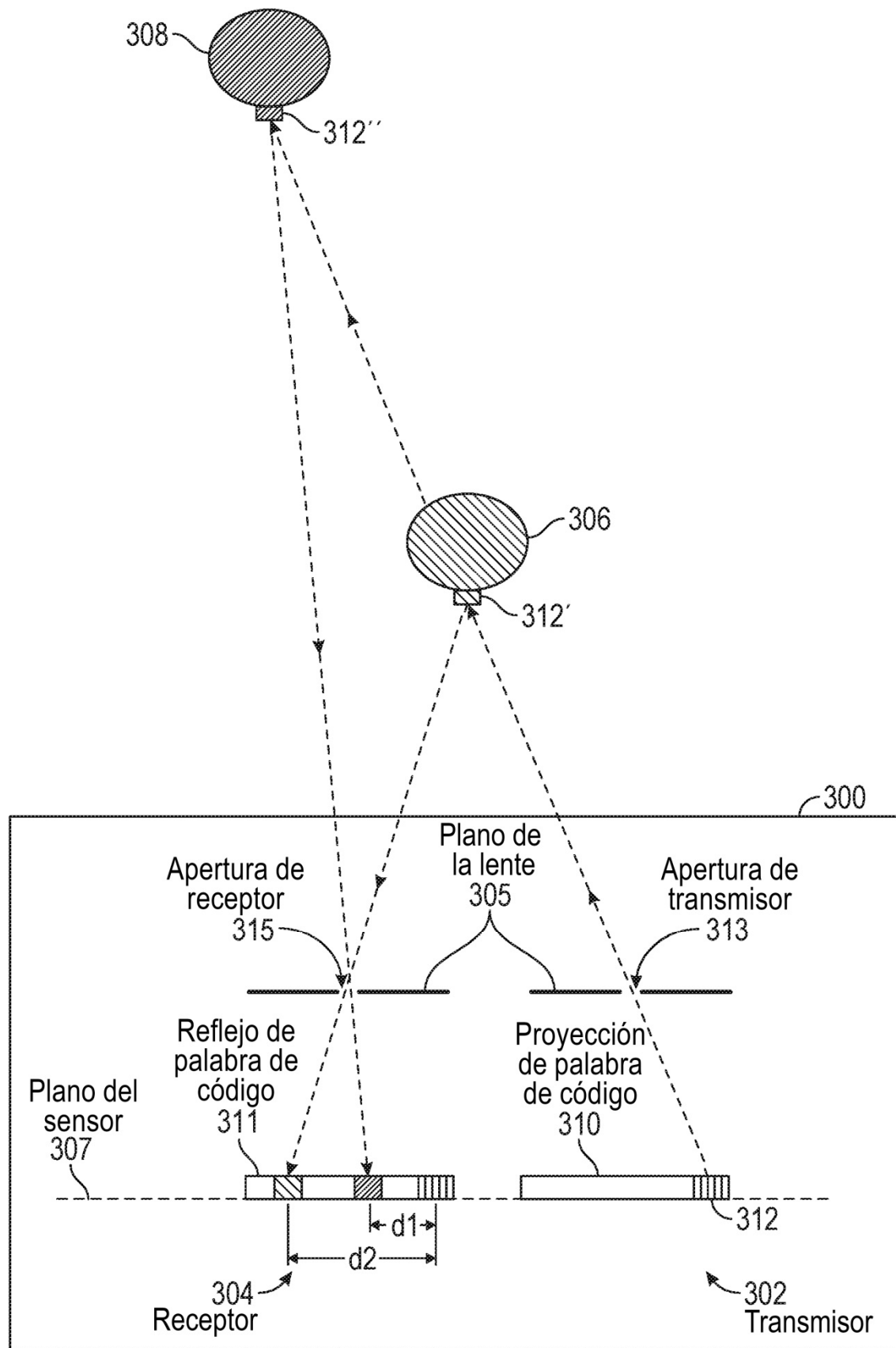


FIG. 3

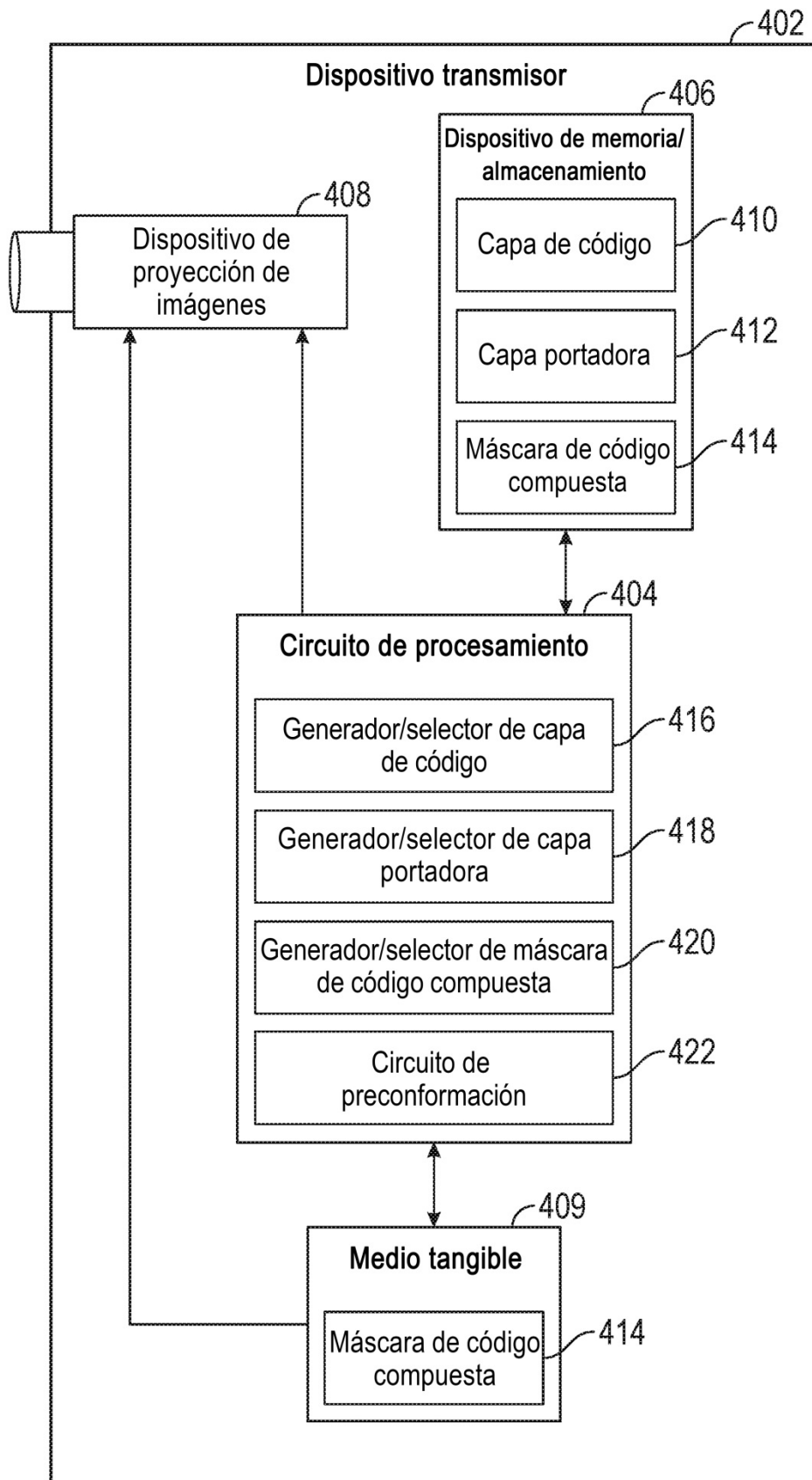


FIG. 4

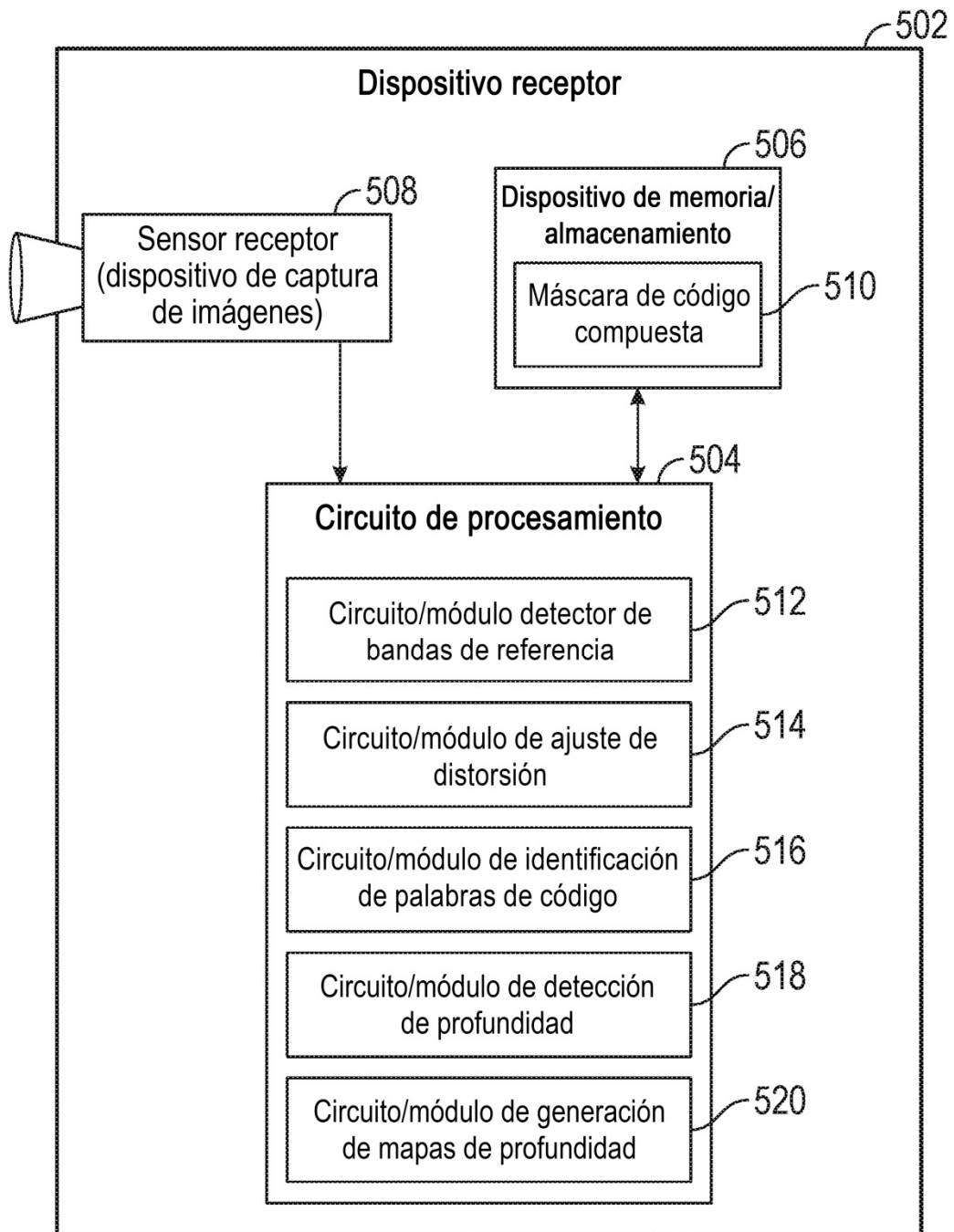


FIG. 5

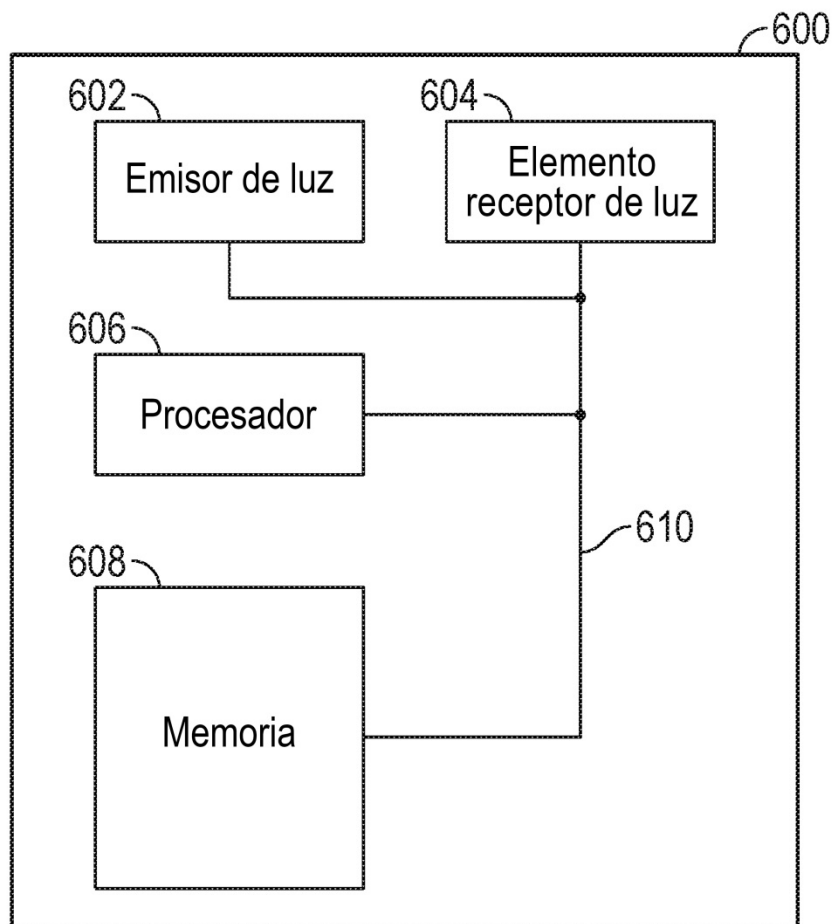


FIG. 6

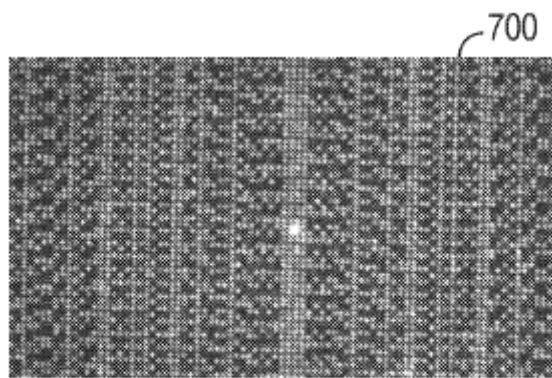


FIG. 7

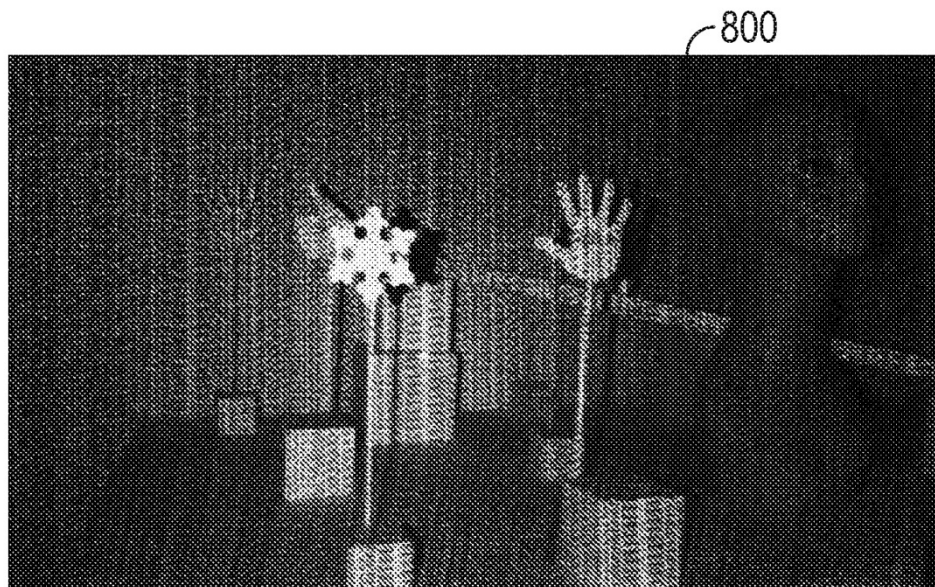


FIG. 8

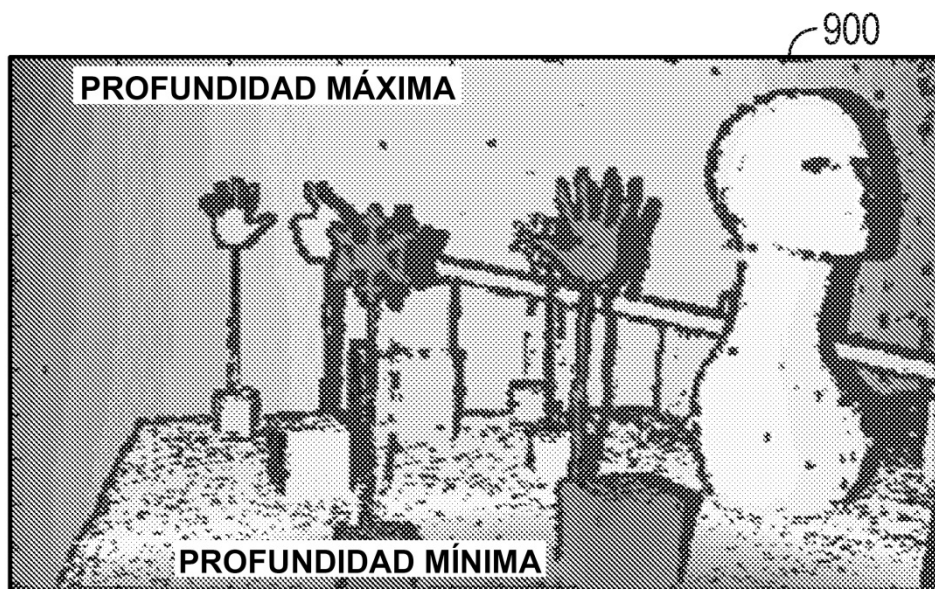


FIG. 9

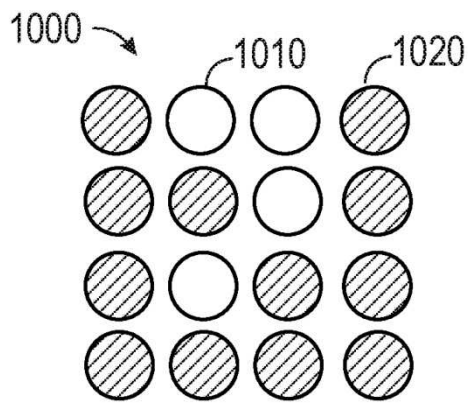


FIG. 10

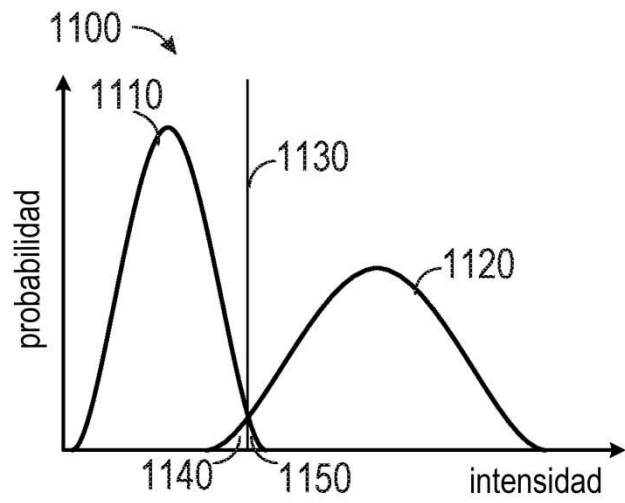


FIG. 11

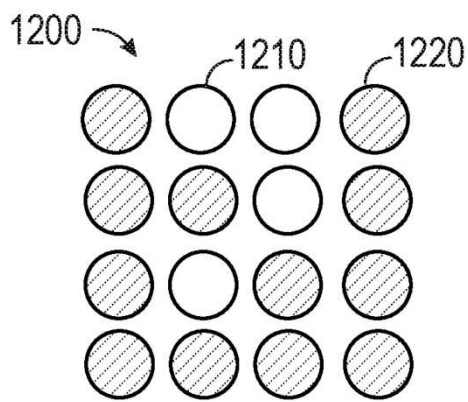


FIG. 12

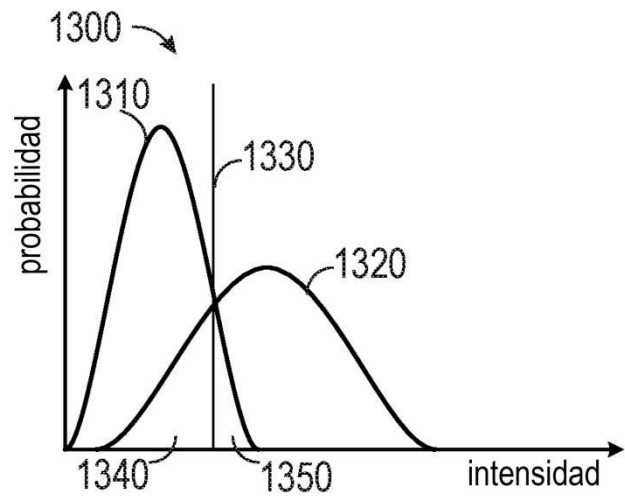


FIG. 13

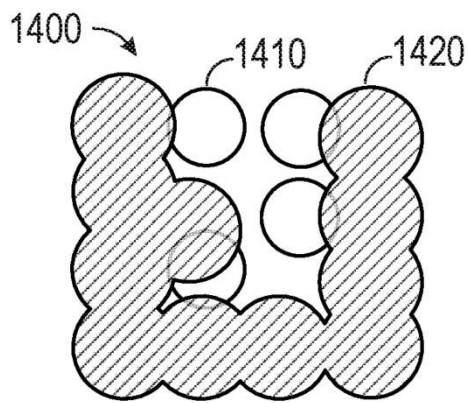


FIG. 14

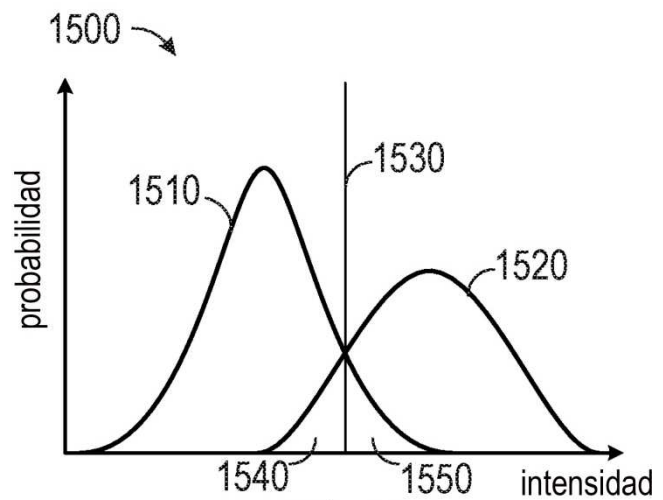


FIG. 15

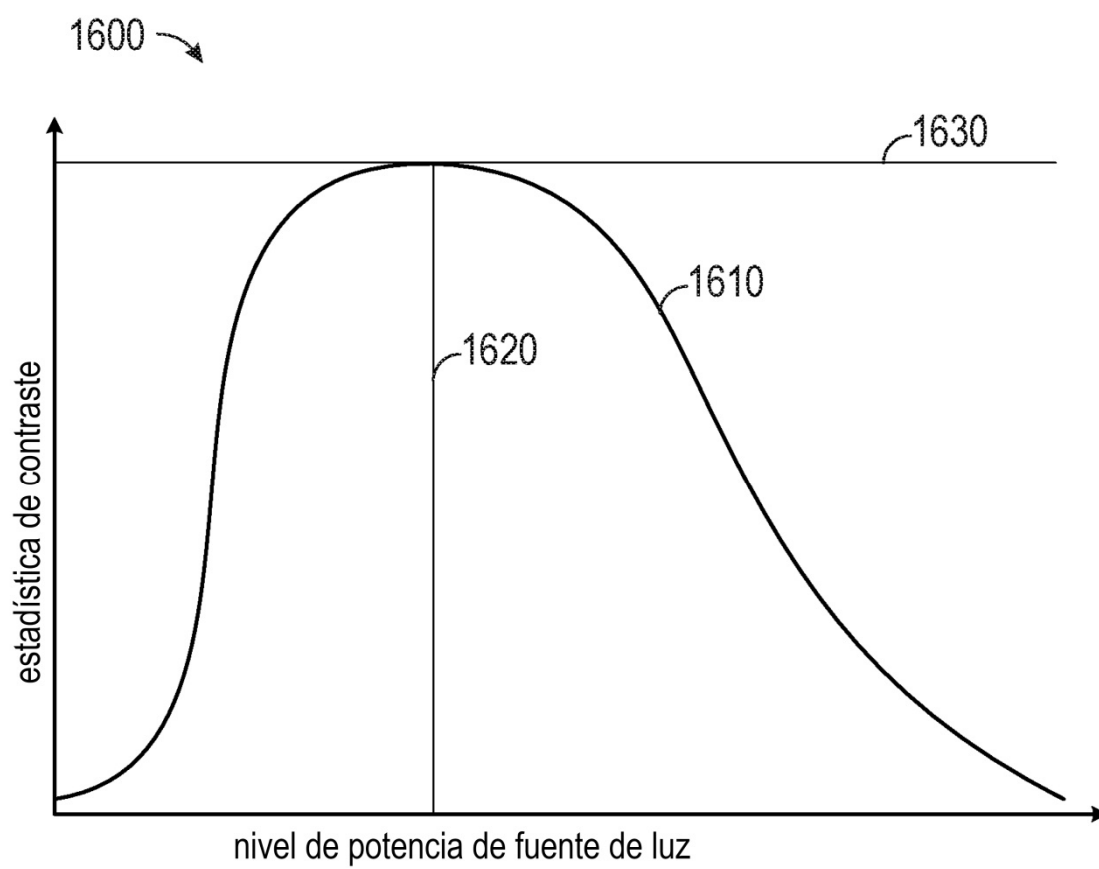
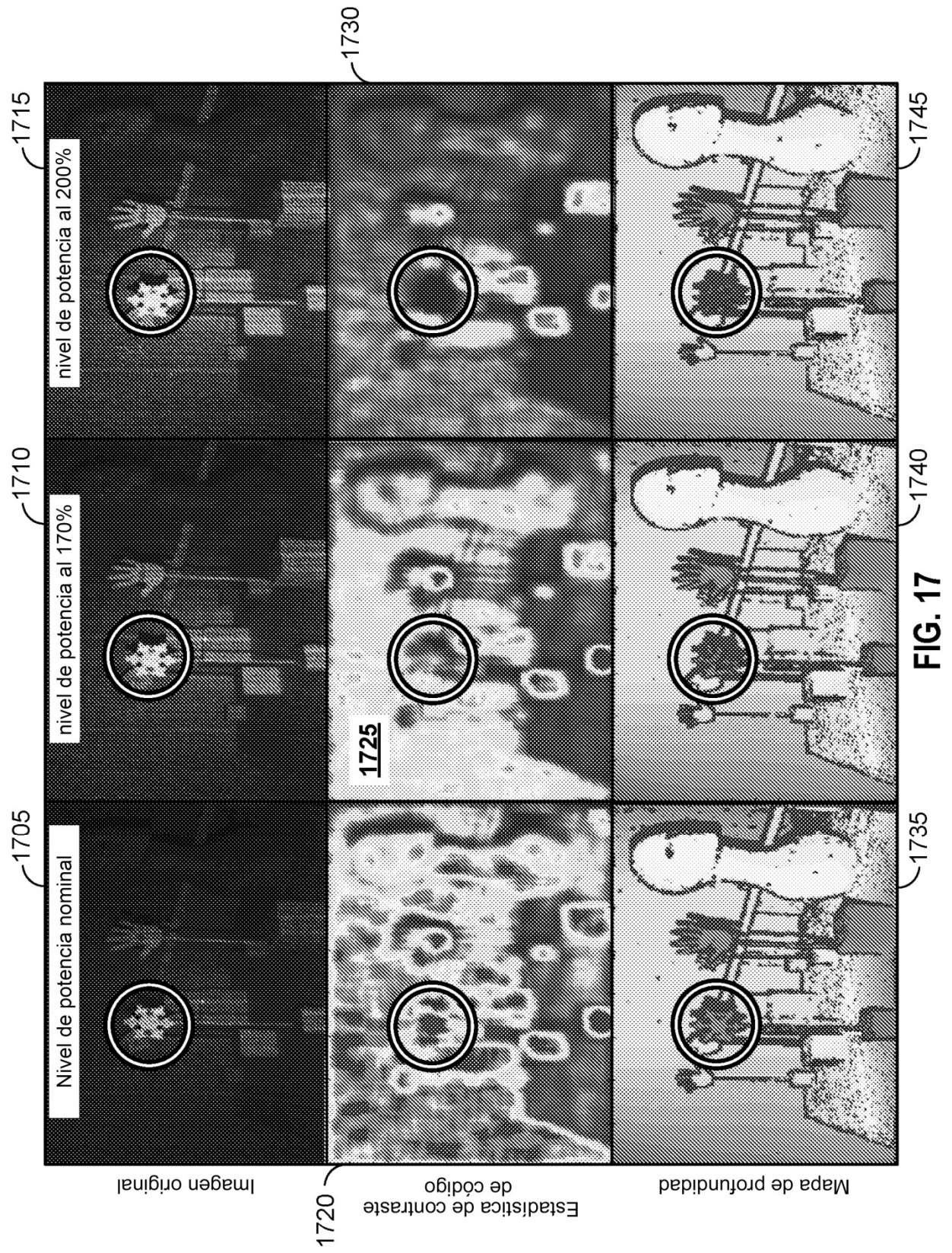


FIG. 16



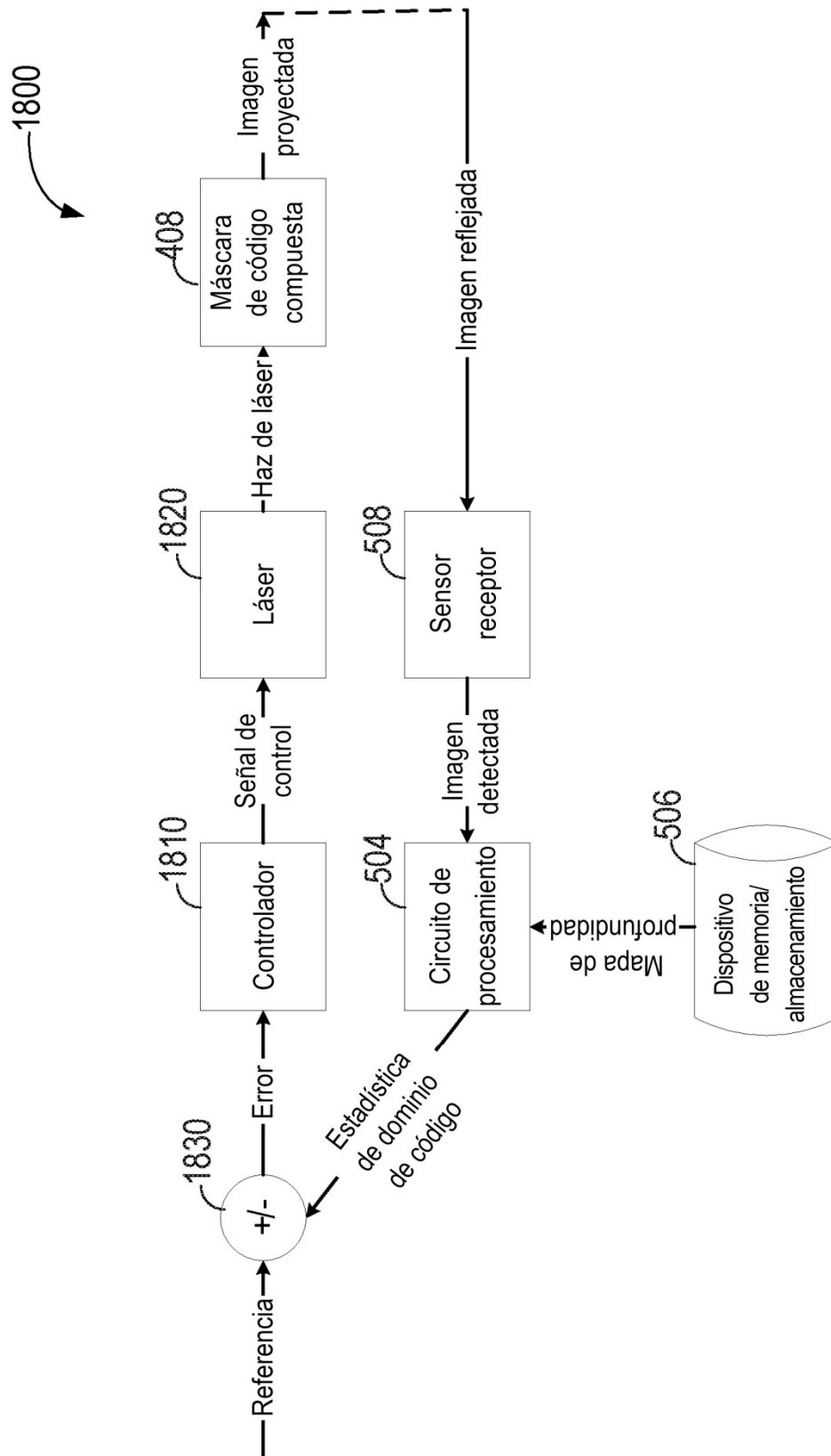


FIG. 18

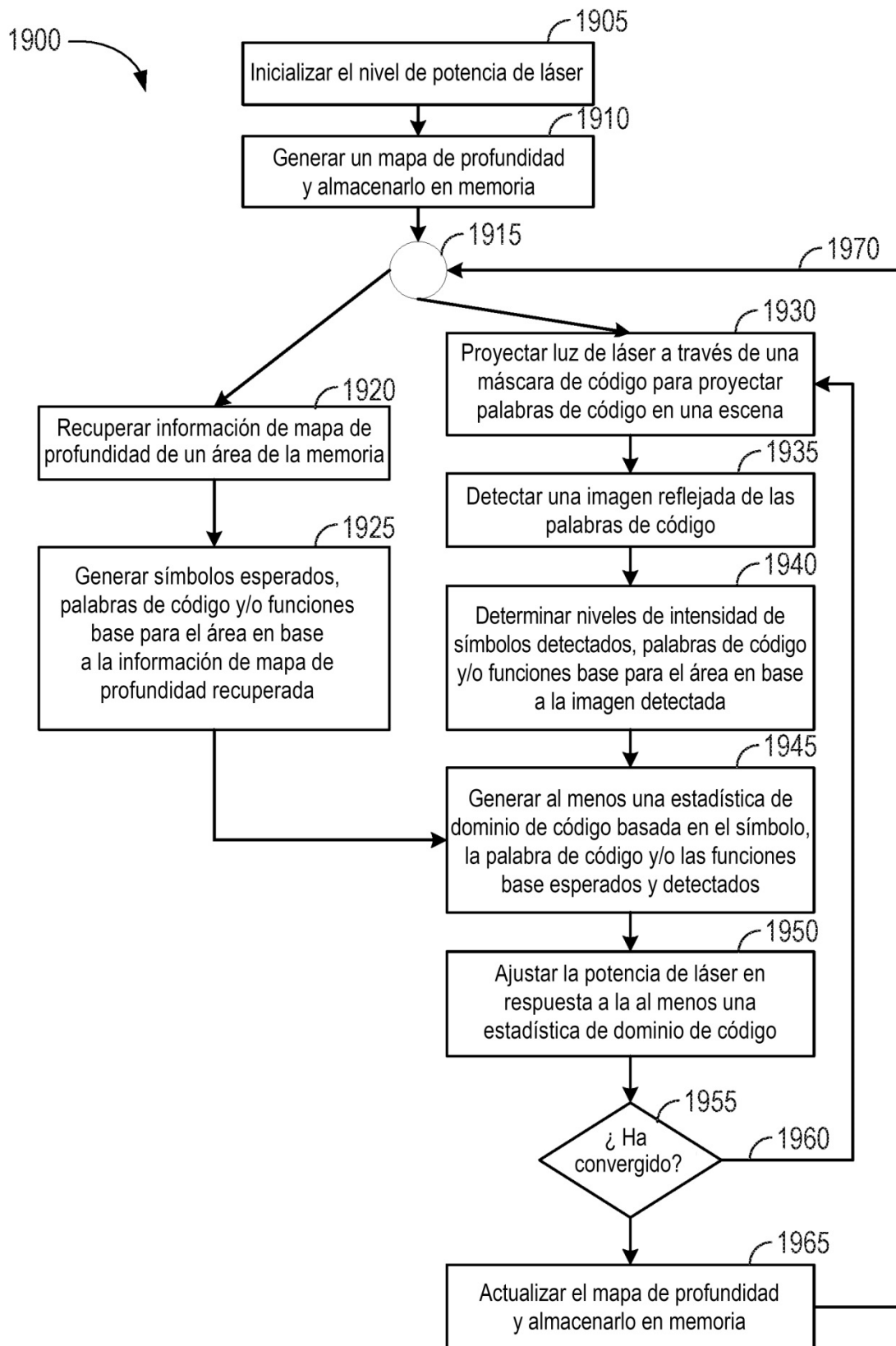


FIG. 19

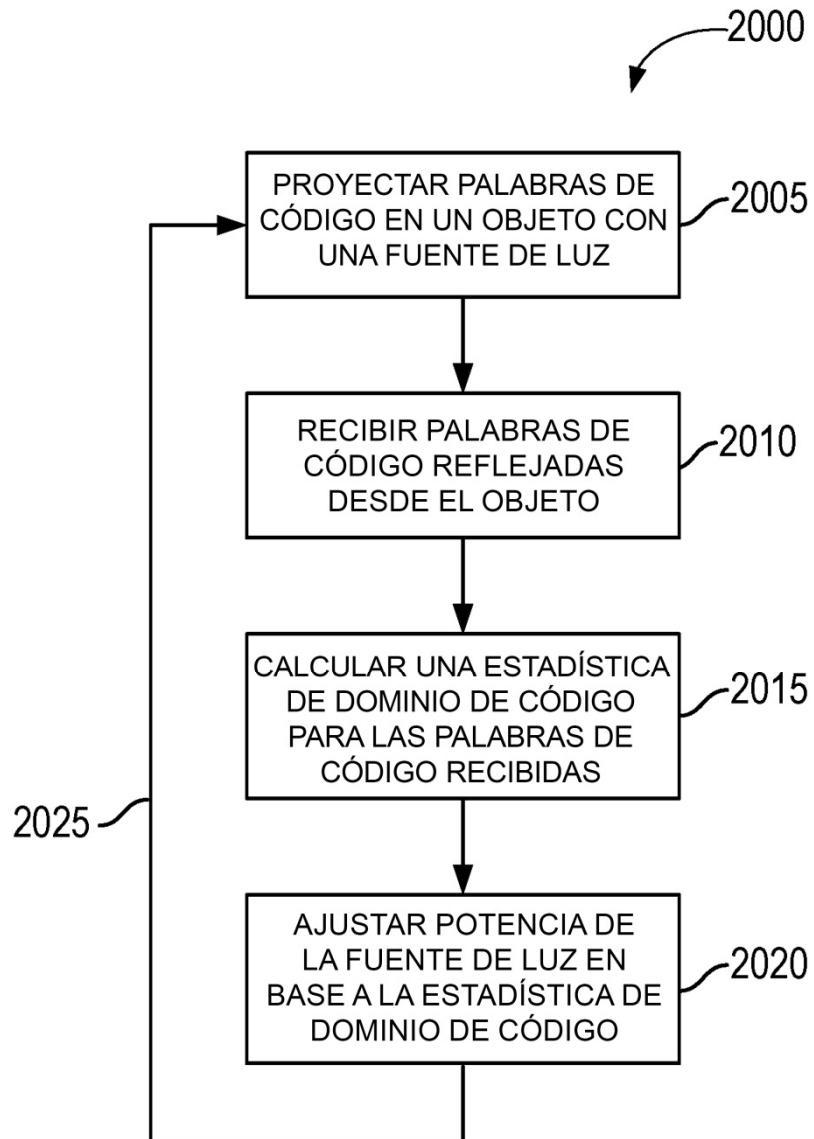


FIG. 20

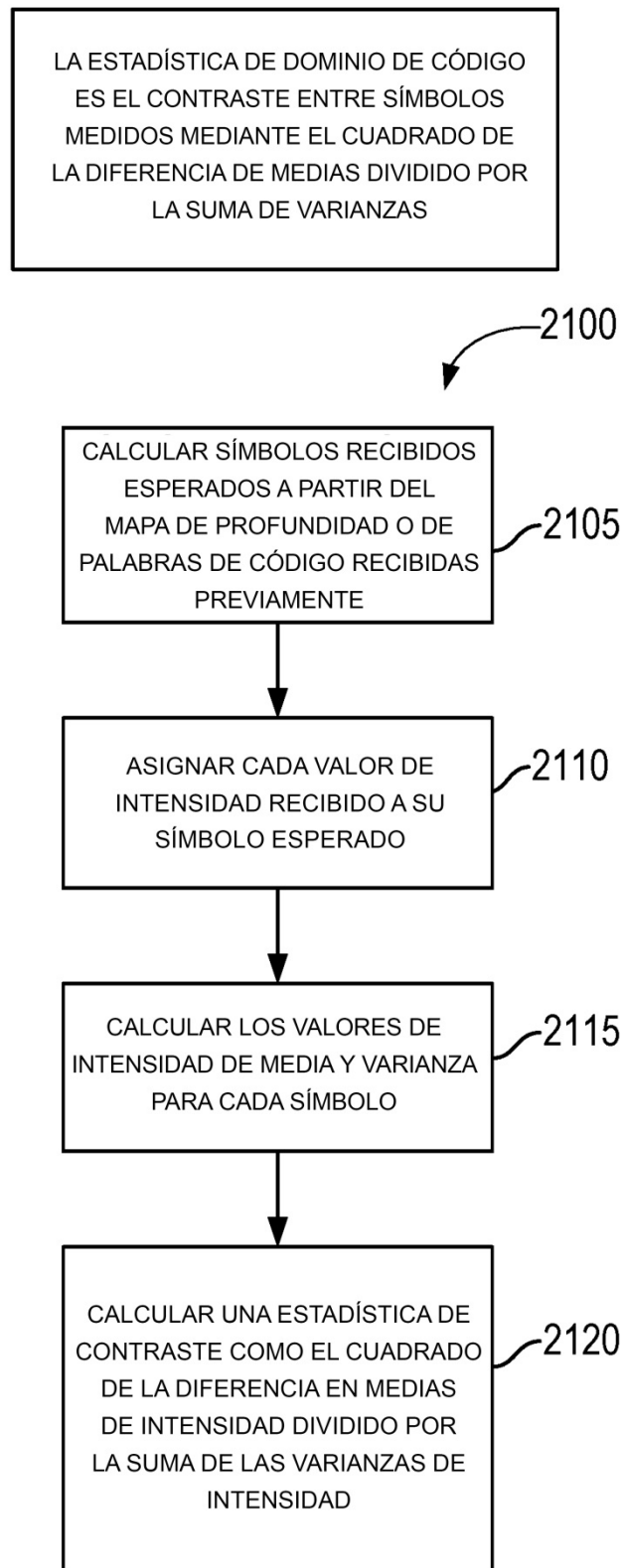


FIG. 21

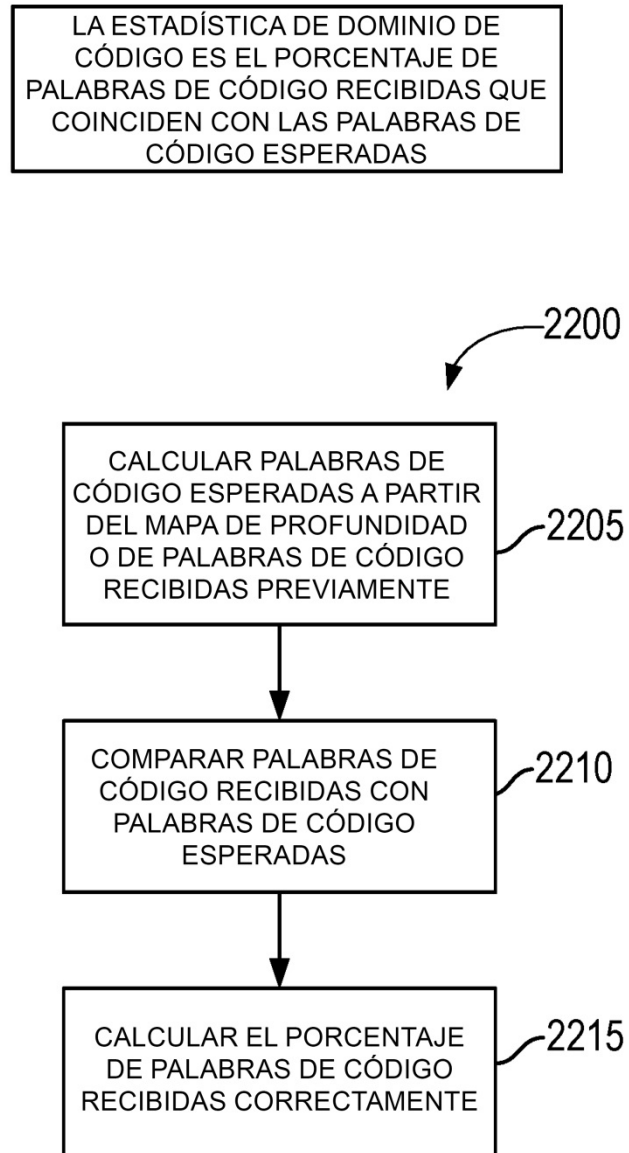


FIG. 22

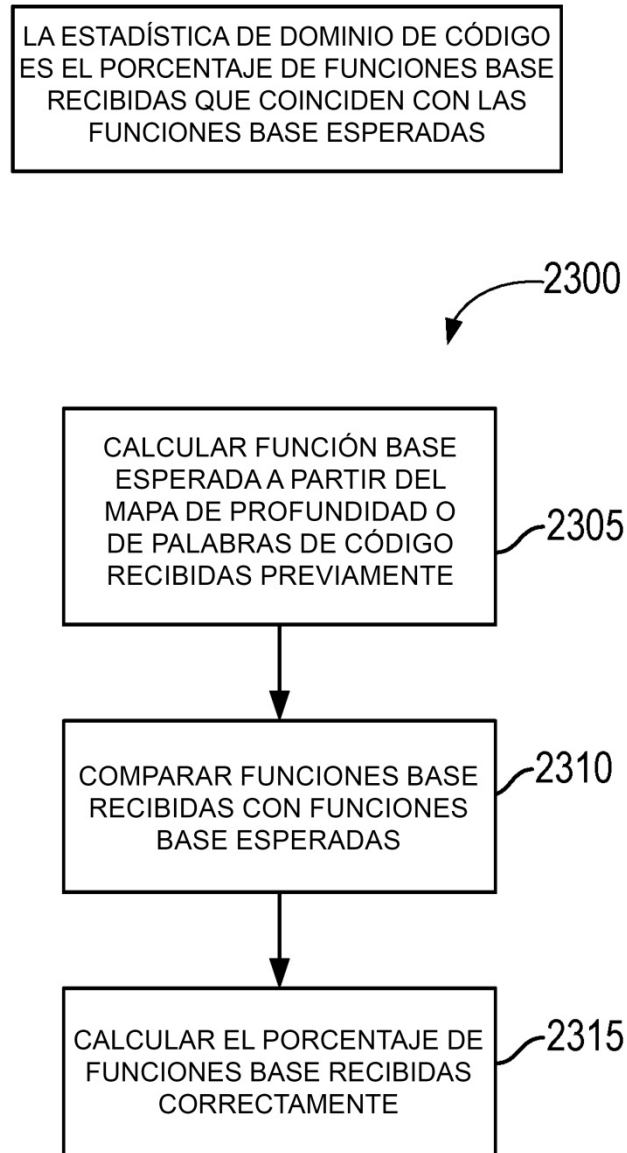


FIG. 23