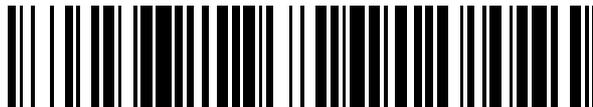


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 370 471**

51 Int. Cl.:
G01S 7/481 (2006.01)
G01S 7/497 (2006.01)
G01S 17/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **10001507 .2**
96 Fecha de presentación: **06.11.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2187232**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.05.2010**

54 Título: **SISTEMA DE DETECCIÓN DE LUZ Y DE DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA.**

30 Prioridad:
14.11.2007 US 940011

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.12.2011

73 Titular/es:
ROSEMOUNT AEROSPACE INC.
14300 JUDICIAL ROAD
BURNSVILLE, MN 55306, US

72 Inventor/es:
Ray, Mark D.;
Swenson, James W. y
Meneely, Clinton T.

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 370 471 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

Sistema de detección de luz y de determinación de la distancia

Antecedentes

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para determinar una distancia a una diana. Encuentra aplicación particular en conjunción con un sistema de detección de luz y de determinación de la distancia (LIDAR) y se describirá con referencia particular al mismo. Se apreciará, sin embargo, que la invención también es válida para otras aplicaciones.

10 Un sistema de detección de luz y de determinación de la distancia (LIDAR) transmite un impulso de luz (por ejemplo, desde un láser) que se refleja en una diana. Un receptor óptico detecta la luz reflejada y se calcula la distancia hasta la diana a partir del tiempo de retraso entre la transmisión del impulso de luz y la detección de la luz reflejada. El campo de visión del receptor y el haz de luz transmitida habitualmente concuerdan y están co-alineados para asegurar una máxima eficacia en la recogida de la luz. Si el LIDAR contiene un escáner óptico rápido (tal como un espejo que se mueve rápidamente), es posible que el campo de visión del receptor pierda el alineamiento con respecto al rayo de luz proyectado. Dicha pérdida de alineamiento viene provocada por un cambio en la dirección de puntería que se produce durante el tiempo necesario para que el impulso de luz viaje hasta la diana, se refleje y vuelva de nuevo hasta el receptor. La extensión de este desalineamiento es un "desfase angular" que depende de la velocidad del escáner y de la distancia a la diana. Para una exploración LIDAR que esté "limitada por la difracción" (es decir, la divergencia del rayo de luz está solamente limitada por la longitud de onda en el diámetro del rayo en la abertura de salida del LIDAR), la velocidad angular del escáner ω_x (medida en radianes/segundo) para la cual el desfase angular es la mitad de rayo de luz transmitido la divergencia es:

$$\omega_{1/2} = \dot{\theta} = \frac{0,5 \cdot \lambda \cdot c}{2 \cdot D \cdot R},$$

en la que λ es la longitud de onda de la luz transmitida (en metros)

c es la velocidad de la luz (~ 3 x 10⁸ m/segundo)

D es el diámetro del rayo de luz transmitido en la abertura de salida del LIDAR (en metros) y

25 R es la distancia hasta la diana (en metros).

Si el campo de visión del receptor está inicialmente alineado con un cono de iluminación de luz transmitida, la señal recibida se reduce por el desfase angular. El efecto empeora en distancias mayores y a medida que aumenta la velocidad del escáner.

30 Si el sistema LIDAR no está limitado por la difracción y la divergencia del rayo transmitido es en cambio Δ , entonces la fórmula anterior se convierte en:

$$\omega_{1/2} = \dot{\theta} = \frac{0,5 \cdot \Delta \cdot c}{2 \cdot R}.$$

35 por ejemplo, si la divergencia del rayo es 2 miliradianes (mrad) la distancia de una diana es 3 km, la velocidad angular a la cual el desfase angular es la mitad de la anchura del rayo del transmisor es 50 radianes / segundo, o 480 revoluciones / minuto (rpm). En este caso el campo de visión del receptor coincide con la divergencia del rayo de luz transmitido, el desfase angular es todavía lo suficientemente pequeño para que el receptor óptico detecte alguna pequeña cantidad de luz dispersada desde la diana, pero para velocidades del escáner superiores a 960 rpm, el efecto del desfase angular provoca que el campo de visión del receptor pierda u oscurezca completamente la señal a partir de 3 km en adelante. La condición para este oscurecimiento completo es:

$$\omega_{\text{obscure}} = \dot{\theta} = \frac{\Delta \cdot c}{2 \cdot R}.$$

40 Todos los sistemas LIDAR, bien sean de exploración o fijos, a menudo deben enfrentarse con otro intervalo dinámico

de gran emisión de señales. El intervalo dinámico de señales es la relación de la intensidad de la señal de luz máxima detectable (es decir, la saturación del detector) con respecto a la intensidad de la señal de luz mínima detectable. La señal detectada disminuye rápidamente con el aumento de la distancia a la diana. Por lo tanto, las señales recibidas desde las dianas a distancias más cercanas pueden sobresaturar el detector, mientras aquellas de dianas a distancias mayores pueden ser apenas detectables. Una técnica de diseño conocida como "compresión geométrica" puede reducir el intervalo dinámico controlando la superposición fija de los campos ópticos de visión del transmisor y del receptor, la separación de los dispositivos ópticos del receptor y del transmisor y el efecto pantalla del receptor producido por los dispositivos ópticos del transmisor para atenuar la señal en distancias cortas. El tiempo de demora de la señal de luz recibida con respecto al impulso de luz transmitido no entra en este cálculo de compresión ya que estos parámetros de diseño son estáticos. La compresión geométrica puede beneficiar los sistemas LIDAR tanto de exploración como fijos.

El documento US 4311385 divulga un sistema láser de escaneo de detección que tiene dispositivos ópticos que compensan la desviación angular de una señal recibida. Un componente de control gira el desfase angular compensando los dispositivos ópticos para alinear ópticamente una señal de referencia y una señal recibida para que sean paralelas entre sí a lo largo de una trayectoria óptica.

La presente invención suministra un aparato nuevo y mejorado y un procedimiento que resuelve los problemas antes mencionados.

Resumen

En una realización, un sistema de detección y de medición de la distancia incluye una unidad de espejos que gira alrededor de un eje de exploración. La unidad de espejos incluye una parte de recepción y una parte de transmisión desalineadas en un ángulo alrededor del eje de exploración con relación a un plano superficial de la parte de recepción. Los respectivos centroides de las partes de recepción y transmisión se sitúan en un punto común del eje de exploración mientras que las partes de recepción y transmisión giran alrededor del eje de exploración. Un transmisor transmite un impulso de luz hacia la unidad de espejos. Se sitúa una parte de transmisión para reflejar el impulso de luz hacia una diana. Se sitúa un receptor para reflejar el impulso de luz reflejado desde la diana hacia el receptor. El desalineamiento angular compensa el cambio entre el cono de iluminación de la parte de transmisión y el campo de visión de la parte de recepción que resulta del giro de la unidad de espejos.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos, que se incorporan y que constituyen parte de la memoria técnica, se ilustran realizaciones de la invención, que junto con una descripción general de la invención anteriormente dada y la descripción detallada que se ofrece más abajo, sirven para ejemplificar las realizaciones de esta invención.

La **figura 1** ilustra una vista lateral de un sistema de exploración de acuerdo con una realización de un aparato que ilustra los principios de la presente invención.

La **figura 2** ilustra una vista superior del sistema de exploración de la figura 1.

La **figura 3** ilustra una representación esquemática de los campos de visión descompensados del transmisor y del receptor.

La **figura 4** ilustra un gráfico de las señales recibidas frente a la distancia para el cono de iluminación descompensado del transmisor y el campo de visión del receptor mostrados en la figura 3.

La **figura 5** ilustra una representación esquemática de un cono de iluminación compensado del transmisor y el campo de visión del receptor, de acuerdo con una realización de un aparato que ilustra los principios de la presente invención.

La **figura 6** ilustra un gráfico de la señal recibida frente a la distancia para el cono de iluminación compensado del transmisor y el campo de visión del receptor mostrados en la figura 5.

Descripción detallada de la realización ilustrada

Con referencia a la **figura 1**, un sistema LIDAR **10** de exploración óptica incluye un transmisor **12** y un receptor óptico **14**. Una unidad **16** de espejos incluye una parte **20** de transmisor y una parte **22** de recepción. En una realización, tanto el transmisor **12** como el receptor óptico **14** giran (exploran) juntos a una velocidad de rotación constante en una dirección. Más específicamente, los elementos giratorios, específicamente la unidad **16** de espejos, giran (según se ilustra en **24**) a una velocidad predeterminada alrededor de un eje **26** de exploración. Las partes **20**, **22** de transmisión y de recepción están, respectivamente, situadas de forma concéntrica para que tengan un centroide común **30**. Los centroides **30** se sitúan en un punto común sobre el eje **26** de exploración.

Un impulso **32** de luz que sale del transmisor **12** pasa a través de al menos una lente **34** para colimar el impulso **32** de luz. El impulso **32** de luz se refleja entonces en un primer espejo **36** (por ejemplo, un espejo plano) hacia la parte **20** de transmisión de la unidad **16** de espejos, donde el impulso **32** de luz se refleja hacia una diana **40**. Un cono de iluminación **42** del transmisor (consulte las figuras **3** y **5**) del impulso **32** de luz transmitido desde la parte **20** de transmisión hacia la diana **40** está definido por una divergencia que determina el tamaño del punto del impulso **32** de luz sobre la diana **40**. El impulso **32** de luz se refleja en la diana **40** de nuevo hacia la parte **22** de recepción de la unidad **16** de espejos. Un campo de visión **44** del receptor (consulte las figuras **3** y **5**) del impulso **32** de luz reflejado desde la diana **40** hasta la parte **22** de recepción está definido por la gama completa de ángulos de incidencia que podrían detectar un impulso **32** de luz sobre la parte **22** de recepción y normalmente coincide en divergencia con el cono de iluminación transmitido. El impulso **32** de luz reflejada se refleja en la parte **22** de recepción de la unidad **16** de espejo hacia un espejo **46** circular (por ejemplo, esférico), que refleja el impulso **32** de luz hacia un segundo espejo **50** (por ejemplo, un espejo plano). El impulso **32** de luz se refleja en el segundo espejo **50**, pasa a través de al menos una lente **52** y es detectado por el receptor óptico **14**.

Los dispositivos electrónicos **54** que comunican con el receptor óptico **14** determinan una distancia hasta la diana **40** en función del momento en que el impulso de luz es recibido en el receptor óptico **14**. En una realización, la distancia hasta la diana **40** se determina midiendo el tiempo de demora de la luz recibida en el receptor óptico **14** con respecto a la transmisión del impulso de luz original.

El período de tiempo entre el cual el impulso **32** de luz deja el transmisor **12** y se recibe en el receptor óptico **14** se denomina tiempo de demora. El movimiento rotacional de los elementos giratorios durante el tiempo de demora desplaza el campo de visión **44** del receptor (consulte las figuras **3** y **5**) con respecto al cono de iluminación **42** del transmisor (consulte las figuras **3** y **5**). Este desplazamiento entre el cono de iluminación y el campo de visión del receptor **42**, **44** da como resultado un desfase angular **56** (consulte la figura **2**) entre el cono de iluminación del transmisor y el campo de visión del receptor **42**, **44**. El desfase angular **56** aumenta en función del tiempo de demora y de la velocidad de exploración. Por lo tanto, el desfase angular **56** aumenta en función de la distancia entre la parte **20** de transmisión de la unidad **16** de espejo, la diana **40** y la parte **22** de espejo del receptor. La distancia entre la unidad **16** de espejo (que incluye el espejo **20** y **22**) y la diana **40** se denomina distancia a la diana. Si el cono de iluminación **42** del transmisor y el campo de visión **44** del receptor están coalineados para las dianas a distancias relativamente cortas (tal como típicamente ocurre en el caso de los sistemas LIDAR), el desfase angular aumenta con la distancia a la diana.

Según se ilustra en la figura **2**, se efectúa un desalineamiento angular (ajuste) entre las partes **20**, **22** de transmisión y de recepción para compensar este desfase angular **56**. Por lo tanto, el ajuste angular se denomina también compensación del desfase angular. Más específicamente, la parte **20** de transmisión gira lentamente alrededor del eje **26** en la misma dirección **24** de la exploración. Por lo tanto, el cono de iluminación **42** del transmisor siempre se dirige hacia el campo de visión **44** del receptor, fuera de la distancia máxima. El ajuste angular es igual al tiempo de demora de la distancia máxima de trabajo a la diana multiplicado por una velocidad rotacional de los elementos giratorios. Por lo tanto, para este ajuste, la superposición del cono de iluminación **42** del transmisor y del campo de visión **44** del receptor y la eficacia de recepción del receptor es mayor en la distancia de trabajo máxima a la diana.

La figura **3** ilustra la superposición del cono de iluminación **42** del transmisor y del campo de visión **44** del receptor en un sistema sin compensación de desfase angular. La figura **4** ilustra un gráfico **60** del logaritmo de la intensidad del receptor frente a la distancia a la diana para la configuración de la figura **3**. Con referencia a las figuras **3** y **4**, la intensidad de la luz recibida en el receptor óptico **14** (consulte la figura **1**) se determina como una función de la distancia a la diana. Por ejemplo, a medida que aumenta la distancia a la diana, para una reflectividad constante de la diana, la intensidad de la luz recibida en el receptor óptico **14** (consulte la figura **1**) disminuye (por ejemplo, disminuye rápidamente). Consecuentemente, para una diana dada, la intensidad de la luz en el receptor óptico **14** (consulte la figura **1**) puede variar significativamente a lo largo de la distancia de trabajo. La intensidad de la luz detectada en el receptor óptico **14** (consulte la figura **1**) en la distancia **62** se corresponde con el umbral del receptor. A causa del tiempo de demora, se produce una superposición mínima a la distancia **62** del umbral del receptor, que contribuye a debilitar la intensidad en el receptor óptico **14** (consulte la figura **1**). Además el gráfico **60** ilustra que se produce una superposición máxima **66** a la distancia **70** de saturación del receptor (más cerca del receptor óptico **14** (consulte la figura **1**)), que contribuye a saturar el receptor **14** (consulte la figura **1**). A distancias muy cortas se produce una reducción de la caída de la señal debido al oscurecimiento del espejo de transmisión del campo de visión **44** del receptor, una forma de compresión geométrica. Aunque no es evidente una reducción de la señal a distancias cortas en la figura **4** (gráfico **60**), se ilustra una reducción de la señal en la figura **6** (gráfico **72**).

La figura **5** ilustra una superposición del cono de iluminación **42** del transmisor y del campo de visión **44** del receptor en un sistema con compensación de desfase angular. La figura **6** ilustra un gráfico **72** del logaritmo de la intensidad en el receptor frente a la distancia a la diana. Con referencia a las figuras **5** y **6**, la intensidad de la luz recibida en el receptor óptico **14** (consulte la figura **1**) se determina como una función de la distancia a la diana. Por ejemplo, a

medida que aumenta la distancia a la diana, disminuye la intensidad de luz recibida en el receptor óptico **14** (consulte **figura 1**) (excepto a distancias muy cortas). Sin embargo, a diferencia de la realización ilustrada en las **figuras 3 y 4**, el gráfico **72** muestra que la intensidad de la luz detectada por el receptor óptico **14** (consulte **figura 1**) está entre el umbral **74** del detector y el límite **76** de saturación del detector a lo largo de la distancia de trabajo completa a la diana (por ejemplo, entre 2 metros y aproximadamente 3000 metros). Además, a causa de la compensación del desfase angular, la superposición máxima **82** entre el cono de iluminación **42** del transmisor y el campo de visión **44** del receptor se produce aproximadamente en la distancia máxima a la diana (por ejemplo, aproximadamente 3000 metros), aunque la superposición mínima **84** entre el cono de iluminación **42** del transmisor y el campo de visión **44** del receptor se produce aproximadamente a la distancia mínima a la diana. La compensación del desfase angular aumenta la señal luminosa detectada por el receptor óptico **14** (consulte **figura 1**) desde una diana situada a la máxima distancia de trabajo y disminuye la señal recibida a distancias cortas, y así el intervalo dinámico de la intensidad luminosa detectada se comprime a lo largo de la distancia de trabajo completa.

El menor intervalo dinámico de las señales luminosas en el receptor óptico **14** (consulte **figura 1**) reduce los requisitos del sensor del receptor y los dispositivos electrónicos asociados. Los dispositivos electrónicos de alta velocidad con un alto intervalo dinámico a menudo son caros y difíciles de fabricar.

En una realización, la compensación del desfase angular se hace más pequeña que el cono de iluminación del transmisor y/o el campo de visión del receptor en todas las distancias de trabajo del sistema. Se obtienen resultados similares si el campo de visión del receptor y la divergencia del transmisor son diferentes y la compensación del desfase angular es la misma que el desfase angular máximo esperado. La cantidad de desfase relativo para el campo de visión del receptor y el cono de iluminación del transmisor puede adaptarse para minimizar el intervalo dinámico de la intensidad luminosa recibida por el receptor mientras se maximiza la intensidad luminosa recibida en el receptor para dianas situadas a largas distancias.

Se contempla que el sistema LIDAR explore rápidamente (por ejemplo, el tiempo de vuelo de los impulsos luminosos no sea insignificamente corto con relación al movimiento de exploración asociado en porcentaje del tamaño del punto iluminado) y también unidireccionalmente, donde el desfase angular está siempre en la misma dirección y magnitud del desfase angular está linealmente relacionado con la distancia. Para un sistema de exploración lenta (por ejemplo, el tiempo de vuelo del impulso de luz es insignificamente corto con relación con el movimiento de exploración asociado en porcentaje de tamaño del punto iluminado), es innecesaria la compresión de la señal mediante optimización de compensación del desfase angular (SCOLAC) y no puede comprimir significativamente el intervalo de intensidad de la luz recibida. Para sistemas de exploración rápidos en los que la dirección de exploración se invierte o se mueve en direcciones diferentes (por ejemplo un escáner de espejo Palmer) podría utilizarse la SCOLAC, pero sería más difícil de implementar si, por ejemplo, el movimiento en sentido contrario no fuese de velocidad constante (por ejemplo, como en un escáner sinusoidal).

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para determinar una distancia a una diana (40), el procedimiento comprende:

hacer girar una unidad (16) de espejo alrededor de un eje (26) de exploración;

reflejar un impulso luminoso de una parte (20) de transmisión de la unidad (16) de espejo hacia una diana (40);

5 reflejar un impulso luminoso, recibido desde la diana (40), desde una parte (22) de recepción de la unidad (16) de espejo hacia un receptor (14) y

compensar el desfase angular (56), provocado por la rotación de la unidad (16) de espejo alrededor del eje (26), entre el momento en el que el impulso luminoso se refleja desde la parte (20) de transmisión y el momento en el que impulso luminoso recibido se refleja desde la parte (22) de recepción;

10 **que se caracteriza porque:**

la compensación incluye el desalineamiento angular de la parte (20) de transmisión alrededor del eje (26) de exploración desde un plano superficial de la parte (22) de recepción.

2. El procedimiento para determinar una distancia a una diana (40) según la reivindicación 1, en el que la compensación incluye además:

15 crear una superposición máxima (82) entre un cono de iluminación (42) de la parte de transmisión, asociado con la parte (20) de transmisión, y un campo de visión (44) de la parte de recepción, asociado con la parte (22) de recepción, a una distancia máxima de la diana (40).

3. El procedimiento para determinar una distancia a una diana (40) según la reivindicación 2, en el que la compensación incluye además:

20 crear una superposición mínima (84) entre el cono de iluminación (42) de la parte de transmisión y el campo de visión (44) de la parte de recepción, a una distancia mínima de la diana (40).

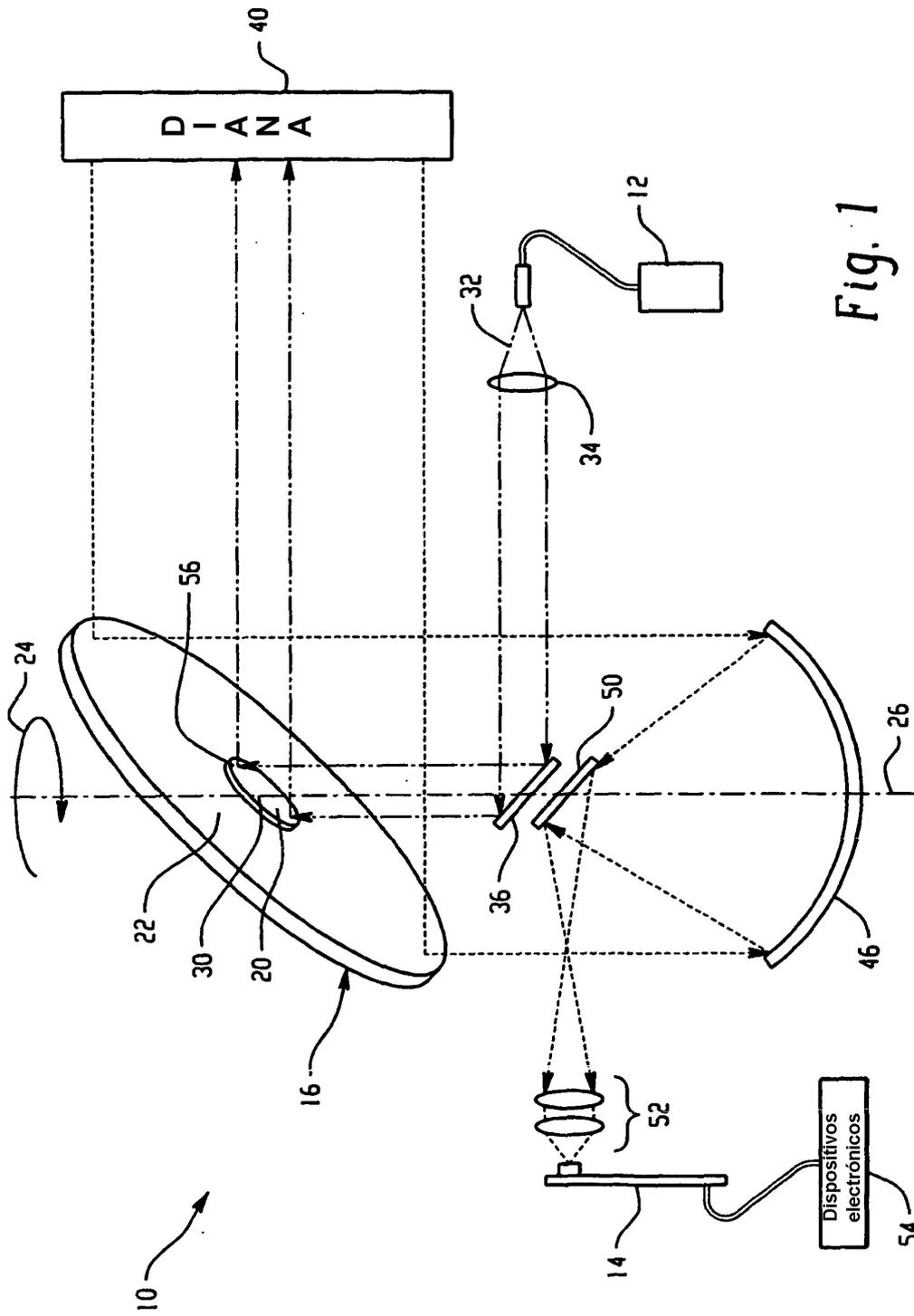


Fig. 1

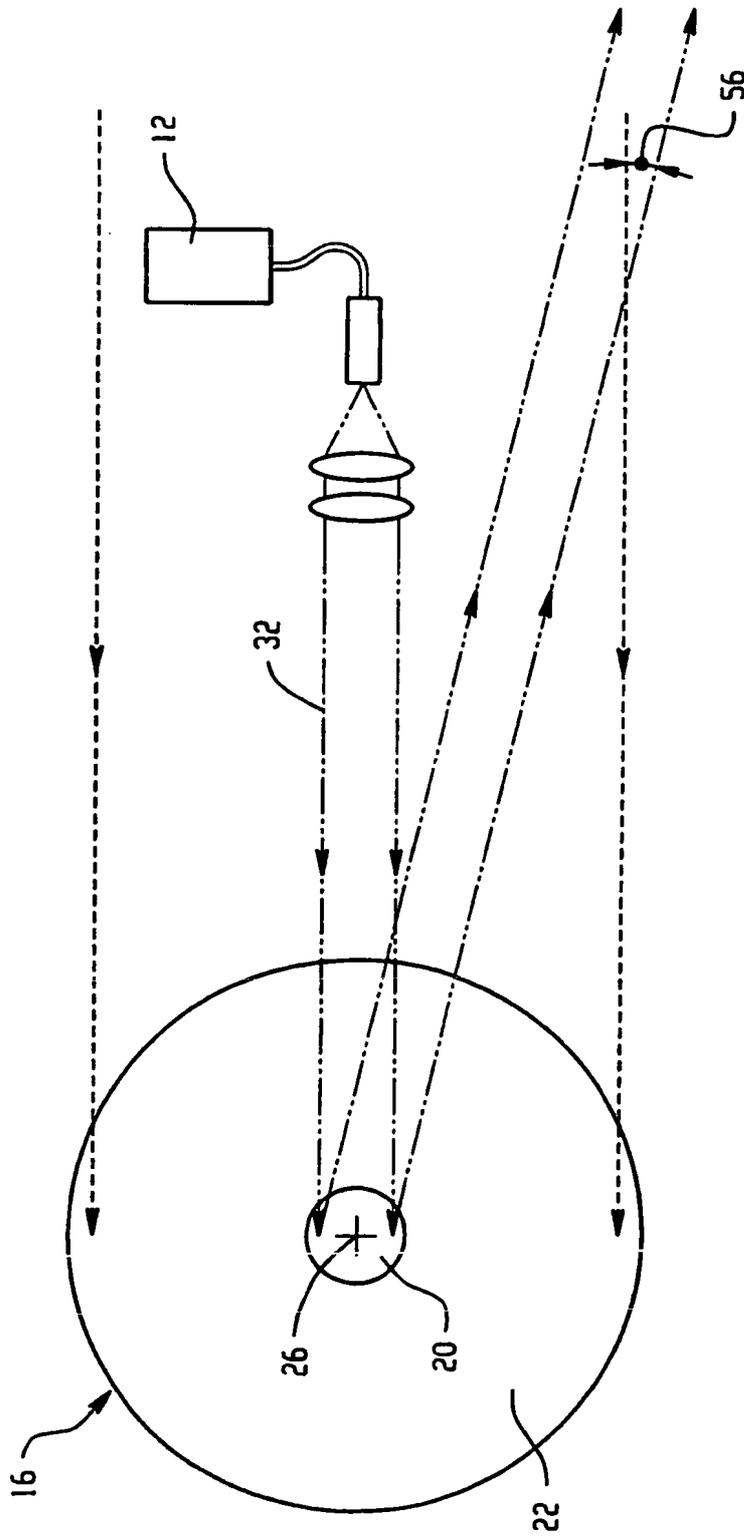


Fig. 2

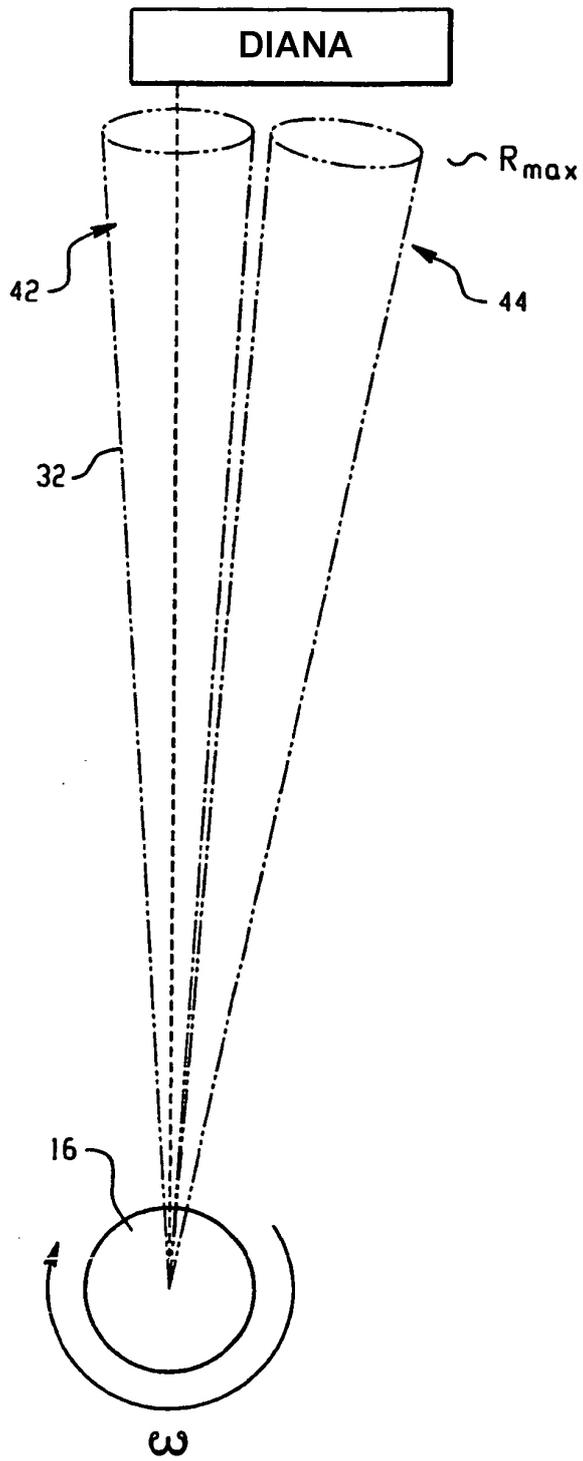


Fig. 3

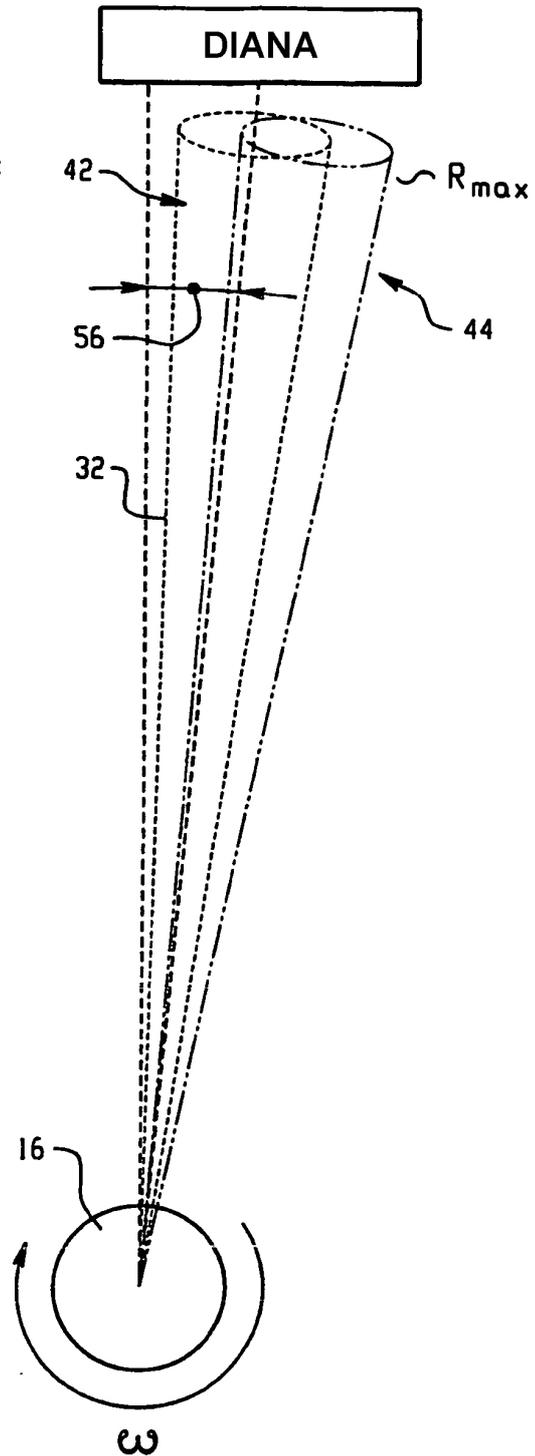


Fig. 5

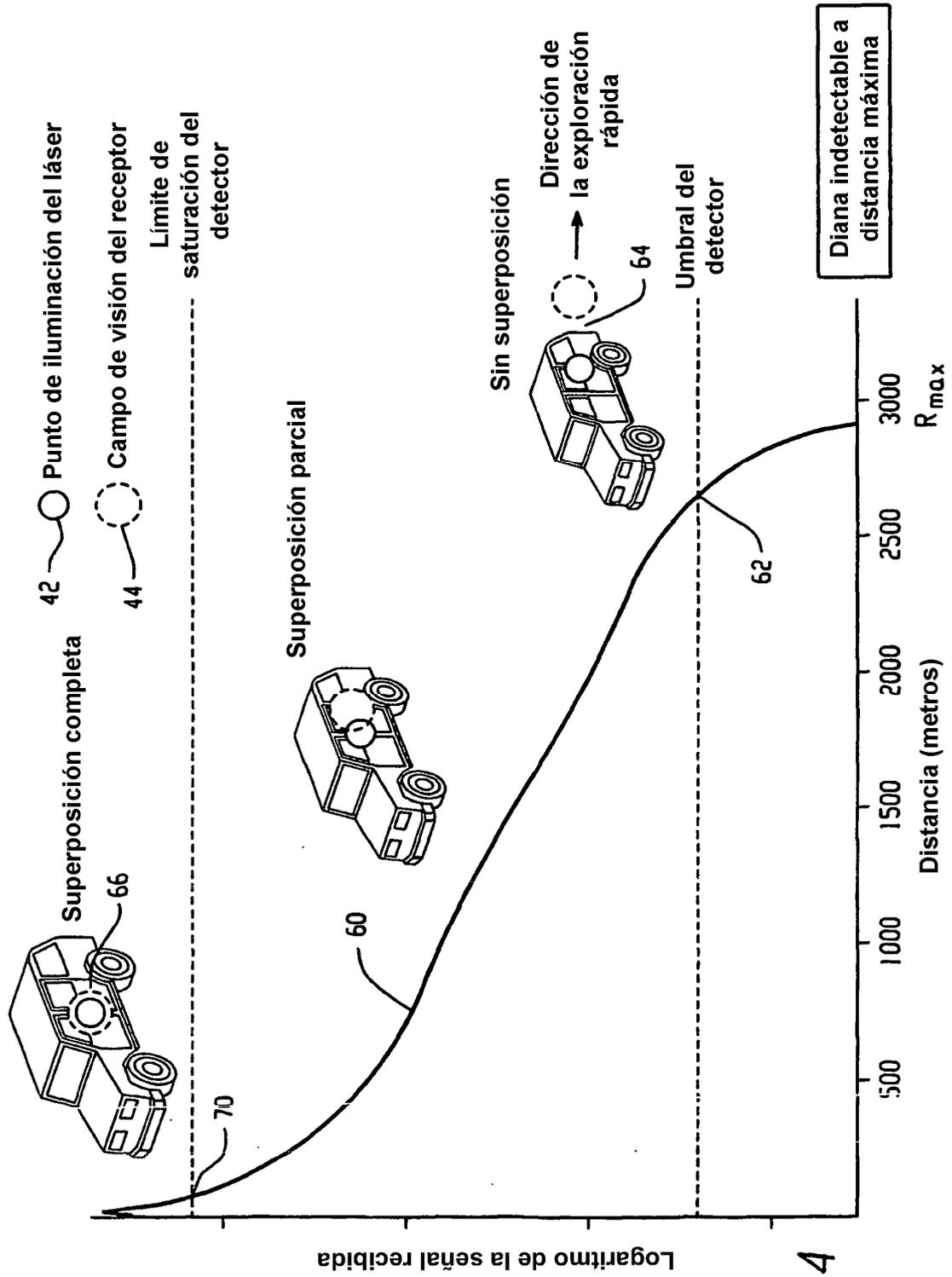


Fig. 4

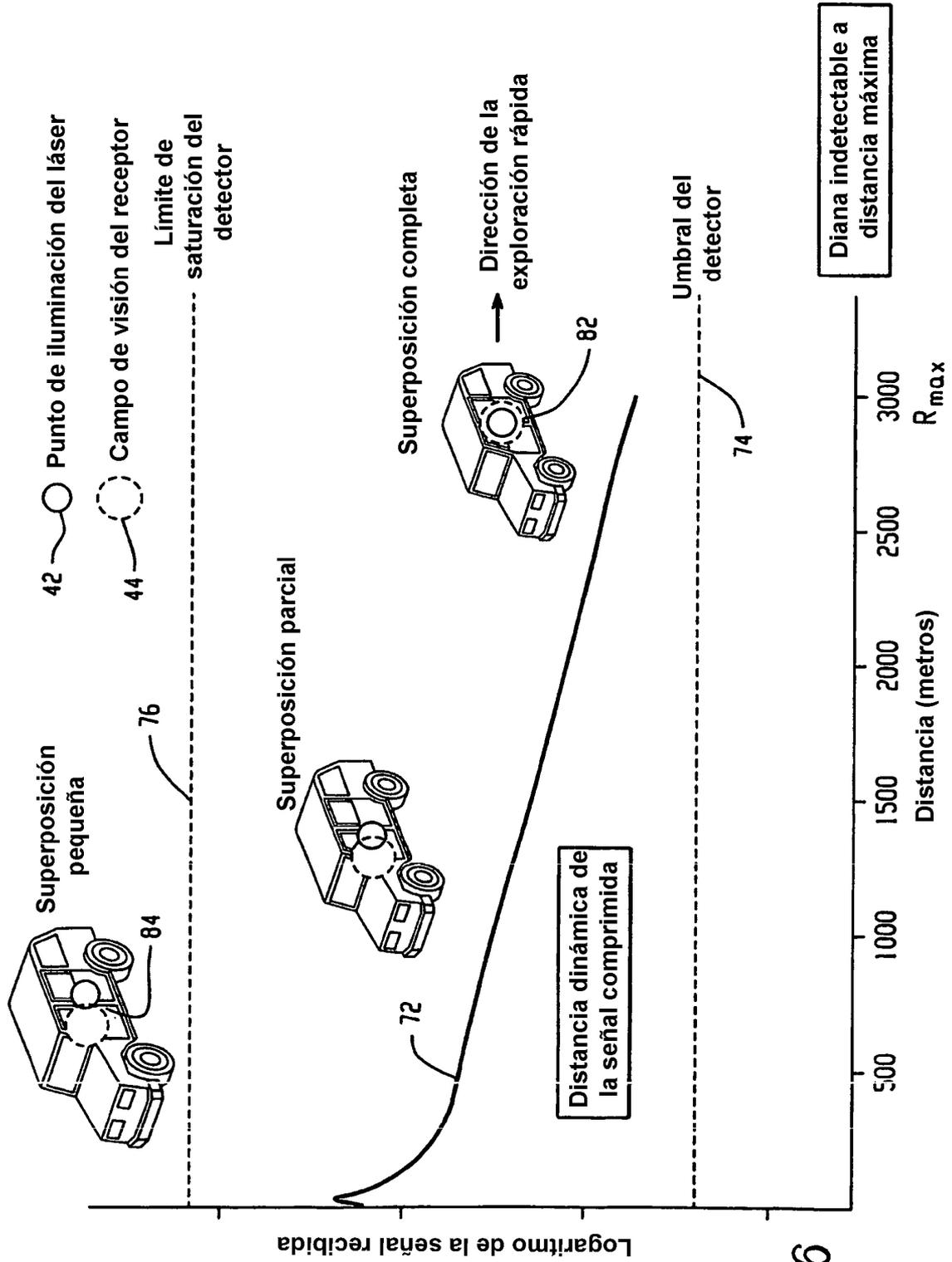


Fig. 6