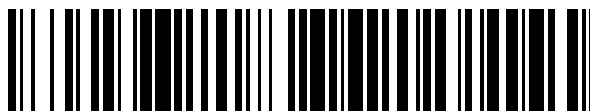


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 866 902**

51 Int. Cl.:

H04B 10/112 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.06.2017 PCT/GB2017/051690**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.12.2017 WO17216526**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.06.2017 E 17729536 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.03.2021 EP 3469740**

54 Título: **Receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre**

30 Prioridad:

13.06.2016 GB 201610268
13.06.2016 EP 16174269

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.10.2021

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

LAYCOCK, LESLIE CHARLES;
WILLIAMS, ANDREW, JAMES y
GRIFFITH, MICHAEL, STEWART

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 866 902 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

Receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a receptores de sistemas de comunicación óptica de espacio libre.

Antecedentes

10 La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un ejemplo de un sistema receptor de comunicación óptica (FSO) en espacio libre convencional 100 con control de seguimiento fino.

15 Este tipo de sistema de receptor FSO se asocia típicamente con un receptor de comunicaciones en una plataforma móvil, por ejemplo, un vehículo terrestre, un avión o un barco. Este tipo de sistema de receptor FSO se implementa típicamente para mitigar la vibración y la fluctuación generada por el movimiento del vehículo que puede provocar la pérdida de señal.

20 En este ejemplo, el sistema receptor FSO 100 comprende un espejo inclinable 102, un divisor de haz 104, una lente de enfoque 106, un receptor óptico 108, una lente de transformada de Fourier 110, un sensor de seguimiento cuádruple 112 y un controlador de seguimiento 114.

25 En funcionamiento, un haz de luz 116 incide sobre el sistema 100. El haz de luz 116 es una señal de comunicaciones ópticas que especifica datos de comunicaciones. El haz de luz 116 recibido incide sobre el espejo inclinable 102. El espejo inclinable 102 de la punta refleja el haz de luz incidente 116 sobre el divisor de haz 104. El divisor de haz 104 divide entonces el haz de luz 116 recibido en dos haces separados, a saber, un primer haz 118 y un segundo haz 120. En algunos ejemplos, el segundo haz 120 puede ser una fracción relativamente pequeña (por ejemplo, el 10 %) del haz de luz 116, y el primer haz 118 puede ser el resto.

30 El primer haz 118 es dirigido por el divisor de haz 104 sobre la lente de enfoque 106. La lente de enfoque 106 enfoca el primer haz 118 (para producir así el primer haz enfocado 122) sobre el receptor óptico 108. El receptor óptico 108 mide el primer haz enfocado 122, determinando así los datos de comunicaciones.

35 El segundo haz 120 es dirigido por el divisor de haz 104 sobre la lente de transformada de Fourier 110. La lente de transformada de Fourier 110 enfoca el segundo haz 120 (para producir así el segundo haz enfocado 124) sobre el sensor de seguimiento cuádruple 112. El sensor de seguimiento cuádruple 112 mide el segundo haz enfocado 124.

40 El sensor de seguimiento cuádruple 112 se describe con más detalle más adelante a continuación con referencia a la figura 4. En este ejemplo, el sensor de seguimiento cuádruple 112 es un sensor de ángulo de llegada que está alineado axialmente con el receptor óptico 108. En este ejemplo, el sensor de seguimiento cuádruple 112 comprende cuatro sensores ópticos, en lo sucesivo denominados "sensores de cuadrante". El sensor de seguimiento cuádruple 112 está acoplado al controlador de seguimiento 114 de manera que una salida del sensor de seguimiento cuádruple 112 se envía al controlador de seguimiento 114.

45 El controlador de seguimiento 114 está configurado para, mediante el uso de la salida recibida del sensor de seguimiento cuádruple 112, controlar el espejo inclinable 102. En particular, en este ejemplo, el controlador de seguimiento 114 implementa un algoritmo de control de seguimiento para actualizar periódicamente la potencia de la parte del segundo haz enfocado 124 detectado en cada uno de los sensores de cuadrante del sensor de seguimiento cuádruple 112. Mediante el uso de esta información, el controlador de seguimiento 114 determina periódicamente la posición del punto en el sensor de seguimiento cuádruple 112 en el que se enfoca el segundo haz enfocado 124, o el error de desplazamiento de este punto desde un centro del sensor de seguimiento cuádruple 112. El controlador de seguimiento 114 luego usa esta información de posición para determinar periódicamente un movimiento angular correctivo para el espejo inclinable 102 de la punta que causaría que el segundo haz enfocado 124 se enfocara en el centro del sensor de seguimiento cuádruple 112 (es decir, para hacer que el punto se encienda). el sensor de seguimiento cuádruple 112 en el que se enfoca el segundo haz enfocado 124 para moverse al centro del sensor de seguimiento cuádruple 112). Este procedimiento puede denominarse centroide.

60 El controlador de seguimiento 114 controla entonces periódicamente el espejo inclinable 102 de la punta según se determina, haciendo así que el segundo haz enfocado 124 se enfoque en el centro del sensor de seguimiento cuádruple 112. Como el sensor de seguimiento cuádruple 112 está alineado axialmente con el receptor óptico 108, este movimiento del espejo inclinable 102 de la punta tiende a hacer que el primer haz enfocado 122 se enfoque en un punto deseado (por ejemplo, un centro) del receptor óptico 108.

65 Por tanto, el espejo inclinable 102 de la punta se controla periódicamente de modo que el receptor óptico 108 recibe una señal óptica (es decir, el primer haz enfocado 122) en una posición sustancialmente óptima, reduciendo así la pérdida de señal.

La figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una vista desde arriba de una parte de un ejemplo alternativo de un sistema receptor de FSO convencional con control de seguimiento fino.

La figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una vista lateral de la parte del ejemplo alternativo del sistema receptor de FSO convencional mostrado en la figura 2.

En este ejemplo, el divisor de haz (no mostrado en las figuras 2 y 3) está configurado para dividir un haz de luz recibido en el primer y segundo haz de luz 118, 120 de manera que el primer y segundo haz de luz 118, 120 sean sustancialmente paralelos a cada uno.

En este ejemplo, la lente de enfoque 106, el receptor óptico 108, la lente de transformada de Fourier 110 y el sensor de seguimiento cuádruple 112 están fijados a un dispositivo 200.

La lente de enfoque 106 y la lente de transformada de Fourier 110 se colocan alineadas y una al lado de la otra en una superficie superior del dispositivo 200. De manera similar, el receptor óptico 108 y el sensor de seguimiento cuádruple 112 se colocan alineados y uno al lado del otro en la superficie superior del dispositivo 200.

La lente de enfoque 106 y el receptor óptico 108 están dispuestos en el dispositivo 200 de manera que la lente de enfoque 106 enfoca el primer haz 118 sobre el receptor óptico 108. De manera similar, la lente de transformada de Fourier 110 y el sensor de seguimiento cuádruple 112 están dispuestos en el dispositivo 200 de manera que la lente de transformada de Fourier 110 enfoca el segundo haz 120 sobre el sensor de seguimiento cuádruple 112.

De manera similar a la realizada en el primer ejemplo descrito con más detalle anteriormente con referencia a la figura 1, en este ejemplo, el controlador de seguimiento (no mostrado en las figuras 2 y 3) usa una salida del sensor de seguimiento cuádruple 112 para controlar movimiento de panorámica e inclinación del dispositivo 200. Este movimiento de panorámica e inclinación se ilustra en la figura 3 mediante flechas de dos puntas y los números de referencia 300 y 302 respectivamente.

En particular, en este ejemplo, el controlador de seguimiento implementa un algoritmo de control de seguimiento para actualizar de forma continua o periódicamente la potencia de la parte del segundo haz enfocado 124 detectado en cada uno de los sensores de cuadrante del sensor de seguimiento cuádruple 112. Mediante el uso de esta información, el controlador de seguimiento determina la posición del punto en el sensor de seguimiento cuádruple 112 al que se enfoca el segundo haz enfocado 124, o el error de desplazamiento de este punto desde un centro del sensor de seguimiento cuádruple 112. El controlador de seguimiento utiliza entonces esta información posicional para determinar un movimiento de giro/inclinación 300, 302 correctivo para el dispositivo 200 para hacer que el segundo haz enfocado 124 se enfoque en el centro del sensor de seguimiento cuádruple 112.

La figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra ciertos detalles de una superficie frontal del sensor de seguimiento cuádruple 112.

En este ejemplo, el sensor de seguimiento cuádruple 112 comprende cuatro sensores ópticos, a saber, un sensor de primer cuadrante 401, un sensor de segundo cuadrante 402, un sensor de tercer cuadrante 403 y un sensor de cuarto cuadrante 404.

En este ejemplo, la superficie frontal del sensor de seguimiento cuádruple 112 es sustancialmente circular. Cada sensor de cuadrante 401-404 forma un cuarto respectivo de la superficie frontal circular del sensor de seguimiento de cuadrante 112. En este ejemplo, los sensores de cuadrante 401-404 tienen sustancialmente la misma forma entre sí. En este ejemplo, los sensores de cuadrante 401-404 son sustancialmente del mismo tamaño entre sí.

Cada sensor de cuadrante 401-404 está configurado para medir la potencia de la parte del segundo haz enfocado 124 que incide sobre él.

El controlador de seguimiento 114 está configurado para determinar la posición del punto en el sensor de seguimiento cuádruple 112 sobre el que se enfoca el segundo haz enfocado 124 (y/o el error de desplazamiento de este punto desde el centro del sensor de seguimiento cuádruple 112) usando las respectivas medidas de potencia tomadas por los sensores de cuadrante 401-404

El documento de la técnica anterior US6493490 B1 divulga tal ejemplo de un sensor de seguimiento cuádruple para un receptor óptico de espacio libre.

Sumario de la invención

Los presentes inventores se han dado cuenta de que en los sistemas de receptores FSO convencionales, hay un tamaño, peso y complejidad adicionales asociados con el sensor de ángulo de llegada (es decir, el sensor de seguimiento cuádruple 112 en los ejemplos descritos anteriormente con referencia a las figuras 1 a 4). Los presentes inventores se han dado cuenta de que sería beneficioso evitar el uso de un sensor de ángulo de llegada

independiente y separado. Los presentes inventores se han dado cuenta de que esto reduciría el tamaño, el peso y la complejidad de un sistema receptor de FSO.

En un primer aspecto, la presente invención proporciona un receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre que comprende un sensor óptico central y una pluralidad de sensores ópticos adicionales dispuestos alrededor de un borde periférico del sensor óptico central.

La pluralidad de sensores ópticos adicionales puede estar uniformemente espaciada alrededor del borde periférico del sensor óptico central. Los sensores ópticos adicionales pueden tener el mismo tamaño y forma entre sí. El sensor óptico central puede ser sustancialmente circular. Los sensores ópticos adicionales pueden definir un anillo que rodea al sensor óptico central. Puede haber al menos cuatro sensores ópticos más.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un sistema de comunicación óptica de espacio libre que comprende: un receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre de acuerdo con cualquier aspecto anterior; medios para mover el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre con relación a una señal óptica incidente en el sistema de comunicación óptica de espacio libre; y un controlador configurado para, usar mediciones de la señal óptica incidente por la pluralidad de sensores ópticos adicionales, controlar los medios para mover el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre con respecto a la señal óptica incidente.

Los medios para mover el receptor del sistema de comunicaciones ópticas de espacio libre pueden comprender una estructura de soporte rígida que puede girar alrededor de al menos dos ejes perpendiculares. El receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre puede estar fijado de forma fija a la estructura de soporte. El controlador puede configurarse para, mediante el uso de las mediciones de la señal óptica incidente por la pluralidad de sensores ópticos adicionales, girar la estructura de soporte alrededor de al menos uno de los ejes.

El sistema comprende además una lente bifocal simétrica configurada para enfocar la señal óptica incidente para producir un haz enfocado central en el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre y un haz exterior enfocado en los sensores ópticos adicionales. La lente puede ser una lente seleccionada del grupo de lentes que consiste en: una lente Fresnel, una lente difractiva, un elemento holográfico, una combinación de lentes refractivas y difractivas y un Kinoform. La lente puede ser programable y/o adaptable.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un procedimiento para recibir una señal óptica. El procedimiento comprende: proporcionar un receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre, comprendiendo el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre: un sensor óptico central; y una pluralidad de sensores ópticos adicionales dispuestos alrededor de un borde periférico del sensor óptico central; medir, mediante uno o más de los sensores ópticos adicionales, al menos una parte de una señal óptica incidente en el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre; y, usando una o más mediciones tomadas por uno o más de los sensores ópticos adicionales, mover el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre con respecto a la señal óptica incidente.

El movimiento del receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre con respecto a la señal óptica incidente puede realizarse de manera que el sensor óptico central se mueva hacia la señal óptica incidente.

La señal óptica incidente puede especificar datos de comunicaciones. El procedimiento puede comprender además medir, mediante el sensor óptico central, al menos una parte de una señal óptica que incide en el sensor óptico central para determinar así los datos de comunicaciones.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un procedimiento para proporcionar un receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre. El procedimiento comprende proporcionar un sensor óptico central y disponer una pluralidad de sensores ópticos adicionales alrededor de un borde periférico del sensor óptico central.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un primer ejemplo de sistema receptor FSO;

La figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una vista desde arriba de un segundo ejemplo de sistema receptor de FSO;

La figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una vista lateral del segundo ejemplo de sistema receptor de FSO;

La figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una superficie frontal de un sensor de seguimiento cuádruple;

La figura 5 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un sistema de receptor FSO;

La figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra ciertos detalles de una superficie frontal de un sensor multifunción del sistema receptor FSO;

5 La figura 7 es un diagrama de flujo del procedimiento que muestra ciertos pasos de un procedimiento de comunicaciones ópticas implementado por el sistema receptor del FSO;

La figura 8 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la superficie frontal del sensor multifuncional en uso;

10 La figura 9 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un gráfico;

La figura 10 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una parte de un sistema de receptor FSO que comprende una lente bifocal simétrica; y

15 La figura 11 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la superficie frontal del sensor multifuncional en uso con la lente bifocal simétrica.

Descripción detallada

20 La figura 5 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una realización de un sistema 500 de receptor FSO con control de seguimiento fino.

25 El sistema de receptor FSO 500 puede usarse como un receptor de comunicaciones en una plataforma móvil, por ejemplo, un vehículo terrestre, un avión o un barco. De manera ventajosa, el sistema de receptor FSO 500 puede usarse para mitigar la vibración y la fluctuación generadas por el movimiento del vehículo, reduciendo así la probabilidad de pérdida de señal.

En esta realización, el sistema 500 de receptor FSO comprende una lente 502 de enfoque, un sensor multifuncional 504, un dispositivo 506 y un controlador 508.

30 La lente de enfoque 502 y el sensor multifuncional 504 están fijados a una superficie superior del dispositivo 506.

35 La lente de enfoque 502 está configurada para enfocar un haz de luz incidente 510 (para producir así un haz de luz enfocado 512) sobre el sensor multifuncional 504. En algunas realizaciones, el haz de luz incidente 510 se enfoca para producir, en el sensor multifuncional 504, un punto de luz enfocado con un diámetro predeterminado.

40 El sensor multifuncional 504 se describe con más detalle más adelante con referencia a la figura 6. El sensor multifuncional 504 está acoplado al controlador 508 de manera que el controlador 508 pueda recibir una salida del sensor multifuncional 504.

45 El dispositivo 506 es una estructura de soporte rígida en la que se montan la lente de enfoque 502 y el sensor multifuncional 504. En esta realización, el dispositivo 506 puede girarse alrededor de dos de sus ejes de modo que sea posible el movimiento de giro e inclinación del dispositivo 506 (con respecto al haz de luz incidente 510). Este posible movimiento de panorámica e inclinación del dispositivo 506 se ilustra en la figura 5 mediante flechas de dos puntas y los números de referencia 514 y 516 respectivamente.

Además de estar acoplado al sensor multifunción 504, el controlador 508 está acoplado al dispositivo 506 de manera que el controlador 508 puede controlar el movimiento del dispositivo 506. Como se describe con más detalle más adelante con referencia a la figura 7, el controlador 508 controla el movimiento de giro e inclinación 514, 516 del dispositivo 506 usando la salida recibida del sensor multifuncional 504.

50 La figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra ciertos detalles de una superficie frontal del sensor multifunción 504.

55 En esta realización, el sensor multifunción 504 comprende cinco sensores ópticos, a saber, un "sensor central" 600 y los cuatro denominados "sensores de cuadrante": un primer sensor de cuadrante 601, un segundo sensor de cuadrante 602, un tercer sensor de cuadrante 603 y un sensor de cuarto cuadrante 604.

60 En esta realización, la superficie frontal del sensor multifunción 504 es sustancialmente circular. Sin embargo, en otras realizaciones, el sensor multifunción 504 puede tener una forma diferente a la circular. En esta realización, el diámetro exterior 606 del sensor multifunción 504 es de aproximadamente 1,6 mm. Sin embargo, en otras realizaciones, el diámetro exterior 606 o una dimensión diferente del sensor multifunción 504 puede tener un valor diferente.

65 La forma del sensor central 600 en la superficie frontal del sensor multifunción 504 es sustancialmente circular. Sin embargo, en otras realizaciones, el sensor central 600 puede tener una forma diferente a la circular. En esta

realización, el diámetro 608 del sensor central 600 es de aproximadamente 0,4 mm, es decir, aproximadamente el 25 % del diámetro exterior 606 del sensor multifunción 504. Sin embargo, en otras realizaciones, el diámetro 608 o una dimensión diferente del sensor central 600 puede tener un valor diferente.

5 En esta realización, el círculo definido por el borde exterior de los sensores de cuadrante 601-604 (es decir, la circunferencia del sensor multifunción 504) y el círculo definido por el sensor central 600 son concéntricos. Sin embargo, en otras realizaciones, el círculo definido por el borde exterior de los sensores de cuadrante 601-604 y el sensor central 600 no son concéntricos.

10 En esta realización, en la superficie frontal del sensor multifunción 504, los sensores de cuadrante 601-604 están separados alrededor del borde exterior, o periferia, del sensor central 600 de manera que los sensores de cuadrante 601-604 rodean sustancialmente por completo el sensor central 600. Los sensores de cuadrante 601-604 definen un anillo que rodea al sensor central 600. Cada sensor de cuadrante 601-604 forma un cuarto respectivo del anillo. En esta realización, los sensores de cuadrante 601-604 tienen sustancialmente la misma forma. En esta realización, los
15 sensores de cuadrante 601-604 son sustancialmente del mismo tamaño. Sin embargo, en otras realizaciones, uno o más sensores de cuadrante pueden tener un tamaño y/o forma diferente a uno o más de otros sensores de cuadrante. Cada sensor de cuadrante 601-604 está configurado para medir la potencia de la parte del haz enfocado 512 que incide sobre ese sensor de cuadrante 601-604.

20 En otras realizaciones, hay un número diferente de sensores de cuadrante, por ejemplo, puede haber más de cuatro (por ejemplo, cinco, seis...) sensores ópticos colocados alrededor del borde periférico del sensor central 600.

El sensor central 600 y cada uno de los sensores de cuadrante 601-604 están acoplados al controlador 508 de manera que una salida respectiva de cada sensor central 600, el primer sensor de cuadrante 601, el segundo sensor
25 de cuadrante 602, el tercer sensor de cuadrante 603, y el controlador 508 puede recibir el sensor del cuarto cuadrante 604.

El aparato, incluido el controlador 508, para implementar la disposición anterior y realizar los pasos del procedimiento que se describirán más adelante a continuación, puede proporcionarse configurando o adaptando
30 cualquier aparato adecuado, por ejemplo, amplificadores de señal, uno o más ordenadores u otros aparatos o procesadores de procesamiento, y/o proporcionando módulos adicionales. El aparato puede comprender una computadora, una red de computadoras o uno o más procesadores, para implementar instrucciones y usar datos, incluidas instrucciones y datos en forma de un programa de computadora o una pluralidad de programas de computadora almacenados en o sobre un medio de almacenamiento legible por máquina como una memoria de
35 computadora, un disco de computadora, ROM, PROM, etc., o cualquier combinación de estos u otros medios de almacenamiento.

La figura 7 es un diagrama de flujo del procedimiento que muestra ciertos pasos de una realización de un procedimiento de comunicaciones ópticas implementado por el sistema del receptor FSO 500.

40 En el paso s2, el rayo de luz 510 (que puede ser un rayo láser) incide sobre el sistema 500 del receptor FSO. El haz de luz 510 es una señal de comunicaciones ópticas que especifica datos de comunicaciones.

45 En el paso s4, el haz de luz 510 es enfocado por la lente de enfoque 502 (para producir el haz enfocado 512) sobre el sensor multifuncional 504.

La figura 8 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la superficie frontal, o plano focal, del sensor multifuncional 504 con el haz enfocado 512 enfocado sobre el mismo.

50 El rayo 512 enfocado puede generar un patrón Airy en el plano focal del sensor multifuncional receptor 504, es decir, en la superficie frontal del sensor multifuncional 504. Este patrón de Airy puede aproximarse mediante un perfil de intensidad gaussiano. El $1/e^2$ el diámetro del perfil de intensidad gaussiano es donde el perfil de intensidad ha caído a $1/e^2$ de su valor de intensidad pico. La potencia contenida dentro de este diámetro es aproximadamente del 86 %. Para simplificar, la parte del haz enfocado 512 en la superficie frontal del sensor multifuncional 504 que corresponde
55 al $1/e^2$ el diámetro del perfil de intensidad gaussiano se denominará en lo sucesivo "punto" y se indicará en las figuras con el número de referencia 800. Además, el $1/e^2$ el diámetro del perfil de intensidad gaussiano se denominará en lo sucesivo "diámetro del haz" y se indicará en las figuras mediante el número de referencia 802.

60 En esta realización, el diámetro del haz 802 es mayor o igual que el diámetro 608 del sensor central 600.

Como se muestra en la figura 8, el punto 800 puede desplazarse desde un centro de la superficie frontal del sensor multifuncional 504.

65 En el paso s6, cada uno de los sensores 600, 601-604 del sensor multifuncional 504 mide una potencia (o intensidad, o alguna otra característica) del haz enfocado 512 que incide sobre ese sensor 600, 601-604.

Si el punto 800 se desplaza desde un centro de la superficie frontal del sensor multifuncional 504, el punto 800 puede superponerse con uno o más de los sensores de cuadrante 601-604 en mayor o menor medida en comparación con uno o más sensores de cuadrantes diferentes 601-604. Por tanto, la potencia medida por uno o más de los sensores de cuadrante 601-604 puede ser diferente de la medida por uno o más sensores de cuadrante diferentes 601-604. Por ejemplo, como se muestra en la figura 8, el punto 800 se superpone al sensor del primer cuadrante 601 en mayor medida que al sensor del cuarto cuadrante 604. Por tanto, el sensor del primer cuadrante 601 mide una potencia mayor que el sensor del cuarto cuadrante 604.

El sensor central 600 mide el haz enfocado 512 que incide sobre él, determinando así los datos de comunicaciones.

En el paso s8, cada uno de los sensores 600, 601-604 del sensor multifuncional 504 envía su medición de potencia al controlador 508.

En el paso s10, el controlador 508 determina un desplazamiento del punto 800 desde el centro de la superficie frontal del sensor multifuncional 504.

En esta realización, el desplazamiento (normalizado a 1) del punto 800 desde el centro de la superficie frontal del sensor multifuncional 504 en la dirección del eje y 804 se determina usando la siguiente fórmula:

$$D_y = \frac{((P_1 + P_2) - (P_3 + P_4))}{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4)}$$

donde: D_y es el desplazamiento y del punto 800;

P_1 es la medición de potencia del sensor 601 del primer cuadrante;

P_2 es la medición de potencia del sensor 602 del segundo cuadrante;

P_3 es la medición de potencia del sensor 603 del tercer cuadrante; y

P_4 es la medición de potencia del sensor 604 del cuarto cuadrante;

En esta realización, el desplazamiento (normalizado a 1) del punto 800 desde el centro de la superficie frontal del sensor multifuncional 504 en la dirección del eje x 806 se determina mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$D_x = \frac{((P_2 + P_4) - (P_1 + P_3))}{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4)}$$

donde: D_x es el desplazamiento x del punto 800.

En esta realización, el controlador 508 implementa un algoritmo de control de seguimiento para actualizar de forma continua o periódicamente la potencia del punto 800 detectado por cada uno de los sensores de cuadrante 601-604 del sensor multifuncional 504. Mediante el uso de esta información, el controlador 508 determina de forma continua o periódicamente el error de desplazamiento del punto 800 desde el centro del sensor multifuncional 504. El controlador 508 puede determinar la posición del punto 800 en la superficie frontal del sensor multifuncional 504 en lugar de o además de determinar el error de desplazamiento del punto 800 desde el centro del sensor multifuncional 504.

En el paso s12, mediante el uso de la información determinada en el paso s10, el controlador 508 controla de forma continua o periódicamente el dispositivo 506.

En esta realización, el controlador 508 usa los desplazamientos x- e y-calculados para determinar un movimiento de giro/inclinación correctivo 514, 516 para el dispositivo 506 para hacer que el haz enfocado 512 se enfoque en el centro del sensor multifuncional 504 (es decir, para hacer que el punto 800 se mueva al centro del sensor central 600). Este procedimiento puede denominarse centroide. El controlador 508 controla entonces el dispositivo 506 para que se mueva de acuerdo con el movimiento de giro/inclinación determinado 514, 516, provocando así que el punto 800 se mueva al centro del sensor central 600.

Por tanto, el dispositivo 506 se controla de forma continua o periódica para que el sensor central 600 reciba una señal óptica (es decir, el haz enfocado 512) en una posición sustancialmente óptima, mejorando así las comunicaciones y reduciendo la pérdida de señal.

Por tanto, se proporciona un procedimiento de comunicaciones ópticas implementado por el sistema de receptor FSO 500.

Ventajosamente, el sistema y el procedimiento descritos anteriormente tienden a evitar el uso de un sensor de ángulo de llegada que está separado del sensor de datos de comunicaciones ópticas. En consecuencia, el tamaño, el peso y la complejidad de un sistema receptor de FSO tienden a reducirse.

Cabe señalar que algunos de los pasos del procedimiento representados en el diagrama de flujo de la figura 3 y descritos a continuación pueden omitirse o dichos pasos del procedimiento pueden realizarse en un orden diferente al presentado anteriormente y mostrado en la figura 3. Además, aunque todos los pasos del procedimiento se han descrito, por conveniencia y facilidad de comprensión, como pasos discretos secuenciales temporalmente, no obstante, algunos de los pasos del procedimiento pueden de hecho realizarse simultáneamente o al menos superpuestos hasta cierto punto temporalmente.

En las realizaciones anteriores, el diámetro del haz 802 es mayor o igual que el diámetro 608 del sensor central 600. Sin embargo, en otras realizaciones, el diámetro del haz es menor que el diámetro del sensor central.

En el caso de que el diámetro del haz 802 sea sustancialmente igual al diámetro 608 del sensor central 600, tiende a haber una cola gaussiana periférica (aproximadamente el 14 % de la potencia del haz entrante) incidente en uno o más de los sensores de cuatro cuadrantes. 601-604. Esta fracción es similar a un sistema estándar en el que típicamente el 10 % de la luz entrante se aprovecha para el sensor de ángulo de llegada.

La figura 9 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un primer gráfico 900. El primer gráfico 900 ilustra una relación típica 901 entre el desplazamiento x del punto 800 desde el centro de la cara frontal del sensor multifuncional 504 y una potencia medida por los sensores de cuadrante 601-604. El eje x 902 del gráfico 900 muestra el desplazamiento x del punto 800 desde el centro de la cara frontal del sensor multifuncional 504. El eje y 904 del gráfico 900 muestra la potencia medida por los sensores de cuadrante 601-604.

En esta realización, existe una relación similar entre el desplazamiento x del punto 800 desde el centro de la cara frontal del sensor multifuncional 504 y una potencia medida por los sensores de cuadrante 601-604 a la ilustrada en la figura 9.

En esta realización, la relación 901 comprende una región central 904 donde la relación 901 entre el desplazamiento x y la potencia medida es lineal. En esta región central 904, el algoritmo de control implementado por el controlador 508 puede aplicar un movimiento correctivo al accesorio 506 que es directamente proporcional al error de compensación calculado para volver a centrar el punto 800 en el centro de la cara frontal del sensor multifuncional 504.

Sin embargo, más allá de esta región central 904, existen regiones no lineales 906, 908 de la relación 901. Estas regiones no lineales 906, 908 corresponden a desviaciones x relativamente grandes del punto 800 de la cara frontal del sensor multifuncional 504, como se ilustra en la figura 9 por las representaciones del sensor multifuncional 504 y el punto 800 debajo del gráfico 900. En estas regiones 906, 908 no lineales, tiende a haber incertidumbre sobre cuánto movimiento correctivo se requiere para el dispositivo 506 para volver a centrar el punto 800.

En algunas realizaciones, el algoritmo de seguimiento implementado por el controlador 508 puede tener en cuenta las regiones no lineales 906, 908. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el algoritmo de seguimiento tiene en cuenta los valores de error pasados al incluir un término integral que es proporcional tanto a la magnitud del error como a la duración del error. También, por ejemplo, en algunas realizaciones, el algoritmo de seguimiento incluye un término derivado para predecir un valor futuro del error en base a una tasa de cambio actual. Este último ejemplo tiende a ser de particular utilidad cuando el sistema tiene un error incremental sistemático que se acumula con el tiempo.

Para un sensor multifuncional 504 que tiene un sensor central 600 que tiene un diámetro de 0,4 mm, la región central lineal 904 puede extenderse, por ejemplo, sobre una región que tiene un diámetro de aproximadamente 135 μm . Para el sensor multifuncional 504 que tiene un campo de visión angular (FoV) de 2°, esto equivale a aproximadamente 0,6°. En este caso, la potencia incidente en el sensor central 600 dentro de la región central lineal 904 tiende a ser mayor o igual al 80 % de la potencia del haz de luz 510.

Fuera de la región central lineal 904, el error de desplazamiento del punto 800 puede ser incierto. Sin embargo, ventajosamente, las mediciones de potencia de los sensores de cuadrante 601-604 tienden a proporcionar suficiente información para permitir que el controlador 508 controle el dispositivo 506 para mover el punto 800 una distancia predeterminada hacia el centro de la cara frontal del sensor multifuncional 504 en cada actualización. En algunas realizaciones, la distancia predeterminada (es decir, un paso angular incremental) puede ser de 0,1°. Por tanto, la región central lineal 904 puede ser equivalente a 6 pasos incrementales.

En algunas realizaciones, se implementa un algoritmo de seguimiento dentro de las regiones no lineales 906, 908 para mover el punto 800 una distancia predeterminada hacia el centro de la cara frontal del sensor multifuncional 504. En algunas realizaciones, una vez que el punto 800 está aproximadamente centrado (por ejemplo, cuando el punto está en la región central lineal), el algoritmo de seguimiento puede cambiar a un algoritmo que aplica un movimiento correctivo al dispositivo 506 que es directamente proporcional al calculado. error de compensación para mantener la alineación del haz.

Por ejemplo, para un caso en el que el diámetro exterior 606 de los cuatro sensores de cuadratura 601-604 es de 1,6 mm y el diámetro 608 del sensor central 600 es de 0,4 mm, la cobertura angular total de los sensores de cuadratura 601-604 puede ser aproximadamente 8° . Para pasos angulares incrementales de $0,1^\circ$ y una tasa de actualización de 50 Hz, el controlador 508 puede mover incrementalmente el dispositivo 506 de modo que el punto 800 se mueva desde el borde exterior del sensor multifuncional 504 o próximo al mismo hasta aproximadamente el centro del sensor multifuncional 504 en menos de un segundo. Una vez que se ha centrado el punto 800, el algoritmo puede implementarse para mantener la alineación del haz para velocidades angulares relativas de hasta $5^\circ/\text{s}$.

En algunas realizaciones, se pueden implementar pasos incrementales más grandes (por ejemplo, pasos incrementales de $0,3^\circ$ en oposición a pasos incrementales de $0,1^\circ$) dentro de las regiones no lineales 906, 908. En algunas realizaciones, una vez que funciona en la región lineal central 906, 908, un algoritmo de control adaptativo puede reducir el tamaño del paso incremental a un valor más pequeño (por ejemplo, de $0,3^\circ$ a $0,1^\circ$). Esto tiende a proporcionar un centrado del haz más rápido.

Ventajosamente, una actualización más rápida del sistema tiende a proporcionar un centrado más rápido del haz.

Ventajosamente, aumentando el diámetro exterior 606 de los sensores de cuadrante 601-604, tiende a habilitarse la adquisición de datos en una gama más amplia de ángulos. Por ejemplo, los sensores de cuadrante que tienen un diámetro exterior de 25 mm tienden a proporcionar una cobertura angular de 90° .

En algunas realizaciones, el haz de luz entrante 510 es sustancialmente estacionario. Esto tiende a facilitar el centrado del haz.

En algunas realizaciones, el diámetro del haz 802 es mayor que el diámetro 608 del sensor central 600. En algunas realizaciones, por ejemplo, el diámetro del haz 802 es sustancialmente igual a 1,66 multiplicado por el diámetro 608 del sensor central 600. En este caso, la potencia del punto 800 en el sensor central 600 cuando el punto 800 está centrado es el 50 % de la potencia total del haz. Por tanto, el 50 % de la potencia total del punto 800 incide en los sensores de cuadrante 601-604. En este caso, la región central lineal 904 tiende a extenderse sobre aproximadamente 0,3 mm, correspondiente a aproximadamente $1,5^\circ$ FoV. En este caso, aunque tiende a haber menos potencia incidente disponible para el sensor central 600 (es decir, el detector de comunicaciones), tiende a estar disponible más potencia para su uso por los sensores de cuadrante 601-604 y, por tanto, con fines de seguimiento. Por tanto, la alineación del haz tiende a ser facilitada por el diámetro 802 más grande del haz.

Ventajosamente, el tamaño del diámetro del haz 802 se puede variar para ajustar el sistema a los requisitos operativos particulares. El tamaño del diámetro del haz 802 se puede variar, por ejemplo, variando las características de la lente de enfoque 502 o, por ejemplo, una distancia relativa entre las líneas de enfoque 502 y el sensor multifuncional 504.

En las realizaciones anteriores, el controlador usa las medidas de potencia de los sensores de cuadrante para controlar el movimiento de panorámica/inclinación del dispositivo. Sin embargo, en otras realizaciones, el controlador puede usar las mediciones de potencia de los sensores de cuadrante para controlar una entidad diferente para centrar el haz de luz en el sensor multifuncional. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el controlador puede mover el sensor multifuncional con respecto a la lente de enfoque. También, por ejemplo, en algunas realizaciones, el controlador puede mover o deformar la lente de enfoque con respecto al sensor multifuncional.

En las realizaciones anteriores, el FSO comprende una lente de enfoque y un dispositivo de fijación. Sin embargo, en algunas realizaciones, se puede omitir el accesorio. Por ejemplo, el dispositivo puede ser reemplazado por un aparato para mover el sensor multifuncional con respecto al haz de luz entrante. En algunas realizaciones, se puede omitir la lente de enfoque. Por ejemplo, en alguna realización, el haz de luz entrante no está enfocado.

En las realizaciones anteriores, la lente de enfoque es una lente de un solo foco. Sin embargo, en otras realizaciones, la lente de enfoque es un tipo diferente de lente, por ejemplo, una lente bifocal. En algunas realizaciones, se puede usar una lente Fresnel, una lente difractiva, un elemento holográfico, una combinación de lentes refractivas y difractivas, y/o un Kinoform en lugar de o además de una lente monofocal y/o lente bifocal.

Lo que se describirá ahora es una realización del sistema de receptor FSO en el que se implementa una lente bifocal simétrica.

La figura 10 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una parte de una realización de un sistema receptor de FSO en el que la lente de enfoque es una lente bifocal simétrica 950.

La figura 11 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la superficie frontal, o plano focal, del sensor multifuncional 504 y el haz de luz 510 enfocado sobre el mismo por la lente bifocal 950.

En algunas realizaciones, preferiblemente el sensor de comunicaciones central del sensor multifuncional es relativamente pequeño. Esto tiende a permitir que se realicen anchos de banda elevados. Por ejemplo, un sensor central de silicio de 400 μm de diámetro tiende a proporcionar anchos de banda de comunicaciones del orden de 1 GHz. El uso de un diámetro de punto que coincida sustancialmente con el diámetro del sensor central tiende a proporcionar que ~el 90 % de la potencia de la luz incidente incide en el sensor central. Sin embargo, esto tiende a ofrecer solo una región lineal muy estrecha para la parte del ángulo de llegada del sensor multifuncional (es decir, para los sensores de cuadrante). La lente bifocal simétrica 950 se puede usar para abordar este problema.

En esta realización, una parte central de la lente bifocal simétrica 950 enfoca una parte central del haz de luz incidente 510 (para producir así un haz central enfocado 952) sobre el sensor central 600. El rayo central enfocado 952 aparece como un punto central 953 en el sensor central 600.

Además, una región exterior de la lente bifocal simétrica 950 (que rodea la parte central de la lente bifocal simétrica 950) enfoca una parte exterior del haz de luz incidente 510 (para producir así un haz focalizado exterior 954) sobre los sensores de cuadrante 601-604. El haz focalizado exterior 954 aparece como un anillo 955 en los sensores de cuadrante 601-604 que rodean el punto central 953. Las mediciones de potencia del haz 954 enfocado exterior por los sensores de cuadrante 601-604 pueden usarse para la detección del ángulo de llegada y el centrado del haz como se describió con más detalle anteriormente.

Ventajosamente, la lente bifocal simétrica 950 puede diseñarse de manera que los tamaños relativos de la parte central y la región exterior de la lente bifocal simétrica 950 proporcionen una división deseada del haz de luz entrante 510 entre el sensor central 600 y el cuadrante sensores 601-604. Por ejemplo, la región de la lente exterior puede diseñarse para proporcionar un anillo 955 cuya anchura es igual a la mitad del diámetro del sensor central 600. Esto tiende a asegurar que la división deseada se mantenga en toda la región lineal 904.

De manera ventajosa, la lente bifocal simétrica puede diseñarse para sintonizar el sistema receptor de FSO con requisitos operativos particulares.

Ventajosamente, tiende a ser posible diseñar la lente bifocal simétrica 950 para proporcionar cualquier tamaño apropiado de punto central 953. De manera similar, tiende a ser posible diseñar la lente bifocal simétrica para proporcionar cualquier tamaño apropiado de anillo 955. Un punto central 953 más grande en el sensor central 600 tiende a proporcionar una reducción más suave y predecible de la potencia incidente con el ángulo de la luz incidente. Esto tiende a permitir que el sistema receptor FSO adapte el ancho de banda en tiempo real, en lugar de sufrir interrupciones.

En algunas realizaciones, el elemento de lente de enfoque del sistema receptor de FSO es programable y/o adaptable. Esto tiende a permitir que la división de la señal óptica incidente entre el sensor central y el sensor de ángulo de llegada (es decir, los sensores de cuadrante) se varíe en tiempo real para optimizar el rendimiento instantáneo. La programación del elemento de lente puede ser realizada por el controlador en base a las medidas de potencia tomadas por los sensores de cuadrante.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de comunicación óptica de espacio libre que comprende:

5 un receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre (500) que comprende:

un sensor óptico central (600); y
una pluralidad de sensores ópticos adicionales (601-604) dispuestos alrededor de un borde periférico del sensor óptico central (600),
10 un medio para mover el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre (500) con respecto a una señal óptica (510) incidente en el sistema de comunicación óptica de espacio libre; y
un controlador (508) configurado para, usar mediciones de la señal óptica incidente (510) por la pluralidad de sensores ópticos adicionales (601-604), controlar los medios para mover el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre (500) con respecto a la señal óptica incidente (510) y
15 caracterizado porque el receptor comprende además: una lente bifocal simétrica (502) configurada para enfocar la señal óptica incidente (510) para producir un haz focalizado central (952), en el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre (500) y un haz exterior enfocado (954) en los sensores ópticos adicionales (601- 604).

20 2. Un sistema de comunicación óptica de espacio libre de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la lente bifocal (502) es una lente seleccionada del grupo de lentes que consiste en: una lente Fresnel, una lente difractiva, un elemento holográfico, una combinación de lentes refractivas y difractivas, y un Kinoform.

25 3. Un sistema de comunicación óptica de espacio libre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la lente (502) es programable y/o adaptativa.

4. Un sistema de comunicación óptica de espacio libre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la pluralidad de sensores ópticos adicionales (601-604) están separados uniformemente alrededor del borde periférico del sensor óptico central (600).

30 5. Un sistema de comunicación óptica de espacio libre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que los sensores ópticos adicionales (601-604) tienen el mismo tamaño y forma entre sí.

35 6. Un sistema de comunicación óptica de espacio libre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el sensor óptico central (600) es circular.

7. Un sistema de comunicación óptica de espacio libre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que los sensores ópticos adicionales (601-604) definen un anillo que rodea al sensor óptico central (600).

40 8. Un sistema de comunicación óptica de espacio libre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que hay al menos cuatro sensores ópticos adicionales (601-604).

9. Un sistema de comunicación óptica de espacio libre de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:

45 los medios para mover el receptor del sistema de comunicaciones ópticas de espacio libre (500) comprenden una estructura de soporte rígida (506) que puede girar alrededor de al menos dos ejes perpendiculares;
el receptor del sistema de comunicaciones ópticas de espacio libre (500) está unido de forma fija a la estructura de soporte (506); y
50 el controlador (508) está configurado para, usar las mediciones de la señal óptica incidente por la pluralidad de sensores ópticos adicionales (601-604), rotar la estructura de soporte (506) alrededor de al menos uno de los ejes.

55 10. Un procedimiento para recibir una señal óptica (510), comprendiendo el procedimiento:

proporcionar un sistema de comunicación óptica de espacio libre de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, medir, mediante uno o más de los sensores ópticos adicionales (601-604), al menos una parte de una señal óptica (510) incidente en el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre (500);
60 y
mediante el uso de una o más medidas tomadas por uno o más de los sensores ópticos adicionales (601-604), mover el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre (500) con respecto a la señal óptica incidente (510).

11. Un procedimiento para recibir una señal óptica de acuerdo con la reivindicación 10, en el que mover el receptor del sistema de comunicación óptica de espacio libre (500) con respecto a la señal óptica incidente (510) se realiza de manera que el sensor óptico central (600) se mueva hacia la señal óptica incidente (510).
- 5 12. Un procedimiento para recibir una señal óptica de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que:
- 10 la señal óptica incidente (510) especifica los datos de comunicaciones; y
el procedimiento comprende además medir, mediante el sensor óptico central (600), al menos una parte de una señal óptica (510) incidente en el sensor óptico central (600) para determinar así los datos de comunicaciones.
- .

Figura 1

Técnica anterior

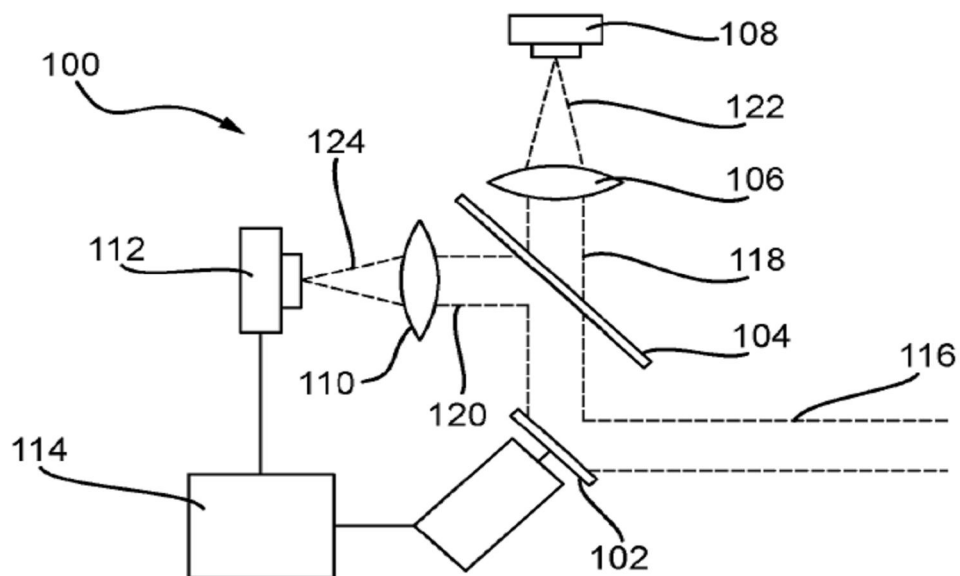


Figura 2

Técnica anterior

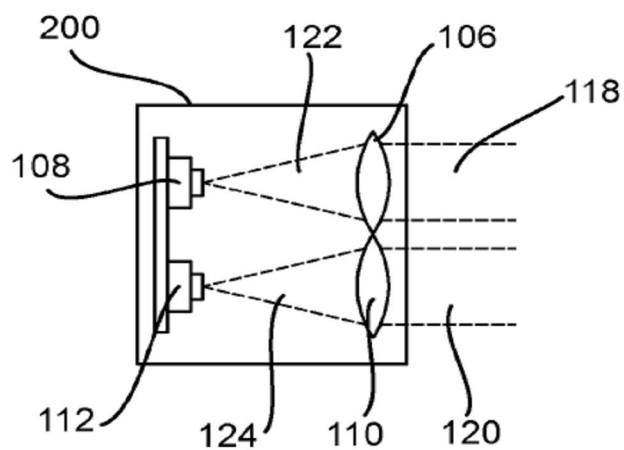


Figura 3

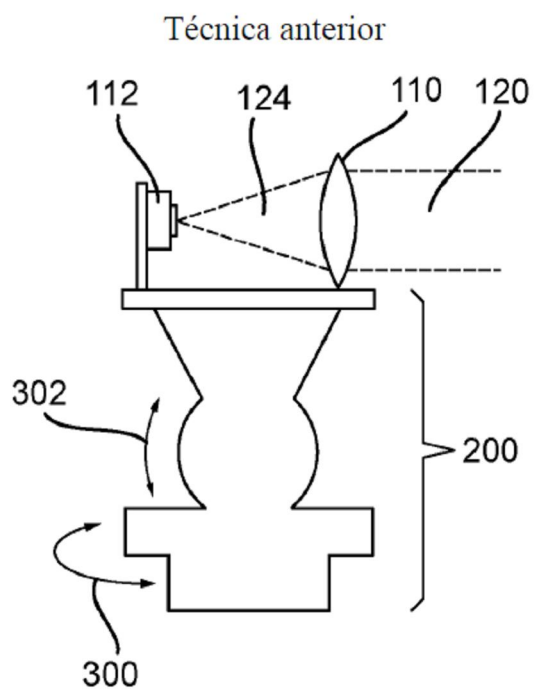


Figura 4

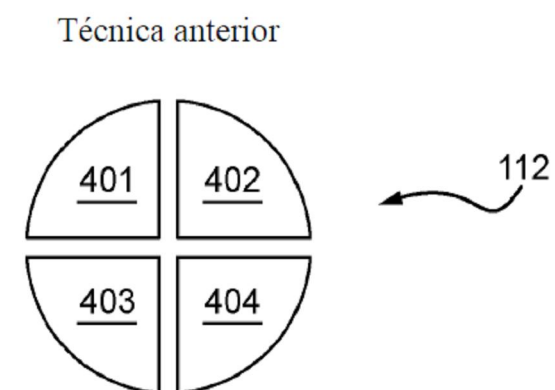


Figura 5

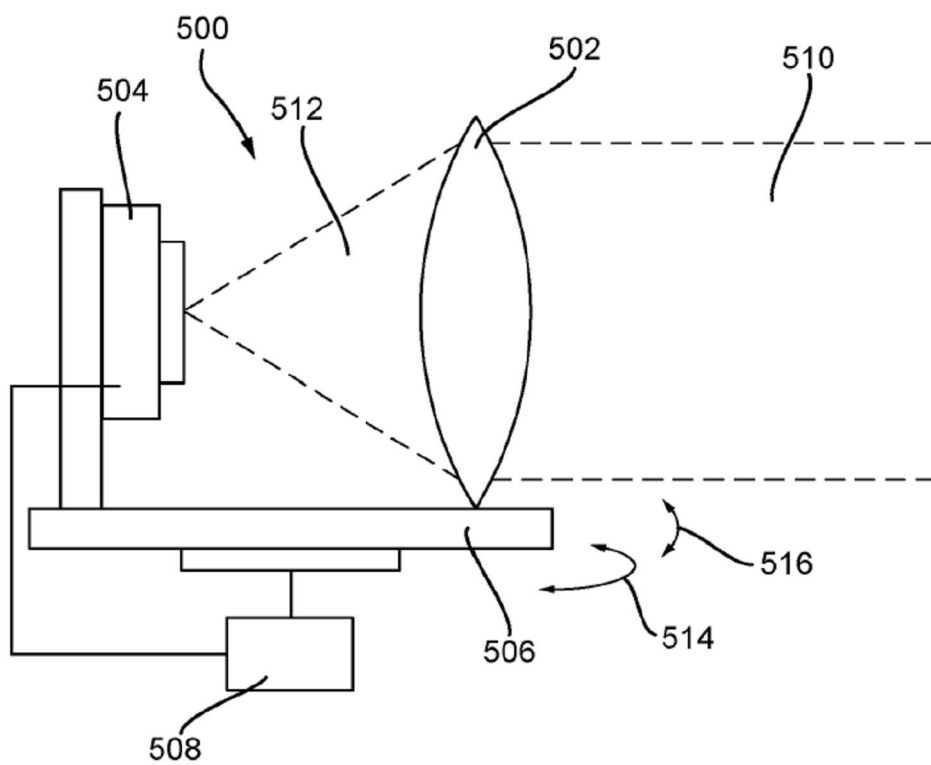


Figura 6

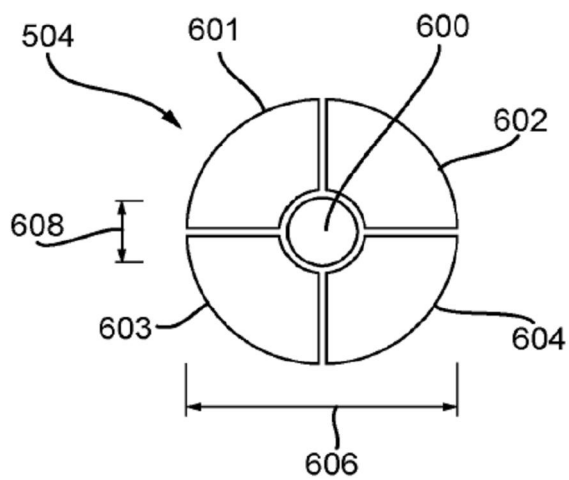


Figura 7

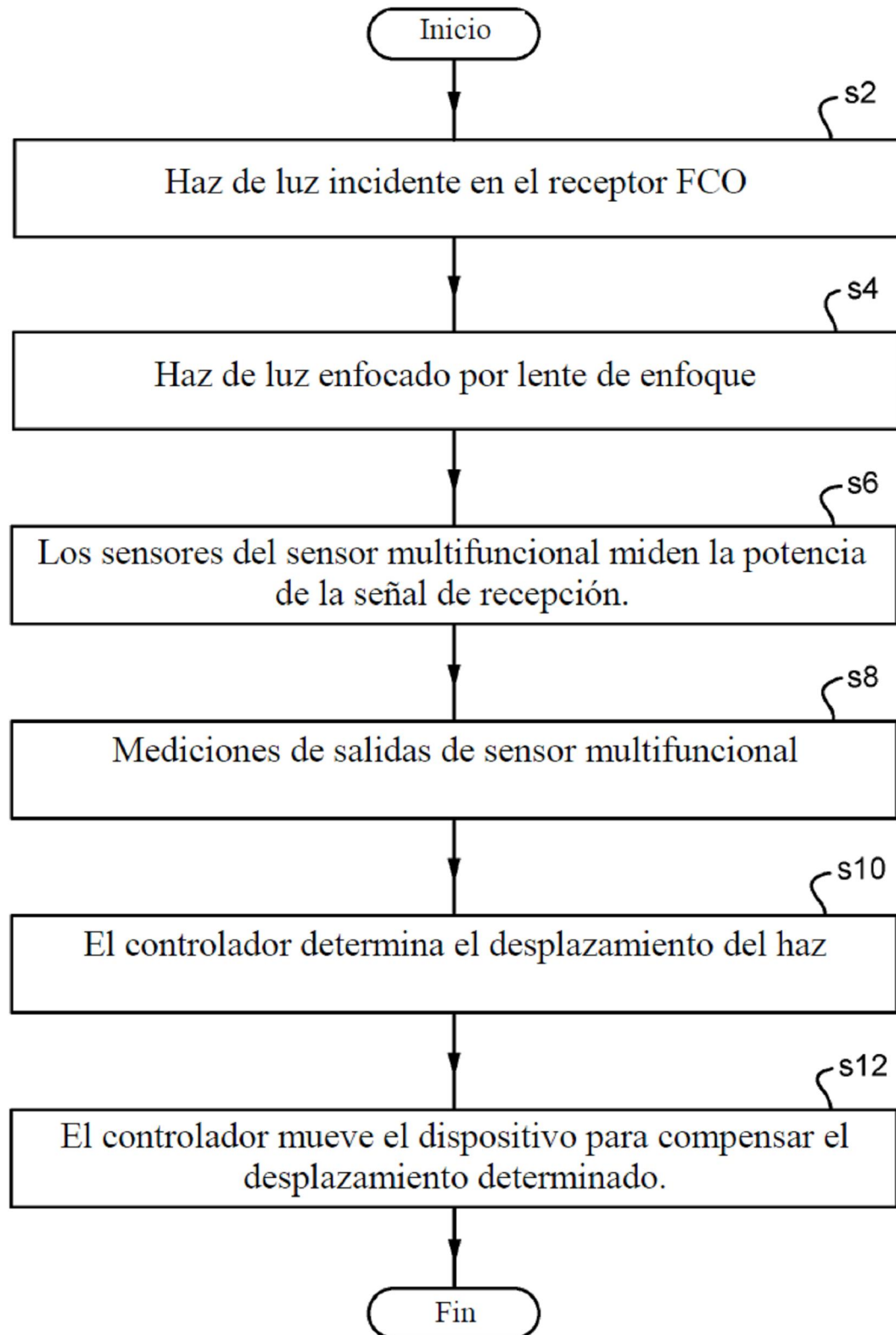


Figura 8

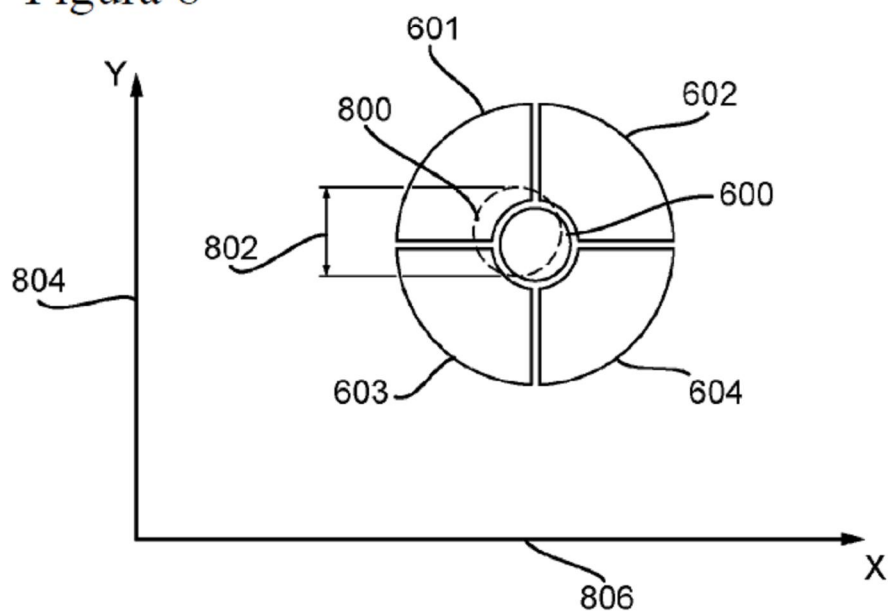


Figura 9

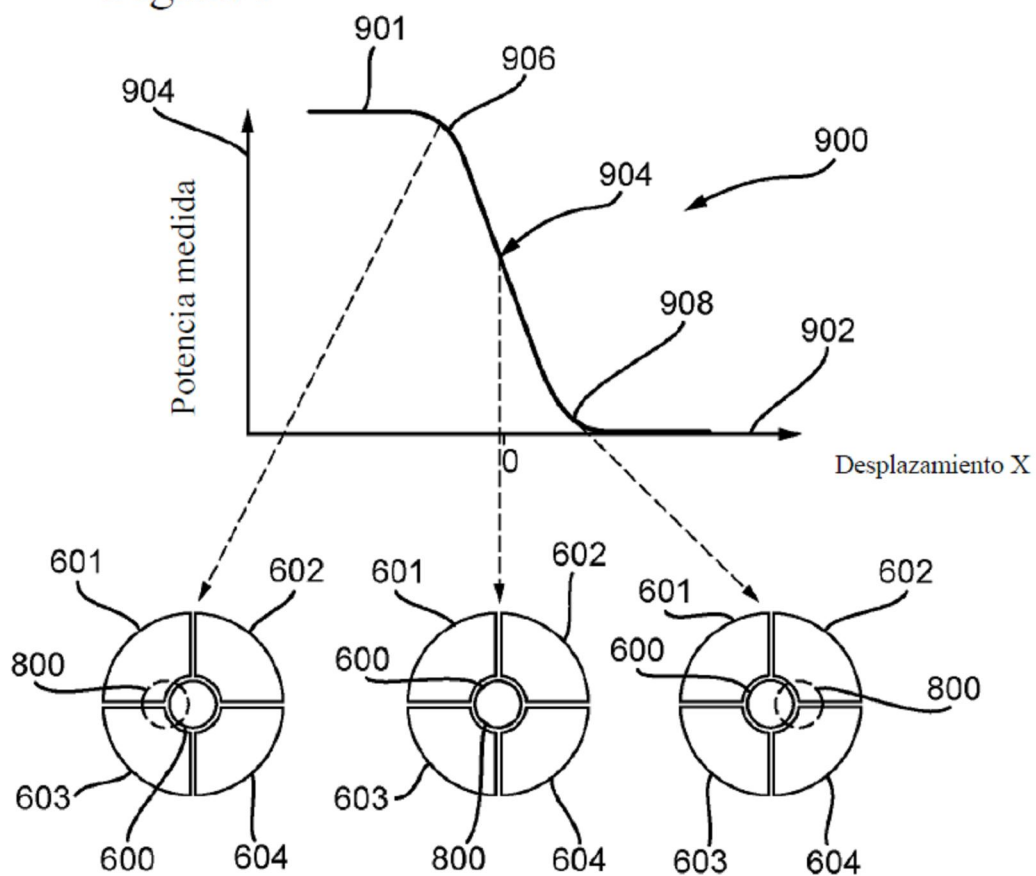


Figura 10

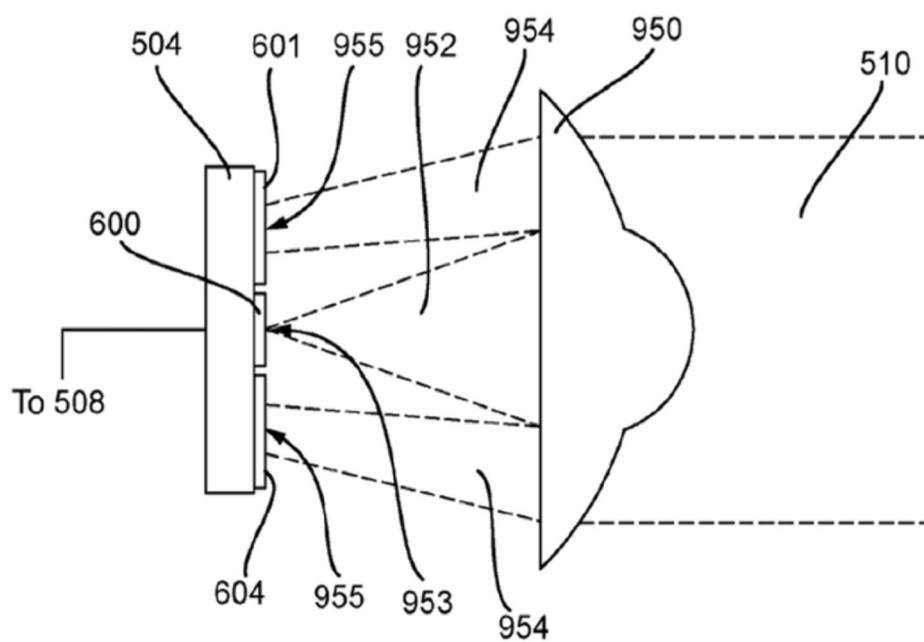


Figura 11

