

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 003 879**

51 Int. Cl.:

H04B 10/112 (2013.01)

H04B 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.06.2017 PCT/GB2017/051711**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.12.2017 WO17216537**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.06.2017 E 17731253 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2024 EP 3469741**

54 Título: **Dispositivo de comunicación óptica**

30 Prioridad:

13.06.2016 GB 201610372

13.06.2016 GB 201610376

16.06.2016 EP 16174856

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

11.03.2025

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.00%)

6 Carlton Gardens

London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

GRIFFITH, MICHAEL, STEWART y

WILLIAMS, ANDREW, JAMES

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 003 879 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

Dispositivo de comunicación óptica

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a dispositivos de comunicación óptica.

10 **Antecedentes**

15 Los sistemas de comunicaciones ópticas por espacio libre (FSO, por sus siglas en inglés) son bien conocidos por su capacidad para proporcionar enlaces de comunicaciones de alta velocidad de datos. Un sistema de comunicación FSO típicamente consiste en un par de nodos o dispositivos de comunicación. Cada nodo comprende típicamente una fuente óptica, por ejemplo, un láser o un diodo emisor de luz (LED, por sus siglas en inglés), y un receptor óptico. Durante el uso, la fuente óptica de cada nodo se alinea con el receptor óptico del otro nodo. La modulación de las señales ópticas emitidas por las fuentes ópticas permite la transferencia bidireccional de datos entre los dos nodos. Por lo tanto, existe un enlace de datos entre los nodos.

20 La mayoría de los sistemas FSO actuales se montan en posiciones fijas en la Tierra y se alinean manualmente entre sí. Existen sistemas comercializados que pueden ofrecer velocidades de datos de varios gigabits por segundo (Gbps) en un rango de varios kilómetros.

25 Es deseable tener sistemas de comunicación que permitan las comunicaciones submarinas. Las señales de radiofrecuencia (RF) tienden a atenuarse en gran medida por el agua de mar, y de ahí que el rango de los sistemas de comunicaciones de RF tienda a ser muy limitado. Los sistemas acústicos pueden ofrecer una transmisión de datos a baja velocidad (~ kbps) en rangos largos, pero suelen estar típicamente encubiertos, lo que no es deseable para ciertas aplicaciones.

30 También se han desarrollado sistemas de comunicaciones ópticas para aplicaciones submarinas. Tales sistemas de comunicaciones ópticas submarinas tienden a proporcionar comunicaciones de velocidad de datos relativamente alta en distancias cortas a medias, por ejemplo, hasta 300 m aproximadamente.

35 Al igual que los sistemas de comunicación FSO terrestres, un sistema de comunicación óptica submarina típicamente comprende un par de nodos, cada nodo comprenderá una fuente óptica y un detector. Sin embargo, a diferencia de los sistemas de comunicación FSO terrestres (donde las posiciones de los nodos típicamente son fijas), los modos submarinos tienden a ser móviles. De ahí que, en aplicaciones submarinas, la posición de cada nodo y, en consecuencia, el rango y la separación angular entre los nodos, no son fijos. Por lo tanto, en aplicaciones submarinas, la alineación entre las fuentes ópticas y los detectores opuestos tiende a ser necesaria para que el sistema de comunicaciones funcione. Además, muchos nodos submarinos son nodos no tripulados (p. ej., vehículos no tripulados) y de ahí que la alineación manual entre un par de nodos tienda a no ser posible. Además, si bien cada nodo submarino puede tener alguna estimación de la ubicación relativa del nodo submarino opuesto (p. ej., una ubicación y navegación preprogramadas utilizando sistemas GPS/inerciales, o mediante el uso de un enlace de datos independiente), puede haber una gran incertidumbre angular y de rango en su posición.

45 En consecuencia, se requiere una estrategia para que cada nodo adquiera con precisión la ubicación del nodo opuesto antes de que pueda producirse la alineación del haz (y, por lo tanto, las comunicaciones ópticas). Además, dado que las plataformas pueden seguir siendo móviles, es posible que se requiera una alineación activa del haz durante la transferencia de datos (seguimiento).

50 **Resumen de la invención**

55 Los presentes inventores se han dado cuenta de que sería beneficioso para los nodos o dispositivos de comunicación óptica poder adquirir de forma fiable y precisa la ubicación del nodo opuesto, por ejemplo, antes de que se produzcan la alineación del haz y las comunicaciones ópticas. Los presentes inventores se han dado cuenta además de que sería beneficioso que los nodos fueran capaces de realizar una alineación activa del haz (es decir, un seguimiento) durante la transferencia de datos, particularmente para los nodos móviles.

60 Los presentes inventores se han dado cuenta además de que el uso de un haz óptico con una gran divergencia, por ejemplo, para iluminar el área que rodea el nodo transmisor para garantizar que cada uno de los otros nodos reciba algo de potencia óptica, tiende a ser muy ineficiente desde el punto de vista energético ya que la mayor parte de la potencia óptica transmitida no llega al detector del nodo opuesto. El presente inventor se ha dado cuenta de que tal estrategia tiende a ser adecuada solo en agua limpia y/o a corta distancia.

65 Los presentes inventores se han dado cuenta además de que el uso de una lente para enfocar la luz transmitida para producir un "punto" enfocado en el detector de comunicaciones tiende a depender en gran medida del ángulo de

incidencia de la luz entrante. Por lo tanto, los ángulos de incidencia grandes pueden provocar que todo o parte del punto se desplace del centro del detector de comunicaciones, reduciendo de este modo el margen del enlace de comunicación.

5 Los presentes inventores se han dado cuenta además de que escanear un haz de luz estrecho/colimado a través de una región angular de incertidumbre puede ser ineficiente. Por ejemplo, cada nodo de un par de nodos puede comprender un sensor de luz de ángulo de llegada (AoA, por sus siglas en inglés). Un primero de los nodos puede escanear un haz de luz estrecho a través del área de búsqueda angular. En algún punto durante el escaneo, el haz de luz del primer nodo incide en el sensor de AoA del segundo nodo, permitiendo de este modo que el segundo nodo deduzca la ubicación angular del primer nodo. El segundo nodo puede entonces dirigir un haz de luz estrecho hacia la ubicación inferida del primer nodo. El sensor de AoA del primer nodo puede entonces detectar el haz del segundo nodo y, utilizando mediciones del haz, inferir la ubicación del segundo nodo. El primer nodo puede entonces detener el escaneo y dirigir su haz de luz estrecho hacia la ubicación inferida del segundo nodo. A continuación, pueden comenzar las comunicaciones entre los nodos. Sin embargo, los presentes inventores se han dado cuenta de que, para un sistema y método de este tipo, escanear una gran área de búsqueda angular con un haz estrecho puede llevar una cantidad de tiempo significativa. Por lo tanto, la adquisición del enlace de comunicación tiende a consumir más tiempo y/o potencia. Los presentes inventores se han dado cuenta además de que el margen de enlace puede no ser conocido (por ejemplo, dado que las condiciones del agua y/o el rango entre los nodos pueden no ser conocidos). De ahí que si las condiciones son favorables (por ejemplo, la distancia entre los nodos es de rango relativamente corto y/o el agua a través de la cual se producen las comunicaciones es relativamente clara), se puede perder tiempo escaneando el área de búsqueda con un haz colimado de muy alta irradiación, cuando un escaneo con un haz más grande (con menor irradiancia) puede proporcionar a los sensores de AoA de los nodos la potencia suficiente para permitir la ubicación del otro nodo.

25 Los presentes inventores se han dado cuenta de que sería beneficioso proporcionar un sistema y un método que superen las deficiencias mencionadas anteriormente de utilizar haces ópticos que tengan una gran divergencia y también las deficiencias mencionadas anteriormente de utilizar haces ópticos estrechos/colimados.

30 En un primer aspecto, la presente invención proporciona un método para transmitir una señal óptica mediante un sistema de comunicación óptica por espacio libre, FSO. El método comprende: transmitir, mediante un transmisor de señales ópticas, una primera señal óptica hacia un vehículo presente dentro de un volumen de agua, de tal modo que la señal óptica cubra un área de búsqueda determinada en el volumen de agua; y en respuesta a no recibir una señal óptica incidente del vehículo después de transmitir la primera señal óptica; transmitir, mediante el transmisor de señales ópticas, una segunda señal óptica al volumen de agua, teniendo la segunda señal óptica una divergencia de haz más reducida que la primera señal óptica; y controlar, mediante un equipo de control, el transmisor de señales ópticas, para escanear el volumen de agua utilizando la segunda señal óptica que tiene la divergencia del segundo haz en una secuencia de bucles cerrados no superpuestos en donde cada una de las secuencias de bucles cerrados no superpuestos se cruza a sí misma al menos una vez.

40 Al escanear el volumen, para escanear un bucle, el equipo de control controla el transmisor de tal modo que al menos parte del transmisor se mueve a lo largo de un trayecto que define un bucle, es decir, un trayecto que se cruza a sí mismo al menos una vez. Por ejemplo, al escanear el volumen, el equipo de control controla el transmisor para que se mueva a lo largo de un trayecto que tiene su punto de inicio en el mismo punto que su punto final. Por lo tanto, durante el escaneo del volumen, un trayecto sobre un plano sobre el que se proyecta la señal óptica define una pluralidad de bucles no superpuestos en ese plano, es decir, una pluralidad de trayectos no superpuestos, cada uno tiene sus puntos de inicio iguales a sus puntos finales. Cada uno de los bucles de la secuencia puede ser un bucle sustancialmente circular.

50 La etapa de control puede comprender controlar el transmisor de señales ópticas para escanear al menos una parte del volumen repitiendo al menos parte de uno o más de los bucles al menos dos veces. Al menos parte de uno o más de los bucles se puede repetir al menos dos veces. Al menos parte de uno o más de los bucles puede repetirse como máximo dos veces. Al menos parte de uno o más de los bucles se puede repetir exactamente dos veces.

55 La transmisión de la señal óptica puede comprender: generar una señal óptica; modificar una divergencia y una irradiancia de la señal óptica generada de tal modo que al menos una de la divergencia y la irradiancia sea igual a un valor preseleccionado; y transmitir la señal óptica modificada.

60 El método puede también comprender: transmitir, mediante el transmisor de señales ópticas o un transmisor de señales ópticas adicional, una señal óptica adicional a al menos una parte del volumen, teniendo la señal óptica adicional una divergencia de haz e irradiancia diferentes a las de la señal óptica; y controlar, mediante un equipo de control, el transmisor de señal óptica o el transmisor de señales ópticas adicional, para escanear al menos parte del volumen utilizando la señal óptica adicional en una secuencia adicional de bucles no superpuestos.

65 El método puede también comprender: en respuesta a la transmisión de la señal óptica a al menos una parte del volumen, recibir, mediante un detector de señales ópticas, una señal óptica de respuesta; y determinar, utilizando mediciones de la señal óptica de respuesta por el detector de señales ópticas, mediante uno o más procesadores, una ubicación de una fuente de la señal óptica de respuesta.

Un campo de visión del transmisor de señales ópticas puede dirigirse en la misma dirección que el campo de visión del detector de señales ópticas.

5 El método puede también comprender: el sistema de comunicación FSO transmite una señal de ubicación en donde la señal de ubicación al menos opera para permitir que la fuente de la señal óptica de respuesta identifique la posición del sistema de comunicación FSO.

10 La señal de ubicación puede transmitirse sustancialmente en la misma dirección que el campo de visión del detector de señales ópticas. Esto puede ser para permitir que la fuente de la señal óptica de respuesta utilice la señal de ubicación para maniobrar hasta una posición en donde se pueda realizar una comunicación efectiva; por ejemplo, la tasa de errores de bits de una señal de comunicación se encuentra en un nivel aceptable para la misión actual. Es posible que sea necesario maniobrar debido a que, aunque la fuente de la señal de respuesta ha identificado la posición del sistema de comunicación FSO, los niveles de la señal de comunicación pueden ser demasiado bajos para
15 lograr la velocidad de datos de comunicación requerida entre el sistema de comunicación FSO y la fuente de la señal de respuesta.

La señal de localización puede actuar como una baliza y puede realizar la identificación de amigo-enemigo (IFF, por sus siglas en inglés) para que el sistema de comunicación FSO pueda evitar una adquisición desconocida o una adquisición no deseada conocida.
20

La señal de ubicación es preferiblemente una señal de ubicación óptica. La señal de localización puede ser una señal acústica, que puede tener un rango mayor que una señal óptica.

25 El medio óptico puede ser agua.

En un aspecto adicional, la presente invención comprende un sistema de comunicación óptica por espacio libre, FSO, que comprende: un transmisor de señales ópticas configurado para transmitir una primera señal óptica hacia un vehículo dentro de un volumen de agua de tal modo que la señal óptica cubra un área de búsqueda determinada en el volumen de agua; y un procesador configurado para determinar si un detector de señales ópticas ha recibido una
30 señal óptica incidente del vehículo después de transmitir la primera señal óptica; y en respuesta a no recibir una señal óptica incidente; el transmisor de señales ópticas configurado para transmitir una segunda señal óptica al volumen de agua, teniendo la segunda señal óptica una divergencia más reducida que la primera señal óptica; y un equipo de control configurado para controlar el transmisor de señales ópticas para escanear el volumen de agua utilizando la
35 segunda señal óptica que tiene la divergencia del segundo haz en una secuencia de bucles cerrados no superpuestos en donde cada una de las secuencias de bucles cerrados no superpuestos se cruza a sí misma al menos una vez.

La secuencia de bucles no superpuestos puede ser una secuencia de bucles circulares concéntricos no superpuestos. El equipo de control puede configurarse además para escanear al menos parte del volumen repitiendo al menos parte de uno o más de los bucles al menos dos veces.
40

El sistema de comunicación FSO puede también comprender un detector de señales ópticas configurado para, en respuesta al transmisor de señales ópticas que transmite la señal óptica en al menos parte del volumen, reciba una señal óptica de respuesta. El sistema de comunicación FSO puede también comprender uno o más procesadores configurados para determinar, utilizando mediciones de la señal óptica de respuesta por parte del detector de señal
45 óptica, la ubicación de una fuente de la señal óptica de respuesta. Un campo de visión del transmisor de señales ópticas puede dirigirse en la misma dirección que el campo de visión del detector de señales ópticas.

En un aspecto adicional, la presente invención comprende un vehículo que comprende un sistema de comunicación FSO según cualquier aspecto precedente. El vehículo puede ser un vehículo sumergible.
50

Breve descripción de los dibujos

55 La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un vehículo que comprende un sistema de comunicación óptica;

la figura 2 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas de un proceso de comunicaciones ópticas;

60 la figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la transmisión de un primer haz de luz desde el vehículo;

la figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la transmisión de un segundo haz de luz desde el vehículo;

65 la figura 5 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un patrón de escaneo utilizado para el segundo haz de luz;

la figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la transmisión de un tercer haz de luz desde el vehículo;

la figura 7 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un patrón de escaneo utilizado para el tercer haz de luz;

5 la figura 8 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un vehículo adicional que transmite un haz de luz de respuesta al vehículo en respuesta a que el vehículo adicional detecta el tercer haz de luz;

10 la figura 9 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra comunicaciones ópticas por espacio libre bidireccionales entre los vehículos y el vehículo adicional;

la figura 10 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra otro sistema de comunicaciones ópticas que adquiere un enlace de comunicaciones; y

15 la figura 11 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra el sistema de comunicaciones ópticas adicional que realiza procesos de seguimiento y comunicación.

Descripción detallada

20 La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un vehículo 100 ilustrativo en el que se implementa una realización de un sistema 102 de comunicaciones ópticas.

El vehículo 100 es un vehículo sumergible (o submarino) no tripulado, es decir, un vehículo que se configura para funcionar mientras está sumergido, por ejemplo, en el agua.

25 En esta realización, el sistema 102 de comunicaciones ópticas comprende un transmisor 104 de señales ópticas, un detector 106 de señales ópticas y un procesador 108.

30 El transmisor 104 de señales ópticas se configura para transmitir una señal óptica (tal como un rayo láser) desde el vehículo 100, como se describe en mayor detalle más adelante con referencia a las figuras 2 a 9. En esta realización, el transmisor 104 de señales ópticas comprende un generador 110 de señales ópticas y una lente 112.

35 El generador 110 de señales ópticas se configura para generar una señal óptica, y enviar la señal óptica generada a la lente 112 para su transmisión desde el vehículo 110. El generador 110 de señales ópticas puede comprender, por ejemplo, un láser o un diodo emisor de luz (LED). El generador 110 de señales ópticas puede configurarse para modular las señales ópticas generadas para codificar datos.

40 En esta realización, la lente 112 está dispuesta para enfocar la señal óptica generada por el generador 110 de señales ópticas y dirigir la señal óptica enfocada lejos del vehículo 100. La lente 112 se puede controlar para variar la divergencia de la señal óptica transmitida. Por ejemplo, la lente 502 puede ser una lente de traslación, una lente de zoom, una lente fluídica, una lente de cristal líquido programable o una lente holográfica programable (tal como una red de Bragg conmutable o una Digilens). La lente 502 está controlada por el procesador 108.

45 El transmisor 104 de señales ópticas está acoplado operativamente al procesador 108 de tal modo que el procesador 108 puede controlar el funcionamiento del transmisor 104 de señales ópticas, es decir, del generador 110 de señales ópticas y la lente 112.

50 El detector 106 de señales ópticas se configura para detectar una señal óptica (tal como un rayo láser) incidente en el detector 106 de señales ópticas, y para generar una salida correspondiente a la señal óptica recibida. En esta realización, el detector 106 de señales ópticas comprende un sensor de ángulo de llegada (AoA) que tiene un campo de visión (FoV, por sus siglas en inglés) relativamente estrecho.

55 El detector 106 de señales ópticas está acoplado operativamente al procesador 108 de tal modo que el procesador 108 puede recibir una salida del detector 106 de señales ópticas. El procesador 108 se configura para procesar la salida recibida del detector 106 de señales ópticas como se describe en mayor detalle más adelante con referencia a la figura 2.

60 En esta realización, el transmisor 104 de señales ópticas se puede dirigir de tal modo que la dirección, con respecto al vehículo 100, en el que el transmisor 104 de señales ópticas transmite una señal óptica, pueda variarse. Por lo tanto, una señal óptica transmitida por el transmisor 104 de señales ópticas puede escanearse sobre un área. La dirección del transmisor 104 de señales ópticas se controla mediante el procesador 108. También, en esta realización, el detector 106 de señales ópticas es orientable de modo que el campo de visión del detector 106 de señales ópticas pueda variarse. La dirección del detector 106 de señales ópticas se controla mediante el procesador 108.

65 El transmisor 104 de señales ópticas y el detector 106 de señales ópticas pueden dirigirse de cualquier forma apropiada. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el transmisor 104 de señales ópticas y/o el detector 106 de señales

ópticas se montan en una unidad de giro/inclinación que se controla mediante el procesador 108. En algunas realizaciones, se utilizan uno o más espejos de dirección para dirigir el transmisor 104 de señales ópticas y/o el detector 106 de señales ópticas. Los uno o más espejos de dirección pueden controlarse mediante el procesador 108.

5 En esta realización, el transmisor 104 de señales ópticas y el detector 106 de señales ópticas se dirigen sustancialmente en la misma dirección.

10 El aparato, incluido el procesador 108, para implementar la disposición anterior y realizar las etapas del método que se describirán a continuación, puede proporcionarse configurando o adaptando 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 un ordenador, una red de ordenadores o uno o más procesadores, para implementar instrucciones y usar datos, incluidas instrucciones y datos en forma de un programa de ordenador o una pluralidad de programas de ordenador almacenados en un medio de almacenamiento legible por máquina como la memoria de la ordenador, un disco de ordenador, ROM, PROM, etc., o cualquier combinación de estos u otros medios de almacenamiento.

15 La figura 2 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas de un proceso de comunicaciones ópticas. En esta realización, el proceso de comunicaciones ópticas mediante el cual el vehículo sumergible 100 se comunica en un entorno submarino con un vehículo sumergible adicional.

20 En la etapa s2, el procesador 108 establece el valor de un índice de iteración, i , para que sea igual a uno, es decir, $i = 1$.

25 En esta realización, el proceso de comunicaciones ópticas comprende realizar de forma iterativa las etapas s4 a s8. El índice de iteración i es indicativo de un número de iteración del proceso.

30 En la etapa s4, el procesador 108 selecciona un valor para la divergencia del iésimo haz de luz que se transmitirá desde el vehículo 100.

35 En esta realización, en la primera iteración de las etapas s4 a s8 (es decir, para $i = 1$), el valor de la divergencia del primer haz de luz a transmitir desde el vehículo 100 se selecciona para que sea lo más grande posible, es decir, la mayor divergencia de haz posible que pueda lograrse con la lente 112.

40 En la etapa s6, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para transmitir un haz de luz que tiene la divergencia de haz seleccionada.

45 La figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la transmisión del primer haz de luz en la ($i = 1$)ésima iteración de la etapa s6.

50 En esta realización, el vehículo 100 transmite el primer haz de luz en la dirección del vehículo adicional 300, a través de un medio óptico 302 que, en esta realización, es agua (por ejemplo, agua de mar).

55 El primer haz de luz se indica en la figura 3 mediante dos flechas sólidas y el número 304 de referencia. El primer haz 304 de luz está limitado por estas flechas. En esta realización, el primer haz 304 de luz tiene una divergencia de θ_1 , donde θ_1 es la máxima divergencia alcanzable por el transmisor 104 de señales ópticas.

60 En esta realización, el primer haz 304 de luz cubre sustancialmente la totalidad de un área de búsqueda o volumen de búsqueda, que se indica en la figura 3 mediante líneas punteadas y el número 306 de referencia. El área 306 de búsqueda es un área en la que el vehículo 300 debe transmitir un haz de luz para intentar establecer un enlace de comunicaciones con el vehículo adicional 300. En esta realización, dado que, en la primera iteración $i = 1$, el primer haz 304 de luz cubre toda el área 306 de búsqueda, el primer haz 304 de luz no se escanea a través del área 306 de búsqueda. En particular, en esta realización, el área 306 de búsqueda está definida por el valor θ_1 .

65 En esta realización, el vehículo adicional 300 comprende un sistema de comunicaciones ópticas capaz de detectar señales ópticas que inciden en el vehículo adicional 300 y se configura además para transmitir señales ópticas. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el vehículo adicional puede comprender el sistema 102 de comunicaciones ópticas descrito en mayor detalle anteriormente con referencia a la figura 1.

En esta realización, las condiciones de comunicación (por ejemplo, la distancia entre el vehículo 100 y el vehículo adicional, y/o la turbidez del agua 302) son tales que un detector óptico a bordo del vehículo adicional 300 no recibe suficiente potencia del primer haz 304 de luz para permitirle detectar el primer haz 304 de luz. En otras palabras, el primer haz 304 de luz es atenuado por el agua 302 hasta tal punto que, en efecto, el primer haz 304 de luz no es recibido por el vehículo adicional 300.

Debido a que, en la primera iteración $i = 1$, el vehículo adicional 300 no detecta el haz de luz transmitido por el vehículo, el vehículo adicional 300 no transmite una señal óptica de respuesta hacia el vehículo 100.

Sin embargo, en otras realizaciones, las condiciones de comunicación pueden ser más favorables y de tal modo que el detector óptico del vehículo adicional 300 reciba y detecte el primer haz ancho 304. En este caso, el vehículo adicional transmitirá una señal de respuesta al vehículo 100, que se recibe en el vehículo 100, como se describe en mayor detalle más adelante con referencia a la figura 8.

5 En la etapa s8, el procesador 108 determina si el detector 106 de señales ópticas ha detectado o no una señal óptica incidente. En particular, en esta realización, el procesador 108 determina si el detector 106 de señales ópticas ha detectado o no una señal óptica de respuesta del vehículo adicional 100.

10 Si en la etapa s8, el procesador 108 determina que el detector 106 de señales ópticas ha detectado una señal óptica incidente, el método pasa a la etapa s12. Las etapas s12 a s14 se describirán en mayor detalle más adelante después de una descripción de la etapa s10 y las iteraciones posteriores ($i = 2, 3, \dots$) de las etapas s4 a s8.

15 Sin embargo, si en la etapa s8, el procesador 108 determina que el detector 106 de señales ópticas no ha detectado una señal óptica incidente, el método pasa a la etapa s10.

En la etapa s10, el procesador 108 aumenta el valor del índice de iteración, i , en uno, es decir, $i = i + 1$.

20 Tras la etapa s10, el método vuelve a la etapa s4 para una siguiente iteración de las etapas s4 a s8.

En esta realización, en las iteraciones posteriores de la etapa s4, el procesador 108 selecciona valores sucesivamente decrecientes para la divergencia del haz de luz a transmitir desde el vehículo 100. En otras palabras, en cada iteración de la etapa s4, el procesador 108 selecciona un valor para la divergencia del haz de luz que es inferior al valor seleccionado en la iteración anterior.

25 En particular, en esta realización, en cada iteración de la etapa s4, el procesador 108 selecciona el valor de la divergencia del haz de luz a transmitir desde el vehículo 100 utilizando la siguiente fórmula:

$$\theta_i = \frac{\theta_1}{2i - 1} \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots$$

30 donde:

i es el índice de iteración, $i = 1, 2, 3, \dots$;

35 θ_i es la divergencia del haz de luz seleccionada para la i ésima iteración;

θ_1 es la máxima divergencia del haz de luz que puede lograrse con la lente 112.

40 Por lo tanto, por ejemplo, en una segunda iteración ($i = 2$) de las etapas s4 a s8, la divergencia del haz seleccionada es $\theta_1/3$; en una tercera iteración ($i = 3$) de las etapas s4 a s8, la divergencia del haz seleccionada es $\theta_1/5$; en la cuarta iteración ($i = 4$) de las etapas s4 a s8, la divergencia del haz seleccionada es $\theta_1/7$; y así sucesivamente.

45 En esta realización, la divergencia de los haces de luz transmitidos en las iteraciones posteriores de la etapa s6 (es decir, las iteraciones $i = 2, 3, \dots$) es menor que en la primera iteración, $i = 1$. Por lo tanto, en iteraciones posteriores de la etapa s6, el haz de luz transmitido no cubrirá la totalidad del área 306 de búsqueda al mismo tiempo. Por lo tanto, en esta realización, en las iteraciones posteriores de la etapa s6, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para escanear el haz de luz transmitido a través de toda el área 306 de búsqueda.

50 En particular, en esta realización, en cada iteración de la etapa s6, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para escanear el haz de luz transmitido en una secuencia de círculos concéntricos no superpuestos, como se describe en mayor detalle a continuación con referencia a las figuras 4 a 7.

55 En esta realización, la potencia utilizada para generar el haz de luz es sustancialmente la misma para cada iteración. Por lo tanto, la disminución de la divergencia del haz de luz aumenta su irradiancia. En otras palabras, en cada iteración de la etapa s6, la irradiancia del haz de luz es mayor que la irradiancia en la iteración anterior. Por lo tanto, en la iteración posterior, la luz tiende a penetrar a través del agua 302 en mayor medida, aumentando de hecho la atenuación aceptable de la señal a través del trayecto del agua.

60 En particular, en esta realización, en cada iteración de la etapa s6, la irradiancia del haz de luz transmitido tiende a ser según la siguiente fórmula:

$$l_i = (2i - 1)^2 l_1 \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots$$

donde:

i es el índice de iteración, $i = 1, 2, 3, \dots$;

5 I_i es la irradiancia del i ésimo haz de luz;

I_1 es la irradiancia del primer haz 304 de luz.

10 La figura 4 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la transmisión del haz de luz en la iteración ($i = 2$) de la etapa s6.

15 En esta realización, el vehículo 100 transmite el segundo haz de luz (delimitado por flechas sólidas 500) en la dirección del vehículo adicional 300 a través del medio óptico 302. El segundo haz 500 de luz tiene una divergencia de θ_2 , que, en esta realización, es igual a $\theta_1/3$.

Al disminuir la divergencia del haz (desde θ_1 hasta θ_2), se incrementa el rango efectivo del sistema 102 de comunicación óptica.

20 En esta realización, para cubrir la totalidad del área 306 de búsqueda, el segundo haz 500 de luz se escanea siguiendo un patrón indicado en la figura 4 mediante flechas y los números 502 y 504 de referencia, y se describe en mayor detalle a continuación con referencia a la figura 5.

25 La figura 5 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un patrón de escaneo implementado por el sistema 102 de comunicaciones ópticas para escanear el segundo haz 500 de luz sobre el área 306 de búsqueda.

La figura 5 muestra el área 306 de búsqueda desde el punto de vista del vehículo 100. En esta realización, desde el punto de vista del vehículo 100, el área 306 de búsqueda es sustancialmente circular.

30 En esta realización, el área 306 de búsqueda se escanea del modo siguiente.

En primer lugar, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para transmitir un haz de luz en el centro 600 del área 306 de búsqueda. En particular, el transmisor 104 de señales ópticas está centrado con respecto al área 306 de búsqueda.

35 En segundo lugar, después de escanear el centro 600 del área 306 de búsqueda, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para mover su campo de visión hacia el borde del área 306 de búsqueda a través de una distancia angular de $\theta_{1/3}$ (es decir, la divergencia del haz 500 de luz en esta iteración). En particular, el transmisor 104 de señales ópticas está centrado en el punto 602 mostrado en la figura 5. Este movimiento se indica en la figura 5 mediante una flecha recta y el número 502 de referencia.

40 En tercer lugar, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para escanear una parte exterior del área 306 de búsqueda moviendo su campo de visión en un bucle circular alrededor del centro 600. Este movimiento se indica en la figura 5 mediante una flecha y el número 504 de referencia. Por lo tanto, se escanea un anillo que rodea la parte central escaneada.

45 De forma ventajosa, el bucle 504 circular escaneado no se superpone con la parte central escaneada originalmente. Por lo tanto, el escaneo del área 306 de búsqueda tiende a ser eficiente en términos de tiempo y potencia.

50 En esta realización, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para escanear el bucle circular 504 dos veces. Este doble escaneo del bucle circular tiende ventajosamente a facilitar la detección de una señal de retorno por parte del vehículo 100, como se describe en mayor detalle más adelante.

55 En esta realización, las condiciones de comunicación son tales que un detector óptico a bordo del vehículo adicional 300 no recibe suficiente potencia del segundo haz 500 de luz para permitirle detectar el segundo haz 500 de luz. En otras palabras, el segundo haz 500 de luz es atenuado por el agua 302 hasta tal punto que, en efecto, el segundo haz 500 de luz no es recibido por el vehículo adicional 300.

60 Debido a que, en la segunda iteración $i = 2$, el vehículo adicional 300 no detecta el haz de luz transmitido por el vehículo 100, el vehículo adicional 300 no transmite una señal óptica de respuesta hacia el vehículo 100. Por lo tanto, en la segunda iteración de la etapa s8, el procesador 108 determina que no se recibe ninguna señal óptica de respuesta en el detector 106 de señales ópticas, y se realiza una tercera iteración ($i = 3$) de las etapas s4 a s8.

65 La figura 6 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra la transmisión del haz de luz en la iteración ($i = 3$) de la etapa s6.

En esta realización, el vehículo 100 transmite el tercer haz de luz (delimitado por flechas sólidas 700) en la dirección del vehículo adicional 300 a través del medio óptico 302. El tercer haz 700 de luz tiene una divergencia de θ_3 , que, en esta realización, es igual a $\theta_1/5$.

5 Al disminuir la divergencia del haz (desde θ_2 hasta θ_3), se incrementa el rango efectivo del sistema 102 de comunicación óptica.

10 En esta realización, para cubrir la totalidad del área 306 de búsqueda, el tercer haz 700 de luz se escanea siguiendo un patrón indicado en la figura 6 mediante flechas y los números 702-708 de referencia, y se describe en mayor detalle a continuación con referencia a la figura 7.

15 La figura 7 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un patrón de escaneo implementado por el sistema 102 de comunicaciones ópticas para escanear el tercer haz 700 de luz sobre el área 306 de búsqueda. La figura 7 muestra el área 306 de búsqueda desde el punto de vista del vehículo 100.

En esta realización, el área 306 de búsqueda se escanea del modo siguiente.

20 En primer lugar, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para transmitir el tercer haz 700 de luz en el centro 600 del área 306 de búsqueda. En particular, el transmisor 104 de señales ópticas está centrado con respecto al área 306 de búsqueda.

25 En segundo lugar, después de escanear el centro 600 del área 306 de búsqueda, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para mover su campo de visión hacia el borde del área 306 de búsqueda a través de una distancia angular de $\theta_1/5$ (es decir, la divergencia del haz 500 de luz en esta iteración). Este movimiento se indica en la figura 7 mediante una flecha recta y el número 702 de referencia. El transmisor 104 de señales ópticas está centrado en el punto 710 mostrado en la figura 7.

30 En tercer lugar, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para escanear una parte anular del área 306 de búsqueda moviendo su campo de visión en un bucle circular alrededor del centro 600, manteniendo la separación entre el centro 600 y el haz de luz transmitido. Este movimiento se indica en la figura 7 mediante una flecha y el número 704 de referencia. Por lo tanto, se escanea un anillo que rodea la parte central escaneada. De forma ventajosa, este bucle 704 circular escaneado no se superpone con la parte central escaneada originalmente. Por lo tanto, el escaneo del área 306 de búsqueda tiende a ser eficiente en términos de tiempo y potencia.

35 En esta realización, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para escanear el bucle circular 704 dos veces.

40 A continuación, después de escanear el bucle circular 704, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para mover su campo de visión hacia el borde del área 306 de búsqueda a través de una distancia angular de $\theta_1/5$ (es decir, la divergencia del haz 500 de luz en esta iteración). Este movimiento se indica en la figura 7 mediante una flecha recta y el número 706 de referencia. El transmisor 104 de señales ópticas está centrado en el punto 712 mostrado en la figura 7.

45 Por último, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para escanear una parte anular exterior del área 306 de búsqueda moviendo su campo de visión en un bucle circular alrededor del centro 600, manteniendo la separación entre el centro 600 y el haz de luz transmitido. Este movimiento se indica en la figura 7 mediante una flecha y el número 708 de referencia. Por lo tanto, se escanea un anillo que rodea la parte central escaneada y el bucle circular 704. De forma ventajosa, este bucle 704 circular escaneado no se superpone con la parte central escaneada originalmente o con el bucle 704 circular escaneado. Por lo tanto, el escaneo del área 306 de búsqueda tiende a ser eficiente en términos de tiempo y potencia.

50 En esta realización, el procesador 108 controla el transmisor 104 de señales ópticas para escanear el bucle circular 708 dos veces.

55 Más generalmente, la relación entre el número de iteraciones y el número de bucles circulares concéntricos que se van a escanear viene dada por la siguiente fórmula:

$$N_i = i - 1, \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots$$

60 donde N_i es el número de bucles circulares concéntricos a escanear en la i ésima iteración de las etapas s4 a s8. Por lo tanto, por ejemplo, en la segunda iteración, $i = 2$, existe un bucle escaneado 504 alrededor de la parte central del área 306 de búsqueda. También, en la tercera iteración, $i = 3$, existen dos bucles 704, 708 escaneados alrededor de la parte central del área 306 de búsqueda.

También, la relación entre el número de iteración y los radios de los bucles circulares concéntricos que se van a escanear viene dada por la siguiente fórmula:

$$r_i = \frac{k}{2i - 1} \theta_i, \text{ para } k = 0, \dots, i$$

5 donde r_i es el radio (es decir, una distancia entre el centro del área 306 de búsqueda y el centro del campo de visión del transmisor 104 de señales ópticas) de un bucle en la i -ésima iteración de las etapas s4 a s8. Por lo tanto, por ejemplo, en la segunda iteración, $i = 2$, el radio del bucle escaneado 504 alrededor del centro 600 del área 306 de búsqueda es $\theta_1/3$. También, en la tercera iteración, $i = 3$, los radios de los dos bucles 704, 708 son $\theta_1/5$ y $2\theta_1/5$, respectivamente.

10 Debe observarse que las figuras 5 y 7 muestran el plano del patrón de escaneo y, para crear el patrón de escaneo mostrado en las figuras, se cambia el ángulo de apuntamiento del transmisor 104 de señales ópticas, donde el ángulo de apuntamiento define la dirección del escaneo.

15 En esta realización, las condiciones de comunicación y el aumento de la irradiancia del tercer haz 700 son tales que un detector óptico a bordo del vehículo adicional 300 recibe suficiente energía del tercer haz 700 de luz para permitirle detectar el tercer haz 700 de luz.

20 Como se muestra en la figura 8, en esta realización, el vehículo adicional 300 detecta el tercer haz 700 de luz transmitido por el vehículo 100. Un procesador del vehículo adicional 300 determina entonces una ubicación del vehículo 100 utilizando el tercer haz 700 de luz medido. El vehículo adicional 300 utiliza entonces la ubicación determinada para transmitir un haz 900 de luz de respuesta de vuelta hacia el vehículo 100.

25 En esta realización, cuando el tercer haz 700 del vehículo 100 escanea el detector óptico del otro vehículo 300 con suficiente irradiancia, hay un tiempo finito antes de que el vehículo adicional 300 pueda dirigir un haz de luz de respuesta de vuelta hacia el vehículo 100. Para cuando el vehículo adicional 300 haga esto, el vehículo 100 puede haber alejado el tercer haz 700 de luz del vehículo adicional 300. Por lo tanto, el haz de luz de respuesta del vehículo adicional 300 puede estar fuera del campo de visión del detector 106 de señales ópticas del vehículo 100. En esta realización, como se describió anteriormente, en las iteraciones $i = 2, 3$, etc., el área 306 de búsqueda se escanea en una secuencia de bucles circulares concéntricos no superpuestos (p. ej., los bucles 504, 704, 708). Cada uno de estos bucles se repite dos veces. Por lo tanto, de forma ventajosa, si el campo de visión del detector 106 de señales ópticas se aleja del haz de luz de respuesta del vehículo adicional 300 en la primera ejecución de un bucle de escaneo, el detector 106 de señales ópticas se dirige hacia el haz de luz de respuesta del vehículo adicional 300 en la segunda ejecución de ese bucle de escaneo.

35 Por lo tanto, la señal óptica de respuesta tiende a ser recibida por el vehículo 100.

Por lo tanto, en la tercera iteración de la etapa s8, el procesador 108 determina que se recibe una señal óptica de respuesta en el detector 106 de señales ópticas.

40 Volviendo ahora a la descripción de la figura 2, en respuesta a que el procesador 108 determine que se recibe una señal óptica de respuesta en el detector 106 de señales ópticas en alguna iteración de la etapa s8, el método pasa a la etapa s12.

45 En la etapa s12, el procesador 108 detiene el escaneo del área 306 de búsqueda por el transmisor 104 de señales ópticas.

50 En la etapa s14, el procesador 108 determina una ubicación del vehículo adicional 300 utilizando el haz 900 de luz de respuesta medido. El sistema 100 de comunicación FSO puede transmitir una señal de ubicación en forma de una señal óptica y/o una señal acústica para permitir que el vehículo adicional 300 identifique la posición del sistema de comunicación FSO y maniobre hasta una posición en donde pueda tener lugar una comunicación efectiva. La señal de localización puede actuar como una baliza y puede realizar la identificación de amigo-enemigo (IFF, por sus siglas en inglés) para que el sistema 100 de comunicación FSO pueda evitar una adquisición desconocida o una adquisición no deseada conocida. El procesador 108 utiliza entonces la ubicación determinada del vehículo adicional 300 para transmitir una señal óptica de comunicación al vehículo adicional.

55 La figura 9 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra las señales ópticas 900, 902 de comunicación que se transmiten entre los vehículos 100, 300.

60 Por lo tanto, se proporciona un enlace de comunicación bidireccional entre los dos vehículos 100, 300.

En esta realización, se lleva a cabo un proceso de seguimiento para alinear activamente los haces 900, 902 de luz durante la transferencia de datos entre los vehículos 100, 300.

Por lo tanto, se proporciona un proceso de comunicaciones ópticas entre vehículos sumergibles en un entorno submarino.

De forma ventajosa, el método y el aparato descritos anteriormente permiten que uno o más nodos de un sistema de comunicaciones ópticas adquieran eficiente y firmemente la ubicación de uno o más nodos diferentes en un período de tiempo relativamente corto.

5 El sistema y el método descritos anteriormente tienden a facilitar la adquisición de un enlace de datos entre dos nodos.

10 El sistema y el método descritos anteriormente son particularmente útiles en entornos en los que se desconocen ciertos parámetros (que incluyen, por ejemplo, el rango entre los nodos, la turbidez del medio óptico, las ubicaciones de los nodos, etc.).

15 Cabe señalar que algunas de las etapas de proceso representadas en el diagrama de flujo de la Figura 2 y descritas anteriormente pueden omitirse o tales etapas de proceso pueden realizarse en un orden diferente al presentado anteriormente y que se muestra en la Figura 2. Además, aunque todas las etapas de proceso se han representado, por motivos de conveniencia y facilidad de comprensión, como etapas discretas y temporalmente secuenciales, no obstante, algunas de las etapas de proceso pueden de hecho realizarse simultáneamente o al menos superponerse en cierta medida temporalmente.

20 En las realizaciones anteriores, el sistema de comunicación óptica se implementa a bordo de un vehículo sumergible no tripulado. También, las comunicaciones ópticas se realizan entre dos vehículos acuáticos sumergibles. Sin embargo, en otras realizaciones, el sistema de comunicación óptica se implementa en una entidad diferente, tal como un edificio, un nodo de sensor submarino estático o un tipo diferente de vehículo, tal como un vehículo sumergible tripulado, un vehículo terrestre, o una aeronave. En algunas realizaciones, las comunicaciones ópticas se realizan entre un número diferente de entidades, tal como más de dos entidades. También, las comunicaciones ópticas pueden realizarse a través de más de un tipo de medio óptico, tal como a través del aire y el agua, p. ej., si solo una de las entidades está bajo el agua mientras que la otra no está bajo el agua.

25 En las realizaciones anteriores, el transmisor de señales ópticas y el detector de señales ópticas se pueden dirigir mecánicamente. Sin embargo, en otras realizaciones, uno o ambos del transmisor y el detector se pueden dirigir electrónicamente. En algunas realizaciones, uno o ambos del transmisor y el detector no se pueden dirigir con respecto al vehículo. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el transmisor de señales ópticas y el detector de señales ópticas están fijos con respecto al vehículo, y el vehículo se mueve para variar las direcciones de los campos de visión del transmisor y el detector.

30 En las realizaciones anteriores, el haz de luz no se escanea durante una primera iteración de las etapas s4 a s8. Sin embargo, en otras realizaciones, por ejemplo, en las realizaciones en las que el área de búsqueda es mayor que la divergencia máxima del haz, el primer haz de luz se escanea sobre un área. En algunas realizaciones, la primera iteración de las etapas s4 a s8 puede, en efecto, omitirse, y el método puede comenzar con la iteración número 2 o superior.

35 En las realizaciones anteriores, los bucles en los que se mueve el transmisor de señales ópticas al escanear el área de búsqueda son sustancialmente circulares. También, cada bucle se sigue dos veces. Sin embargo, en otras realizaciones, uno o más de los bucles tienen una forma diferente, es decir, no son circulares. También, en algunas realizaciones, uno o más de los bucles se escanean un número diferente de veces, p. ej., una vez (p. ej., si el vehículo está equipado con un sensor de AoA que tiene un campo de visión amplio) o más de dos veces.

40 En las realizaciones anteriores, la divergencia de un haz transmitido varía con el fin de establecer un enlace de comunicaciones entre el vehículo y el vehículo adicional. Sin embargo, en otra realización, la divergencia del haz puede variarse para un propósito diferente, por ejemplo, para la transferencia de datos una vez establecido el enlace de comunicaciones.

45 Lo que se describirá ahora es una realización adicional de un sistema de comunicaciones ópticas que transmite haces ópticos de amplia divergencia para establecer o adquirir un enlace de comunicaciones con una entidad diferente, y que a continuación transmite un haz de divergencia estrecho para la transferencia de datos hacia y/o desde esa entidad.

50 La figura 10 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra una realización de un sistema 910 de comunicaciones ópticas.

55 En esta realización, el sistema 910 de comunicaciones ópticas está sumergido en agua 302, que puede ser agua de mar. El sistema 910 de comunicaciones ópticas se fija a una superficie 911, que puede ser, por ejemplo, un fondo marino.

60 El sistema 910 de comunicaciones ópticas comprende tres subsistemas, especialmente, un subsistema central 912 y otros dos subsistemas 914 situados en lados opuestos del subsistema central 912.

65 En esta realización, el sistema 910 de comunicaciones ópticas comprende además uno o más detectores ópticos (no se muestran) para detectar señales ópticas incidentes. Por ejemplo, los módulos de transmisión y recepción pueden combinarse en un único módulo, proporcionando de este modo un sistema de tamaño reducido. Por ejemplo, en

5 algunas realizaciones, una fuente de luz está ubicada en el centro de uno o más (p. ej., cada uno) de los elementos detectores ópticos. Esta fuente de luz puede ser, por ejemplo, un LED, un diodo láser, un VCSEL (láser emisor de superficie de cavidad vertical), o una fibra óptica acoplada a un láser, un LED o un VCSEL. En algunas realizaciones, una fuente de luz está ubicada entre los detectores ópticos. Esto tiende a reducir el impacto de añadir una fuente de luz al elemento detector. Sin embargo, en algunas realizaciones, el sistema 910 de comunicaciones ópticas no incluye un detector óptico y, por ejemplo, puede utilizarse junto con un módulo de recepción independiente.

10 En esta realización, el subsistema central 912 comprende una matriz de transmisores 916 de señales ópticas, una primera lente 918, y una lente fluidica 920. La matriz de transmisores 916 de señales ópticas comprende una pluralidad de transmisores ópticos que pueden controlarse, p. ej., mediante un equipo de control (no se muestra) acoplado a la matriz 916, para dirigir electrónicamente un haz de luz transmitido por la matriz 916. En la figura 10 se muestran tres ejemplos de haces de luz dirigidos transmitidos por la matriz 916, delimitados por los respectivos pares de líneas punteadas e indicados por los números 922a, 922b y 922c de referencia, respectivamente. En esta realización, la matriz de transmisores ópticos 916 está dispuesta para transmitir señales ópticas 922a-c a la primera lente 918. La primera lente 918 enfoca las señales ópticas 922a-c sobre la lente fluidica 920, desde la cual las señales ópticas 922a-c se emiten al agua 302.

20 En esta realización, cada uno de los subsistemas 914 adicionales comprende un transmisor 924 de señales ópticas respectivo y una lente respectiva 926. Para cada subsistema 914 adicional, el transmisor óptico 924 de ese subsistema 914 está dispuesto para transmitir las respectivas señales ópticas 928 a la lente 926 de ese subsistema 914, desde la cual esas señales ópticas 928 se emiten al agua 302.

25 En otras realizaciones, el sistema 910 de comunicaciones ópticas comprende un número diferente de subsistemas, p. ej., más de tres. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el sistema de comunicaciones ópticas comprende un subsistema central y una pluralidad (p. ej., 6) de subsistemas adicionales dispuestos alrededor de la periferia del subsistema central, cada subsistema adicional orientado en una dirección respectiva diferente. En algunas realizaciones, múltiples subsistemas comprenden lentes fluidicas.

30 El sistema 910 de comunicaciones ópticas se muestra en la figura 10 realizando un proceso de adquisición de un enlace de comunicaciones con el vehículo adicional 300. Durante la realización de este proceso de adquisición de un enlace de comunicaciones, la lente fluidica 920 se controla de tal modo que la divergencia del haz transmitido 922a-c sea relativamente grande (p. ej., mayor o igual a 50° , p. ej., de 50° a 60°). Por ejemplo, la lente fluidica 920 puede controlarse de modo que la divergencia del haz de una señal óptica 922a-c transmitida por el subsistema central 912 sea una divergencia del haz máxima alcanzable.

35 También, las lentes 926 se configuran de tal modo que las divergencias de los haces 928 de luz transmitidos por los subsistemas adicionales 914 sean relativamente grandes (p. ej., mayores o iguales a 50° , p. ej., de 50° a 60°).

40 Durante el proceso de adquisición de un enlace de comunicaciones, los haces 922a-c 928 de luz transmitidos pueden ser, por ejemplo, haces de onda continua (CW, por sus siglas en inglés), haces modulados en corriente alterna (CA), señales ópticas de baja velocidad de datos para realizar un proceso de identificación de amigo o enemigo (IFF, por sus siglas en inglés), o una combinación de los mismos.

45 En esta realización, cada uno de los subsistemas 912, 914 tiene una cara diferente respectiva. En otras palabras, el subsistema central 912 y cada uno de los subsistemas adicionales 914 se configuran para transmitir señales ópticas al agua 302 en una dirección diferente.

50 De forma ventajosa, la transmisión de haces de luz de amplia divergencia en una pluralidad de direcciones diferentes por el sistema 910 de comunicaciones ópticas tiende a aumentar la probabilidad de que el vehículo adicional 300 reciba una señal óptica.

55 Después de recibir un haz de luz de amplia divergencia transmitido por el sistema 910 de comunicaciones ópticas, el vehículo adicional 300 transmite una señal óptica de respuesta al sistema 910 de comunicaciones ópticas. El sistema 910 de comunicaciones ópticas recibe la señal óptica de respuesta del vehículo adicional 300 y realiza el seguimiento y la comunicación, por ejemplo, como se describió en mayor detalle anteriormente con referencia a la etapa s14.

La figura 11 es una ilustración esquemática (no a escala) que muestra un sistema 910 de comunicaciones ópticas y que se comunica con el vehículo adicional 300.

60 En esta realización, el sistema 910 de comunicaciones ópticas determina la ubicación relativa del vehículo adicional 300 utilizando la señal óptica de respuesta recibida del vehículo adicional. La matriz 916 se controla entonces (p. ej., mediante el equipo de control) para transmitir una señal óptica 930 adicional al vehículo adicional 300. En esta realización, la señal óptica 930 adicional codifica los datos que se están transfiriendo (por ejemplo, a una velocidad mayor en comparación con la transferencia de cualquier dato que se produzca durante el proceso de adquisición de comunicación mostrado en la figura 10) entre el sistema 910 de comunicaciones ópticas y el vehículo adicional 300.

La señal óptica 930 adicional tiene un nivel de señal más alto que las señales ópticas 922a-c, 928 transmitidas durante el proceso de adquisición de comunicación mostrado en la figura 10.

5 En esta realización, la matriz 916 se controla (p. ej., mediante el equipo de control) de modo que la señal óptica 930 adicional se dirija electrónicamente hacia el vehículo adicional 300.

10 También, la lente fluídica 920 se controla (p. ej., mediante el equipo de control) de modo que la señal óptica 930 adicional tenga una divergencia de haz relativamente estrecha en comparación con las divergencias del haz 922a-c, 928 transmitidas durante el proceso de adquisición de comunicación mostrado en la figura 10. La señal óptica 930 adicional también puede tener una irradiancia aumentada en comparación con las irradiancias del haz 922a-c, 928 transmitidas durante el proceso de adquisición de la comunicación. En algunas realizaciones, la divergencia del haz y/o la irradiancia de la señal óptica 930 adicional se determinan (p. ej., se optimizan) basado en la determinación de la distancia entre el sistema 910 de comunicaciones ópticas y el vehículo adicional 300.

15 Por lo tanto, se proporciona una realización adicional de un sistema de comunicaciones ópticas.

20 De forma ventajosa, se proporciona un sistema de transmisión inteligente que utiliza la dirección electrónica del haz para la adquisición, el seguimiento y la transferencia de datos. Los haces de amplia divergencia se transmiten durante la fase de adquisición (con IFF opcional), que después se cambian a haces más estrechos para la transferencia principal de información. Esto tiende de forma ventajosa a reducir la potencia utilizada para transmitir a una velocidad de datos establecida. También, la transferencia de datos tiende a ser más encubierta.

25 En algunas realizaciones, el sistema 910 de comunicaciones ópticas comprende un módulo mecánico de dirección del haz, por ejemplo, una unidad de giro e inclinación, en lugar de o además de los medios electrónicos de dirección del haz.

30 En algunas realizaciones, el sistema 910 de comunicaciones ópticas comprende un tipo diferente de medios para variar la divergencia de un haz de luz transmitido en lugar de o además de la lente fluídica. Por ejemplo, el sistema 910 de comunicaciones ópticas puede comprender una lente de traducción, una lente de zoom, una lente de cristal líquido programable o una lente holográfica programable (tal como un elemento de Bragg conmutable o una Digilens).

35 En las realizaciones anteriores, el sistema de comunicaciones ópticas comprende medios para variar la divergencia del haz. Sin embargo, en otras realizaciones, el transmisor óptico no se configura para variar selectivamente la divergencia de un haz. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el sistema de comunicaciones ópticas comprende una pluralidad de transmisores de señales ópticas, cada uno de los cuales se configura para producir un haz que tiene una divergencia e irradiancia diferentes.

En las realizaciones anteriores, el vehículo ilumina el área de búsqueda con haces que tienen una divergencia de haz que disminuye sucesivamente y, por lo tanto, que aumenta sucesivamente la irradiancia. Sin embargo, en otras realizaciones, el vehículo ilumina el área de búsqueda de un modo diferente.

REIVINDICACIONES

1. Un método para transmitir una señal óptica mediante un sistema de comunicación óptica por espacio libre (FSO), comprendiendo el método:
 - 5 transmitir, mediante un transmisor (104) de señales ópticas, una primera señal óptica hacia un vehículo (300) presente dentro de un volumen de agua (302), de tal modo que la señal óptica cubra un área de búsqueda determinada en el volumen de agua (302); y
 - 10 en respuesta a no recibir una señal óptica incidente desde el vehículo (300) después de transmitir la primera señal óptica;
 - transmitir, mediante el transmisor (104) de señales ópticas, una segunda señal óptica al volumen de agua (302), teniendo la segunda señal óptica una divergencia de haz más reducida que la primera señal óptica; y
 - 15 controlar, mediante un equipo de control, el transmisor (104) de señales ópticas, para escanear el volumen de agua (302) utilizando la segunda señal óptica que tiene la divergencia del segundo haz en una secuencia de bucles (704, 708) cerrados no superpuestos, en donde cada una de las secuencias de bucles (704, 708) cerrados no superpuestos se cruza a sí misma al menos una vez.
2. Un método según la reivindicación 1, en donde la secuencia de bucles no superpuestos es una secuencia de bucles concéntricos no superpuestos.
3. Un método según las reivindicaciones 1 o 2, en donde la etapa de control comprende controlar el transmisor de señales ópticas para escanear la al menos una parte del volumen de agua repitiendo al menos dos veces al menos parte de uno o más de los bucles cerrados no superpuestos.
4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde transmitir la señal óptica comprende:
 - 30 generar una señal óptica;
 - modificar una divergencia y una irradiancia de la señal óptica generada de tal modo que al menos una de la divergencia y la irradiancia sea igual a un valor preseleccionado; y
 - transmitir la señal óptica modificada.
5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, comprendiendo además el método:
 - 35 en respuesta a la transmisión de la primera o la segunda señal óptica a al menos parte del volumen de agua, recibir, mediante un detector de señales ópticas, una señal óptica de respuesta; y
 - determinar, utilizando mediciones de la señal óptica de respuesta por el detector de señales ópticas, mediante uno o más procesadores, una ubicación de una fuente de la señal óptica de respuesta.
6. Un método según la reivindicación 5, en donde un campo de visión del transmisor de señales ópticas se dirige en la misma dirección que el campo de visión del detector de señales ópticas.
7. Un método según la reivindicación 6, en donde el sistema de comunicación FSO transmite una señal de ubicación, en donde la señal de ubicación al menos funciona para permitir que la fuente de la señal óptica de respuesta identifique la posición del sistema de comunicación FSO
8. Un método según la reivindicación 7, en donde la señal de localización se transmite en la misma dirección que el campo de visión del detector de señales ópticas.
9. Un sistema de comunicación óptica por espacio libre, FSO, que comprende:
 - 55 un transmisor (104) de señales ópticas configurado para transmitir una primera señal óptica hacia un vehículo (300) dentro de un volumen de agua (302), de tal modo que la señal óptica cubra un área de búsqueda determinada en el volumen de agua (302); y
 - un procesador configurado para determinar si un detector de señales ópticas ha recibido una señal óptica incidente del vehículo (300) después de transmitir la primera señal óptica; y en respuesta a no recibir una señal óptica incidente;
 - 60 el transmisor (104) de señales ópticas configurado para transmitir una segunda señal óptica al volumen de agua (302), teniendo la segunda señal óptica una divergencia más reducida que la primera señal óptica; y,
 - un equipo de control configurado para controlar el transmisor (104) de señales ópticas para escanear el volumen de agua (302) utilizando la segunda señal óptica que tiene la divergencia del segundo haz en una secuencia de bucles (704, 708) cerrados no superpuestos, en donde cada una de las secuencias de bucles (704, 708) cerrados no superpuestos se cruza a sí misma al menos una vez.
10. Un sistema de comunicación FSO según la reivindicación 9, en donde:

la secuencia de bucles no superpuestos es una secuencia de bucles circulares concéntricos no superpuestos; y
el equipo de control se configura además para escanear la al menos parte del volumen de agua repitiendo al menos parte de uno o más de los bucles al menos dos veces.

- 5
11. Un sistema de comunicación FSO según las reivindicaciones 9 o 10, que comprende además:
- 10 un detector de señales ópticas configurado para, en respuesta al primer o segundo transmisor de señales ópticas que transmiten la señal óptica al volumen de agua, recibir una señal óptica de respuesta; y
uno o más procesadores configurados para determinar, utilizando mediciones de la señal óptica de respuesta por parte del detector de señal óptica, una ubicación de una fuente de la señal óptica de respuesta; en donde
- 15 un campo de visión del transmisor de señales ópticas se dirige en una misma dirección que el campo de visión del detector de señales ópticas.
12. Un vehículo (100) que comprende un sistema de comunicación FSO según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en donde el vehículo es un vehículo sumergible.

Figura 1

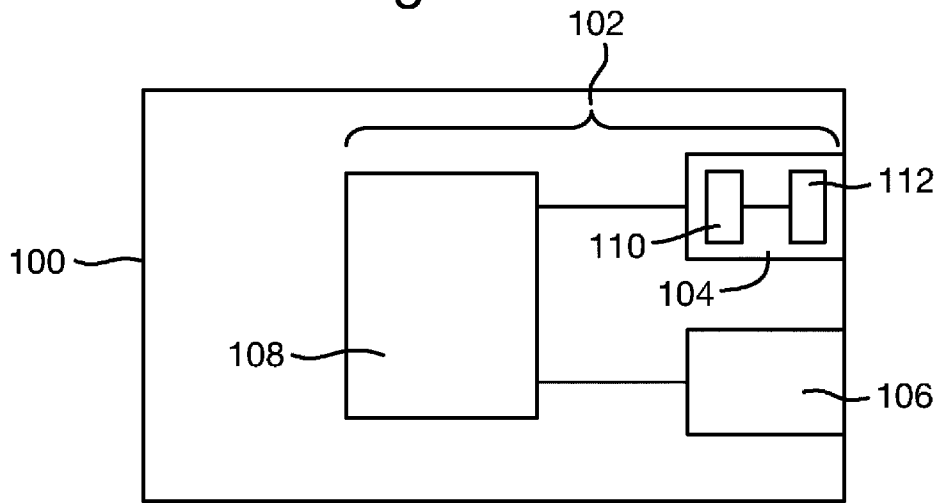


Figura 2

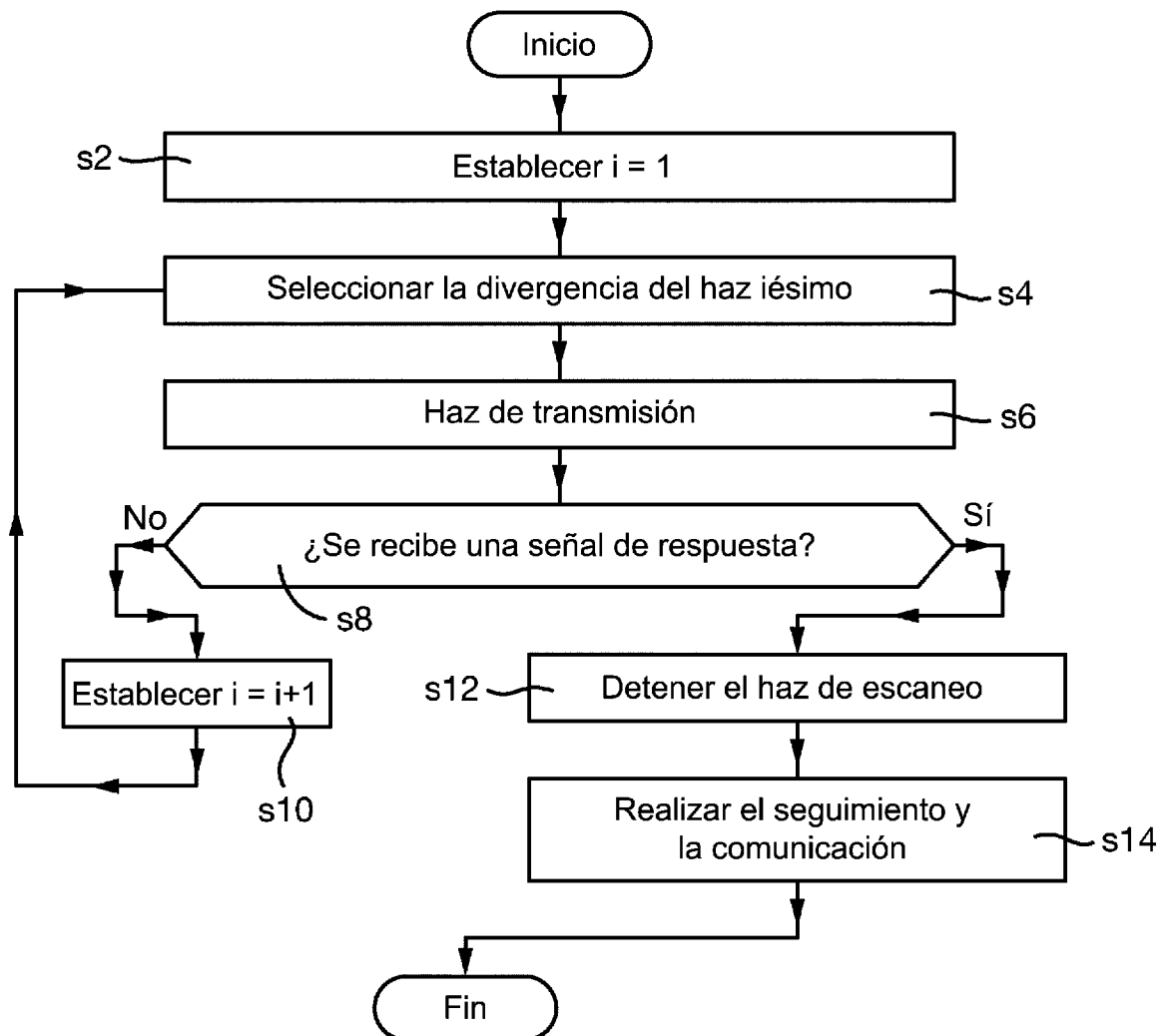


Figura 3

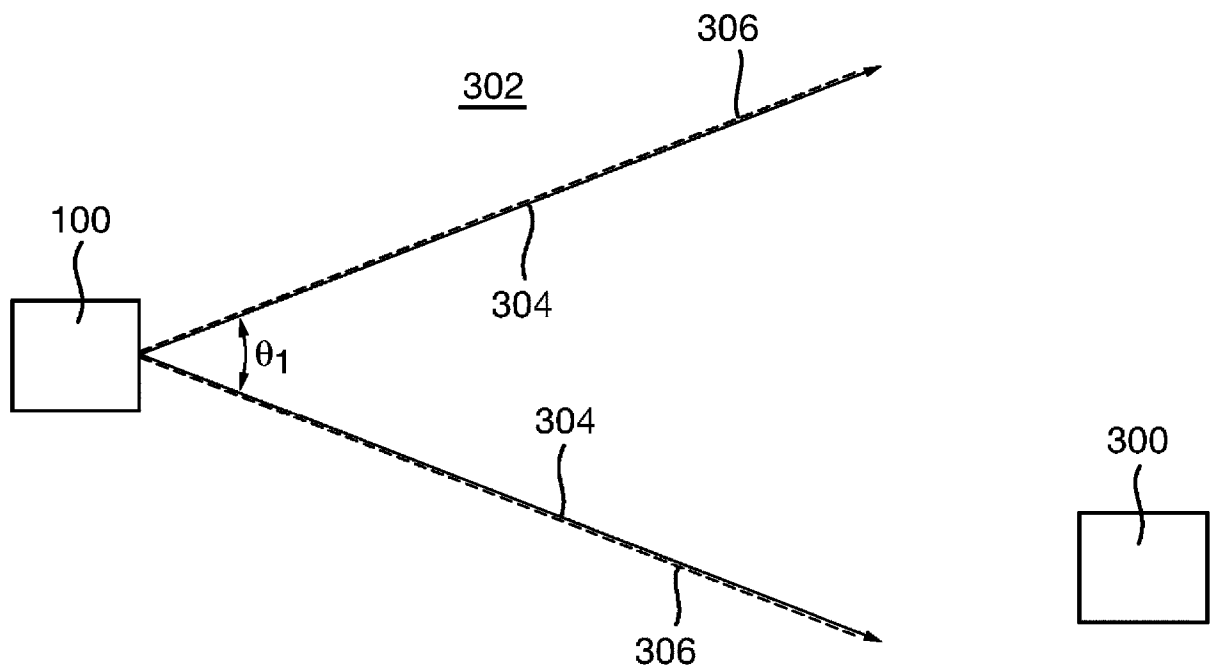


Figura 4

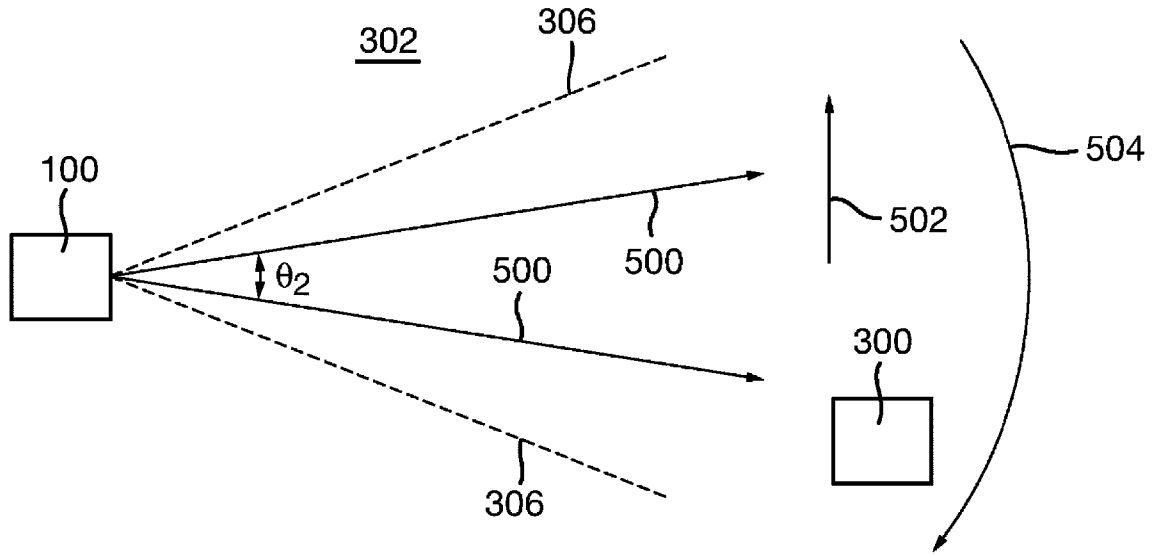


Figura 5

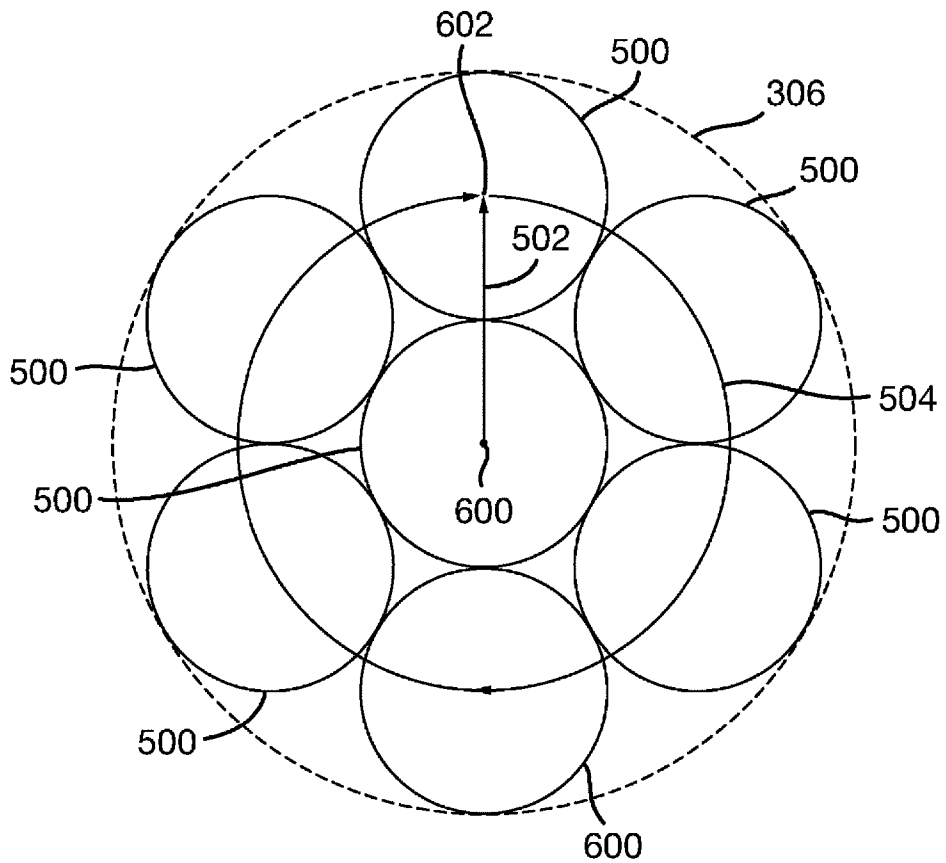


Figura 6



Figura 7

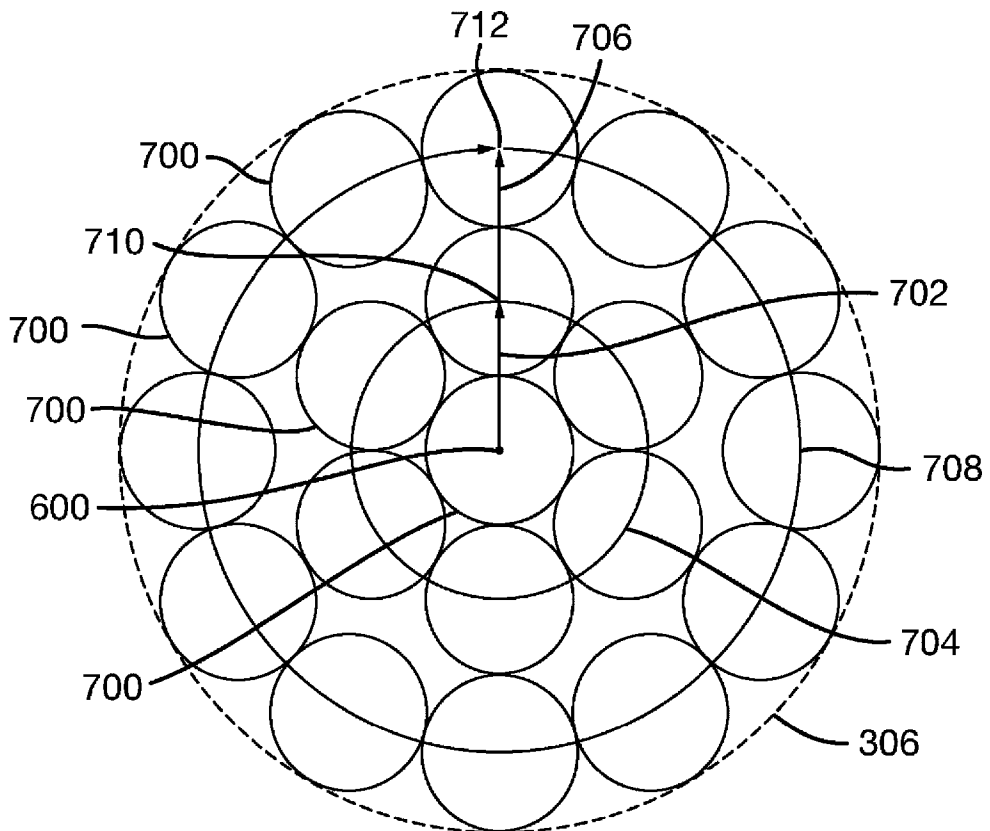


Figura 8

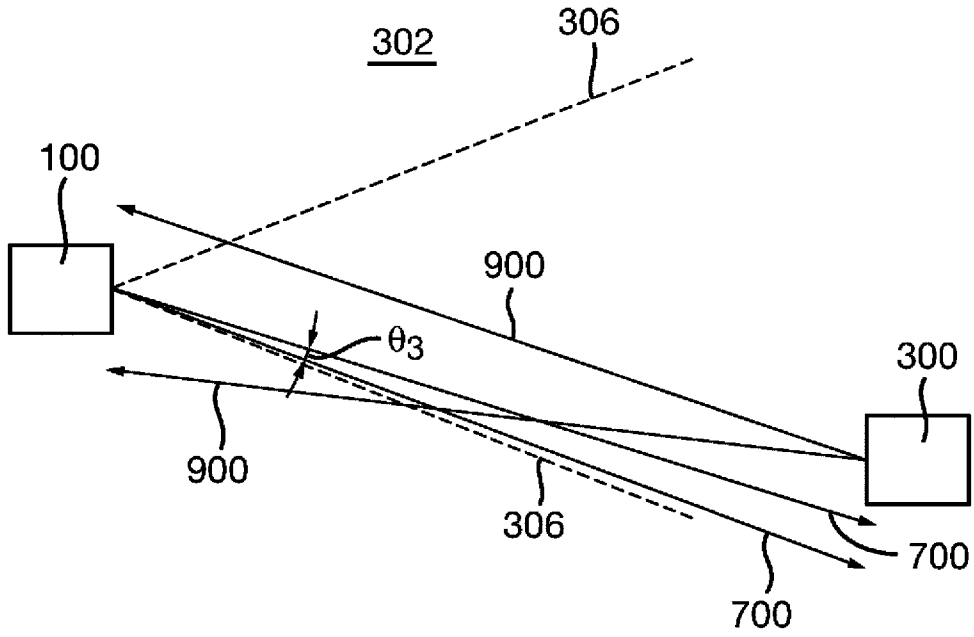


Figura 9

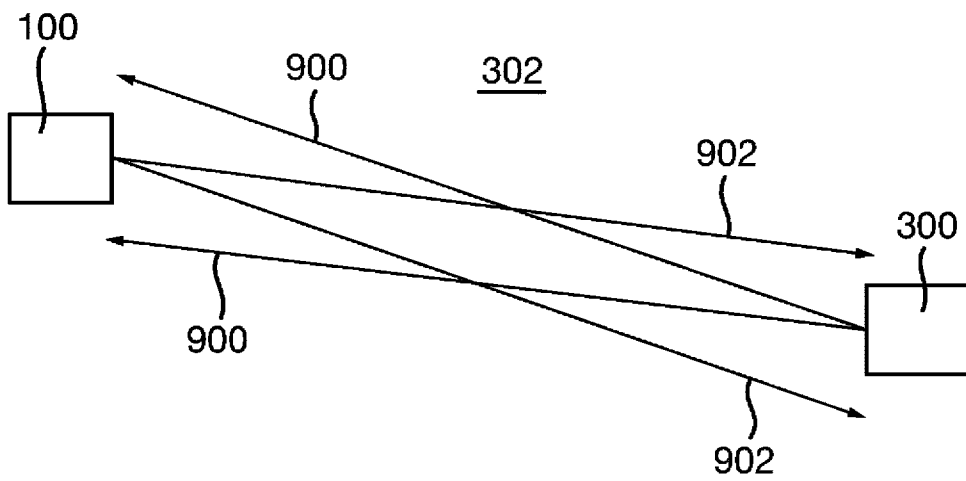


Figura 10

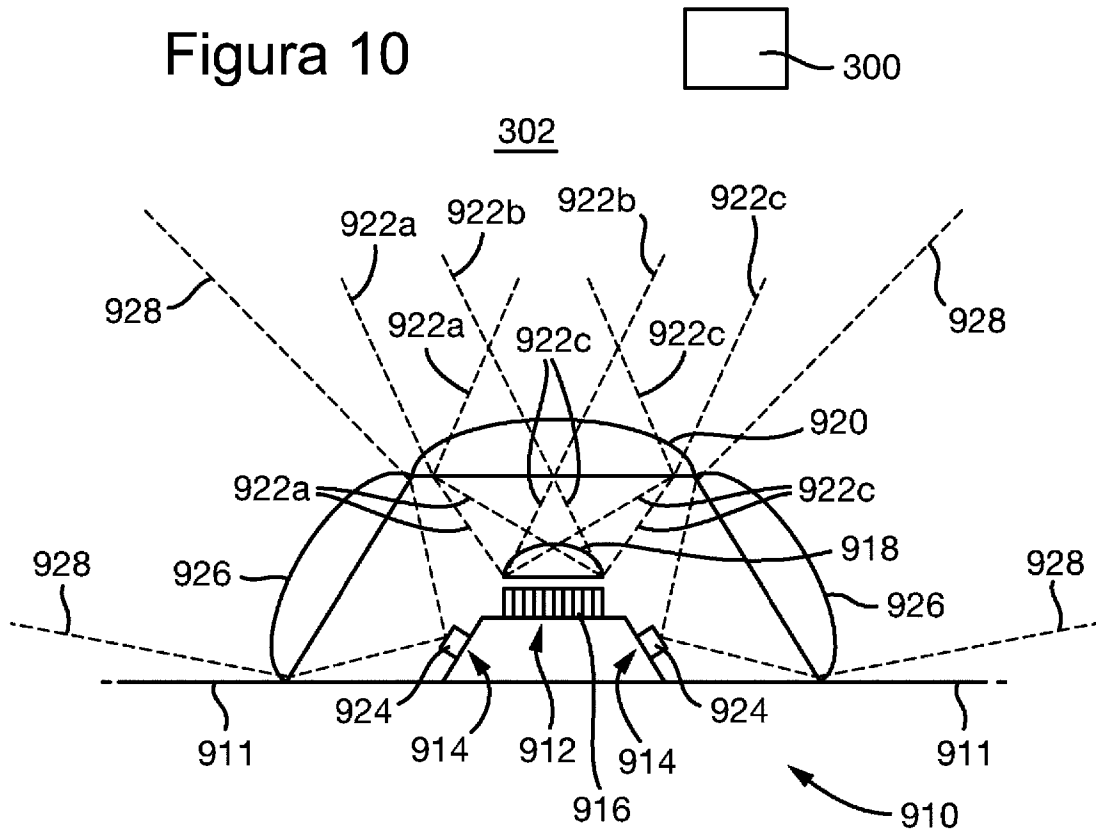


Figura 11

