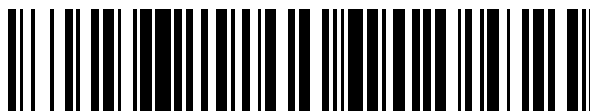


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 446 591**

51 Int. Cl.:

G01S 17/42 (2006.01)

G01S 13/93 (2006.01)

G01S 7/481 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2009** **E 09742380 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2014** **EP 2291677**

54 Título: **Mejoras en LIDARS**

30 Prioridad:

18.04.2008 EP 08154831

18.04.2008 GB 0807100

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

10.03.2014

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)

6 Carlton Gardens

London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

BRIMBLE, RICHARD ARTHUR y

CLAXTON, CHRISTOPHER DAVID

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 446 591 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

Mejoras en LIDARS

- La presente invención se refiere a un LIDAR (Detección y Alcance de la Luz) con resolución incrementada en al menos una dirección y particularmente, pero no exclusivamente, a un LADAR (Detección y Alcance de Láser) de coordenadas cartesianas para vehículos autónomos.
- Los dispositivos de LIDAR, cuyos dispositivos de LADAR son un subconjunto, son una tecnología de detección remota óptica. En el caso de LADARs, se utilizan impulsos de láser para detectar el alcance hasta un objeto midiendo la demora de tiempo entre la transmisión de un impulso y la detección de la señal reflejada. Los dispositivos de LADAR han sido utilizados en muchas aplicaciones, incluyendo vehículos autónomos.
- La mayoría de los dispositivos de LADAR funcionan haciendo girar un láser, o un espejo que desvía un haz de láser, a través de una rotación angular predeterminada. Puesto que se conoce el ángulo en el que se trasmite un impulso del haz de láser, el dispositivo de LADAR puede emitir un ángulo y una distancia con respecto a cualquier objeto detectado, dando la posición del objeto en el espacio de coordenadas esféricas. Típicamente, la posición se transforma entonces en el espacio de coordenadas cartesianas para uso con otros sistemas.
- Una consecuencia del uso de este método es que la resolución de la detección de cualquier objeto se reduce cuanto más alejados se encuentran los objetos desde el punto de transmisión. Es decir, que cada impulso transmitido en un punto angular particular diverge de un impulso transmitido desde un punto angular anterior.
- En aplicaciones de vehículos autónomos, se utilizan LADARs para la detección de objetos que pueden presentar un peligro de colisión o problema de navegación. Los LADARs con una resolución decreciente a medida que se incrementa la distancia dan como resultado limitaciones sobre la velocidad de avance de vehículos autónomos. Si un vehículo requiere avanzar a velocidades más rápidas, cualquier sistema de navegación debe tomar decisiones sobre rutas posibles en una fase temprana y, por lo tanto, requiere información sobre obstáculos en un tiempo temprano.
- El documento EP0473866 describe un sistema de prevención de colisiones que es adecuado para aplicaciones de automoción, que incluye un escáner telemétrico electro-óptico, una unidad de procesamiento y retro-reflectores sobre vehículos objetivos.
- El documento JP1161107 describe una disposición para medir una imagen tridimensional con alta exactitud y para permitir mediciones de tamaño irradiando un cuerpo tridimensional con luz láser de forma progresiva.
- El documento US6022115 describe un sistema óptico para medición de un dispositivo tridimensional.
- El documento DE2302645 describe el uso de láseres en equipo de análisis metrológico.
- Mo Longbin y col. "Unbiased converted measurements for tracking" (IEEE transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 34, nº 3, 1 de Julio de 1998, páginas 1023-1027, XP009100946 USSN: 0018-9251) describe cómo la compensación de la polarización en conversión polar clásica a cartesiana es multiplicativa y depende de la estadística del coseno de los errores de medición del ángulo. También se describe una conversión no polarizada.
- El documento US7315503 describe un dispositivo de captación óptica que comprende al menos una lente de matriz de micro-espejos.
- El documento US7154649 describe un dispositivo para la desviación de haces ópticos que tiene una matriz de elementos de espejos, y cada elemento de espejo es pivotable en cualquier ángulo independientemente de otro elemento de espejo.
- El documento DE19949969 describe sensores de distancia de láser y radar.
- El documento EP1286178 A2 describe un método de detección de tierra por un escáner opto-electrónico en un vehículo, que escanea en al menos dos planos.
- Los métodos de la técnica anterior para mejora de la resolución incluyen típicamente incrementar el número de láseres que giran en el dispositivo, pero esto significa, sin embargo, que la resolución del sistema varía de acuerdo con la distancia desde el dispositivo.
- De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato de Detección y Alcance de la Luz (LIDAR), que comprende:
- un medio de fuente de luz apto para emitir un rayo de luz y dispuesto de tal manera que el rayo de luz es giratorio alrededor de un centro de rotación para detectar características a través de 360°, siendo emitido el

rayo de luz en una pluralidad de intervalos angulares;

5 un espejo de objeto parabólico que tiene un punto focal, estando posicionado el espejo de objeto de tal manera que el centro de rotación del rayo de luz está localizado sustancialmente en el punto focal y el espejo de objeto cae dentro de un alcance angular inferior a 180° , y los rayos de luz sucesivos emitidos, una vez reflejados desde el espejo de objeto, siguen una trayectoria sustancialmente paralela,

unos medios de recepción para la recepción de luz reflejada desde una o más características en la trayectoria del rayo de luz; y

10 medios de análisis para calcular una posición en la que una o más características están presentes sobre la base del ángulo en el que el rayo de luz ha sido emitido y la demora de tiempo asociada con la luz reflejada recibida, en el que, cuando el rayo de luz es reflejado por el espejo de objeto, los medios de análisis tienen en cuenta la reflexión del espejo de objeto y la posición de la o de cada característica es calculada utilizando un sistema de coordenadas cartesianas que tiene un punto de referencia en el punto focal y en el que cuando el rayo de luz es emitido en un ángulo tal que el rayo de luz no es reflejado por el espejo de objeto, los medios de análisis son capaces de calcular una posición de la coordenada polar para cualquier
15 característica que refleja luz desde el rayo de luz.

Una característica puede ser cualquier superficie que produce una reflexión, tal como desde un objeto o superficie delante del LIDAR.

Con preferencia, los medios de análisis calculan un punto de intercepción, que es el punto en el rayo de luz es reflejado desde los medios de reflexión.

20 Con preferencia, los medios de fuente de luz y los medios de recepción están colocados en el punto focal.

De manera alternativa, los medios de fuente de luz están localizados en el punto focal y los medios de recepción están espaciados desde el punto focal.

Con preferencia, la fuente de luz es al menos un láser y el rayo de luz es un haz de láser.

Con preferencia, la fuente de luz es un láser individual y el rayo de luz es un haz de láser.

25 Con preferencia, el aparato comprende, además, un medio de refracción apto para refractar rayos de luz para reducir la divergencia desde los medios de fuente de luz.

Con preferencia, el aparato comprende, además, medios de movimiento de la dirección dispuestos para panoramizar o inclinar el aparato y permitir que rayos de luz reflejados desde los medios de reflexión sean dirigidos en una dirección particular.

30 1. De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método de funcionamiento de un LIDAR que tiene unos medios de fuente de luz, que comprende las etapas de:

(i) emitir un rayo de luz desde los medios de fuente de luz a intervalos regulares;

(ii) hacer girar el rayo de luz para detectar características a través de 360° alrededor de un centro de rotación en una pluralidad de intervalos angulares;

35 (iii) reflejar el rayo de luz desde un espejo de objeto parabólico que tiene un punto focal, estando posicionado el espejo de objeto de tal manera que el centro de rotación del rayo de luz está localizado sustancialmente en el punto focal y el espejo de objeto cae dentro de un alcance angular inferior a 180° , de manera que los rayos de luz reflejados desde el espejo de objeto están sustancialmente paralelos;

(iv) recibir luz reflejada desde una o más características en la trayectoria del rayo de luz:

40 calcular una posición, en la que una o más características están presentes sobre la base del ángulo en el que el rayo de luz ha sido emitido y la demora de tiempo asociada con la luz reflejada recibida, en el que, cuando el rayo de luz es reflejado por el espejo de objeto, los medios de análisis tienen en cuenta la reflexión del espejo de objeto y la posición de la o de cada característica es calculada utilizando un sistema de coordenadas cartesianas que tiene un punto de referencia en el punto focal y en el que cuando el rayo de luz es emitido en un ángulo tal que el rayo de luz
45 no es reflejado por el espejo de objeto, los medios de análisis son capaces de calcular una posición de la coordenada polar para cualquier característica que refleja luz desde el rayo de luz.

Con preferencia, la etapa (v) calcula un punto de intercepción, que es el punto en el que el rayo de luz es reflejado desde los medios de reflexión.

Con preferencia, los medios de fuente de luz y los medios de recepción están colocados en el punto focal.

De manera alternativa, los medios de fuente de luz están localizados en el punto focal y los medios de recepción están espaciados desde el punto focal.

Con preferencia, la fuente de luz es al menos un láser y el rayo de luz es un haz de láser.

5 Con preferencia, la fuente de luz es un láser individual y el rayo de luz es un haz de láser.

De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de prevención de colisiones que comprende un LIDAR de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención.

De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de selección de terreno preferido, que comprende un LIDAR de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención.

10 De acuerdo con un quinto aspecto de la presente invención, se proporciona un vehículo autónomo que comprende un sistema de prevención de colisiones de acuerdo con el tercer aspecto o un sistema de selección de terreno de acuerdo con el cuarto aspecto de la presente invención.

15 De acuerdo con un sexto aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de asistencia al conductor para un vehículo que comprende un sistema de prevención de colisiones de un vehículo de acuerdo con el tercer aspecto o un sistema de selección de terreno preferido de acuerdo con el cuarto aspecto de la presente invención.

A continuación se describirán formas de realización de la presente invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los que:

La figura 1 muestra un LADAR que tiene un espejo parabólico.

20 La figura 2 muestra un punto de intercepción de un haz de LADAR y un haz reflejado correspondiente sobre un espejo.

La figura 3 muestra un grafo de la altura de intercepción y del ángulo del haz de LADAR para un espejo ejemplar.

La figura 4 muestra un grafo de la diferencia en la altura de intercepción entre ángulos del haz de LADAR y el ángulo del haz de LADAR para un espejo ejemplar; y

25 La figura 5 muestra una vista más detallada de una trayectoria del haz de láser que se refleja desde el espejo parabólico de la figura 1.

(Detección y Alcance de la Luz) y, como tal, debería apreciarse que la invención no está limitada a LADARs.

30 Los LADARs de la técnica anterior funcionan emitiendo impulsos de luz láser en un número de direcciones y midiendo la demora de tiempo de cualquier reflexión recibida de retorno. La luz láser es emitida típicamente en múltiples direcciones por rotación o bien de una unidad de láser o por rotaciones de un dispositivo de reflexión, al que apunta una unidad de láser. Para operación de 360° de un LADAR, es habitual que la unidad de láser sea girada para evitar direcciones en las que la luz láser no puede ser emitida.

35 Estos sistemas funcionan en el espacio de coordenadas polares (o espacio de coordenadas esféricas para sistemas tridimensionales), ya que, originariamente, el ángulo de la luz láser se conoce y se calcula la distancia hasta cualquier objeto que refleja la luz. Es decir, que se conoce la coordenada angular θ de un espacio de coordenadas polares y se calcula la coordenada radial r . Como se ha mencionado anteriormente, un inconveniente de LADARs que operan en un modo de rotación es que a medida que se incrementa la distancia desde el LADAR, se reduce la resolución debido a los impulsos divergentes de luz láser a medida que cambia el ángulo.

40 En algunas aplicaciones, tales como en vehículos autónomos, es deseable tener una resolución más alta a distancia mayor desde el LADAR. Por ejemplo, para permitir el funcionamiento a velocidad elevada de vehículos autónomos, es necesaria una resolución más elevada de características a una distancia mayor desde el vehículo para permitir la acción de corrección adecuada. Además, especialmente en aplicaciones de vehículos autónomos, es menos importante detectar características que están detrás del LADAR.

45 Las características son normalmente objetos que están presentes en el alcance del LADAR y que reflejan luz, pero pueden ser también superficies discrepantes de tierra. Para facilitar la explicación, la descripción restante se referirá a objetos que son detectados.

Con referencia ahora a la figura 1, se conoce un LADAR 10 que tiene unos medios de transmisión y de recepción de láser 12, un espejo parabólico 14 y un medio de análisis y control 16. En este ejemplo, los medios de transmisión y de recepción de láser 12 giran una unidad de láser individual y emiten impulsos de haces de láser cada 15°. El espejo parabólico 14 está posicionado entre los ángulos de 120° y 240°, tomando la trayectoria del haz de láser

P_8 como 0° . De acuerdo con ello, las trayectorias del haz de láser P_1 a P_{15} están posicionadas de tal manera que los impulsos de láser que siguen estas trayectorias no interactúan con el espejo 14. Las trayectorias del haz de láser C_1 a C_8 interactúan con el espejo 14 y son reflejadas, debido a la naturaleza parabólica del espejo 14, paralelamente con la trayectoria del haz de láser P_8 .

5 Cuando un haz de láser emitido por la unidad de láser incide en un objeto en su trayectoria, el objeto refleja una proporción del haz de láser de retorno hacia el LADAR 10. Por ejemplo, los haces de láser emitidos a lo largo de las trayectorias P_{13} y P_{14} incidirán en el objeto A y la luz láser será reflejada de retorno hacia el LADAR 10. Los medios de transmisión y de recepción de láser 12 comprenden un medio de recepción de luz, tal como un sensor electrónico de imágenes, capaz de detectar la luz láser reflejada.

10 Los medios de análisis y control 16 comprenden un controlador de impulsos 18, un medio de análisis de la demora de tiempo 20 y un medio de análisis de la posición 22. El controlador de impulsos 18 controla la unidad de láser para emitir impulsos de haces de láser en rotaciones angulares predeterminadas o a intervalos de tiempo regulares, siendo registrado el ángulo de la emisión del haz. Los medios de análisis de demora de tiempo 20 calculan la demora de tiempo entre la emisión de los haces de láser y la recepción de la luz reflejada en los medios de recepción de luz. Puesto que se conoce la velocidad de la luz, los medios de análisis de la posición 22 pueden calcular una posición de un objeto que refleja luz desde el ángulo en el que ha sido emitido el haz de láser.

Los medios de análisis de la posición 22 están pre-configurados con la posición del espejo parabólico 14. Donde la unidad de láser está en un ángulo tal que el haz de láser no será reflejado por el espejo parabólico, tales como las trayectorias P_1 a P_{15} , los medios de análisis de la posición pueden calcular una posición de coordenadas polares para cualquier objeto que refleja luz desde el haz de láser. El ángulo en el que el haz es emitido da la coordenada angular θ y la distancia hasta el objeto da la coordenada radial r . La posición de la coordenada polar puede ser transferida entonces a coordenadas cartesianas, si se requiere. Como se ha mencionado anteriormente, ésta es la operación estándar de una unidad de LADAR y da como resultado un sistema, en el que la resolución se reduce a media que se incrementan las distancias desde el LADAR.

25 Donde la unidad de láser está en un ángulo tal que el haz de láser será reflejado por el espejo parabólico, tales como las trayectorias del haz C_1 a C_8 , los medios de análisis de la posición 22 pueden calcular directamente una coordenada cartesiana de cualquier objeto que refleja luz desde los haces de láser. Para realizar este cálculo, los medios de análisis de la posición 22 requieren la distancia perpendicular por encima de una referencia en la que el haz de láser emitido es reflejado por el espejo parabólico, dando una coordenada-y, y la distancia perpendicular hasta el objeto reflejado desde una segunda referencia, en ángulos rectos a la primera, teniendo en cuenta la varianza en distancia causada por la curvatura del espejo parabólico, dando una coordenada-x.

Para ampliar el cálculo requerido por los medios de análisis de la posición 22, la ecuación de una parábola es:

$$y^2 = 2px \dots\dots\dots(1)$$

35 para un sistema de coordenadas, en el que p es la distancia desde el vértice hasta el lugar de la parábola. Esto se puede escribir en forma paramétrica como:

$$\begin{aligned} x &= pt_1^2 \\ y &= 2pt_1 \end{aligned} \dots\dots\dots(2)$$

donde t_1 es la variable paramétrica.

Un haz de LADAR modelado como una línea recta emitida desde el centro del punto de referencia (x_0, y_0) se puede escribir paramétricamente como:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + t_2 u \\ y &= y_0 + t_2 v \end{aligned} \dots\dots\dots(3)$$

40 donde t_2 es la variable paramétrica y (u, v) es el vector de dirección del haz de LADAR. El ángulo del haz con respecto al eje-x se da por

$$\arctan\left(\frac{v}{u}\right).$$

El haz de LADAR se intersecta con el espejo en:

$$pt_1^2 = x_0 + t_2 u \dots\dots\dots(4)$$

y

$$2pt_1 = y_0 + t_2 v \dots\dots\dots(5)$$

Redisponiendo (4) da

$$t_2 = \frac{pt_1^2 - x_0}{u} \dots\dots\dots(6)$$

Y sustituyendo (6) en (5) da

$$2pt_1 = y_0 + v\left(\frac{pt_1^2 - x_0}{u}\right) \dots\dots\dots(7)$$

$$\Rightarrow 2put_1 = y_0 u + vpt_1^2 - vx_0 \dots\dots\dots(8)$$

$$\Rightarrow (vp)t_1^2 - (2pu)t_1 + (y_0 u - vx_0) = 0 \dots\dots\dots(9)$$

Por lo tanto, la ecuación (9) es una ecuación cuadrática en el parámetro t_1 y de esta manera

$$t_1 = \frac{2pu \pm \sqrt{(2pu)^2 - 4(vp)(y_0 u - vx_0)}}{2vp} \dots\dots\dots(10)$$

Existen potencialmente dos valores de t_1 y éste es el número máximo de veces que la línea puede intersectar la parábola. El t_1 relevante está donde el t_2 asociado es mayor que 0, ya que éste es para el haz que se mueve hacia delante en las mismas direcciones que el vector de dirección. El valor de t_2 se puede hallar a partir de la ecuación (6).

Habiendo hallado t_1 , las coordenadas de la intercepción se pueden hallar sustituyendo t_1 en la ecuación (2).

$$\hat{x} = p \left(\frac{2pu \pm \sqrt{(2pu)^2 - 4(vp)(y_0u - x_0v)}}{2vp} \right)^2$$

$$\hat{y} = 2p \left(\frac{2pu \pm \sqrt{(2pu)^2 - 4(vp)(y_0u - x_0v)}}{2vp} \right) \dots\dots\dots (11)$$

El gradiente de la tangente en la intercepción se puede hallar utilizando

$$X(t_1) = pt_1^2 \Rightarrow \frac{dX}{dt_1} = 2pt_1$$

$$Y(t_1) = 2pt_1 \Rightarrow \frac{dY}{dt_1} = 2p \dots\dots\dots (12)$$

y

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dt_1}{dX} \frac{dY}{dt_1} \dots\dots\dots (13)$$

y, por lo tanto,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2pt_1} 2p = \frac{1}{t_1} \dots\dots\dots (14)$$

La ecuación de una línea donde se especifican un punto (x, ŷ) y un gradiente m se da por:

$$y - \hat{y} = m(x - \hat{x}) \dots\dots\dots (15)$$

Y, por lo tanto,

$$y = mx + (\hat{y} - m\hat{x}) \dots\dots\dots (16)$$

Para la parábola, la ecuación de la tangente a la parábola en la intercepción de da por

$$y_{\text{tangent}} = mx + (\hat{y} - m\hat{x}) \dots\dots\dots (17)$$

y puesto que

$$n = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{(\hat{x}, \hat{y})} = \frac{1}{t_1}$$

entonces

$$y_{\text{tangent}} = \frac{x}{t_1} + \left(\hat{y} - \frac{\hat{x}}{t_1} \right) \dots\dots\dots (18)$$

donde t_1 se da por la ecuación (10). Habiendo calculado la localización de la intercepción, la etapa siguiente es calcular la trayectoria del haz reflejado.

La segunda ley de la reflexión establece que el ángulo de incidencia del rayo de luz es igual al ángulo de reflexión. Con referencia a la figura 2, el ángulo de un haz de láser incidente con respecto al eje-x se da por

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{v}{u}\right) \dots\dots\dots (19)$$

siendo $(u; v)$ el vector de dirección del haz de LADAR, como se ha mencionado anteriormente, y el ángulo de la tangente al espejo con respecto al eje-x se da por

$$\theta_m = \arctan\left(\frac{dx}{dy}\bigg|_{(\hat{x}, \hat{y})}\right) \dots\dots\dots (20)$$

que es el arcotangente del gradiente de intercepción, $(x, \hat{y})$. A partir de la figura 2, se puede ver que el ángulo de la perpendicular al espejo en el punto de intercepción se da por

$$\theta_{\perp m} = \theta_m - \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots (21)$$

El ángulo de incidencia θ del haz de LADAR se da por

$$\theta_i = \theta_l - \theta_{\perp m} \dots\dots\dots (22)$$

y utilizando las ecuaciones (20), (21) y (22) se da

$$\theta_i = \arctan\left(\frac{v}{u}\right) - \arctan\left(\frac{dx}{dy}\bigg|_{(\hat{x}, \hat{y})}\right) + \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots (23)$$

El ángulo de reflexión es tal que $\theta_r = \theta_i$, de manera que

$$\theta_r = -\left(\arctan\left(\frac{v}{u}\right) - \arctan\left(\frac{dx}{dy}\bigg|_{(\hat{x}, \hat{y})}\right) + \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots (24)$$

El ángulo del haz reflejado con respecto al eje-x se da por

$$\theta_{lr} = \theta_{\perp m} + \theta_r \dots\dots\dots (25)$$

que es, naturalmente, equivalente a

$$\theta_{lr} = \theta_{\perp m} - \theta_i \dots\dots\dots(26)$$

y partir de las ecuaciones (20), (21), (23) y (26)

$$\theta_{lr} = \left(\arctan \left(\frac{dx}{dy} \right)_{(\hat{x}, \hat{y})} - \frac{\pi}{2} \right) - \left(\arctan \left(\frac{v}{u} \right) - \arctan \left(\frac{dx}{dy} \right)_{(\hat{x}, \hat{y})} + \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots(27)$$

Redisponiendo la ecuación (27) da

$$\theta_{lr} = 2 \arctan \left(\frac{dx}{dy} \right)_{(\hat{x}, \hat{y})} - \arctan \left(\frac{v}{u} \right) - \pi \dots\dots\dots(28)$$

5

Sustituyendo la ecuación (14) en la ecuación (28) da

$$\theta_{lr} = 2 \arctan \left(\frac{1}{t_1} \right) - \arctan \left(\frac{v}{u} \right) - \pi \dots\dots\dots(29)$$

Para obtener haces de LADAR reflejados paralelamente al eje-x, el ángulo del haz de LADAR reflejado con relación aleje-x es cero para todos θ_m , donde

$$\pi < \theta_i < \frac{3\pi}{2},$$

10

es decir, que θ_{lr} es igual a cero. Por lo tanto, re disponiendo la ecuación (29)

$$\tan \left(\arctan \left(\frac{v}{u} \right) + \pi \right) = \tan \left(2 \arctan \left(\frac{1}{t_1} \right) \right) \dots\dots\dots(30)$$

se conoce que

$$\tan(x + y) = \frac{\tan x + \tan y}{1 - \tan x \tan y} \dots\dots\dots(31)$$

15 y

$$\tan(2x) = \frac{2 \tan x}{1 - \tan^2 x} \dots\dots\dots(32)$$

de manera que la ecuación (30) se puede expresar como

$$\frac{\tan\left(\arctan\left(\frac{v}{u}\right)\right) + \tan\pi}{1 - \tan\left(\arctan\left(\frac{v}{u}\right)\right) + \tan\pi} = \frac{2 \tan\left(\arctan\left(\frac{1}{t_1}\right)\right)}{1 - \tan^2\left(\arctan\left(\frac{1}{t_1}\right)\right)} \dots\dots\dots (33)$$

Puesto que $\tan\pi = 0$, entonces

$$\tan\left(\arctan\left(\frac{v}{u}\right)\right) = \frac{2 \tan\left(\arctan\left(\frac{1}{t_1}\right)\right)}{1 - \tan^2\left(\arctan\left(\frac{1}{t_1}\right)\right)} \dots\dots\dots (34)$$

que se puede simplificar para dar

$$\frac{v}{u} = \frac{2\left(\frac{1}{t_1}\right)}{1 - \left(\frac{1}{t_1}\right)^2} \dots\dots\dots (35)$$

5

o

$$\frac{t_1^2 - 1}{t_1} = \frac{2u}{v} \dots\dots\dots (36)$$

sustituyendo t_1 de la ecuación (10) en la ecuación (36) y ajustando $y_0 = 0$ y resolviendo x_0 da

$$x_0 = p \dots\dots\dots (37)$$

10 el punto focal de la parábola.

Con referencia de nuevo al vector de dirección (u, v) para un haz de LADAR emitido por el LADAR en un ángulo θ y que tiene una longitud igual a uno, los valores u y v se pueden definir como sigue

$$\begin{aligned} u &= \cos\theta \\ v &= \sin\theta \end{aligned} \dots\dots\dots (38)$$

Y sustituyendo la ecuación (38) en la ecuación (10) da

$$t_1 = \frac{2p \cos\theta \pm \sqrt{(2p \cos\theta)^2 - 4(p \sin\theta)(y_0 \cos\theta - x_0 \sin\theta)}}{2p \sin\theta} \dots\dots\dots (39)$$

15

La expansión de la ecuación (39) y la sustitución de las identidades trigonométricas relevantes d

$$t_1 = \frac{2p \cos \theta \pm \sqrt{2p^2 (\cos 2\theta + 1) - 2py_0 \sin \vartheta + 2px_0 (1 - \cos 2\theta)}}{2p \sin \theta} \dots (40)$$

A partir de la ecuación (3), la coordenada-y en la que el haz de LADAR incide en el espejo se da por

$$y = 2p \frac{2p \cos \theta \pm \sqrt{2p^2 (\cos 2\theta + 1) - 2py_0 \sin \vartheta + 2px_0 (1 - \cos 2\theta)}}{2p \sin \theta} \quad (41)$$

5

o

$$y = \frac{2p \cos \theta \pm \sqrt{2p^2 (\cos 2\theta + 1) - 2py_0 \sin \vartheta + 2px_0 (1 - \cos 2\theta)}}{\sin \theta} \dots (42)$$

La posición del foco de la parábola es (p, 0) y estableciendo de esta manera $y_0 = 0$ da

$$y = \frac{2p \cos \theta \pm \sqrt{2p \cos 2\theta (p - x_0) + 2p(p + x_0)}}{\sin \theta} \dots (43)$$

10 Cuando $x_0 = p$, entonces

$$y = \frac{2p \cos \theta \pm \sqrt{2p(2p)}}{\sin \theta} \dots (44)$$

o

$$y = 2p \frac{\cos \theta \pm 1}{\sin \theta} \dots (45)$$

y

$$15 \quad x = y \tan \theta \dots (46)$$

La derivada de la altura de intercepción con respecto al ángulo se da por

$$\frac{dy}{d\theta} = 2p \frac{d}{d\theta} \left(\frac{\cos \theta \pm 1}{\sin \theta} \right) \dots (47)$$

y

$$\frac{dy}{d\theta} = 2p \frac{d}{d\theta} \left(\frac{\pm \cos\theta - 1}{\sin^2 \theta} \right) \dots\dots\dots (48)$$

La ecuación (48) significa que para θ igualmente espaciada, la altura no estará igualmente espaciada, ya que el gradiente no es independiente de θ .

5 Con referencia a la figura 3, se muestra un grafo que da la altura de intercepción (y) para un ángulo dado del haz de LADAR para un ejemplo que tiene 4000 puntos igualmente espaciados alrededor de 360° (así entre $\pi/2 < \pi < \theta$ existen 1000), donde $\rho = 0,5$.

Además, la figura 4 muestra la diferencia entre las alturas dadas en la figura 3 para los mismos ángulos. Puesto que el grafo está significativamente curvado, está claro que la diferencia en altura no es uniforme, puesto que cambia el ángulo del haz de LADAR.

10 Como resultado de los cálculos anteriores, se puede determinar la altura de intercepción y para un haz de LADAR si se conoce ρ , la distancia desde el vértice hasta el foco de la parábola, se conoce el ángulo del haz de LADAR y el centro de referencia (x_0, y_0) está en el punto focal del espejo parabólico.

Puesto que se puedan calcular las coordenadas x e y del punto de intercepción sobre el espejo parabólico, es posible corregir cualquier cálculo de la distancia para tener en cuenta el espejo 14. Con referencia a la figura 5, los 15 medios de transmisión y de recepción de láser 12 y el espejo parabólico 14 de la figura 1 se muestran con referencia a un sistema de coordenadas x - y que tiene su punto de referencia (x_0, y_0) en el punto focal del espejo parabólico 14. Se emite un haz 24 desde una unidad de láser en los medios de transmisión y de recepción de láser 12 y es reflejado desde el espejo parabólico en el punto de intercepción ($x, \hat{y}$) antes de ser reflejado de retorno a lo largo de la misma trayectoria desde un objeto (no mostrado). Los medios de análisis de la demora de tiempo 20 calculan la demora de tiempo entre la emisión del haz de láser 24 y la recepción de la luz reflejada en los medios de recepción de la luz. Los medios de análisis de la posición 22 pueden calcular entonces una distancia d_t entre la unidad de láser y el objeto a lo largo de la trayectoria del haz de láser 24. Una vez que la distancia d_t ha sido calculada hasta el objeto sobre la base de la demora de tiempo de la luz reflejada, se puede deducir la distancia adicional recorrida por el haz de LADAR debida a la reflexión desde el espejo parabólico. Puesto que tenemos la localización de la 25 intercepción ($x, \hat{y}$), la distancia desde el punto de referencia d_{ref} se puede calcular como sigue

$$d_{ref} = d_t - \hat{x} - \sqrt{\hat{x}^2 + \hat{y}^2} \dots\dots\dots (49)$$

Como tal, el sistema puede proporcionar una posición de las coordenadas cartesianas para un objeto que refleja luz desde una emisión de haz de LADAR utilizando un espejo parabólico.

30 Con referencia de nuevo a la figura 1, los objetos B y C no son detectados por ninguna de las trayectorias del haz de LADAR P_1 a P_{15} debido a la naturaleza divergente de las trayectorias del haz. Si la dirección de la trayectoria del haz P_8 es, por ejemplo, la dirección de avance de un vehículo autónomo, es importante detectar los objetos B y C. Los sistemas de la técnica anterior incrementan la resolución incrementando las sub-divisiones de ángulos en los que se emiten haces de láser. Esto se posibilita a menudo incrementando el número de láseres utilizados en el sistema.

35 Si una dirección particular es de máximo interés, tal como es el caso con vehículos autónomos, entonces la utilización de un espejo puede incrementar la resolución en esa dirección. Como se muestra en la figura 1, el espejo 14 posibilita utilizar las trayectorias del haz de láser en una dirección que es de menos interés, tal como detrás de un vehículo, para incrementar la resolución en otra dirección, que en este caso es en la dirección de la trayectoria del haz P_8 . El objeto B es detectado por las trayectorias del haz C_6 y C_7 y el objeto C es detectado por las trayectorias del haz C_2 y C_3 . Además, en el caso especial de un espejo parabólico, la resolución no se reduce con la distancia 40 desde la unidad de LADAR 10.

Aunque el sistema anterior se describe con relación a un espejo parabólico, otros espejos cóncavos pueden mejorar también la resolución del sistema, aunque sin el beneficio añadido de cálculo directo en el sistema de coordenadas cartesianas. Además, se puede contemplar que los rayos de luz reflejados pueden converger incluso desde un espejo para dar resolución incrementada en un punto particular.

45 Además, aunque el espejo descrito aquí se refiere como un espejo individual, se pueden utilizar múltiples espejos o matrices de espejos para proporcionar el mismo efecto. Además, es posible dentro del alcance de la invención añadir otros elementos ópticos, tales como lentes de refracción, para alterar la trayectoria de los rayos de luz. Los

rayos de luz podrían ser refractados antes de que sean reflejados desde los medios de reflexión o, si no se pretende que sean reflejados desde los medios de reflexión, converger los rayos de luz más que lo hubieran sido.

- 5 La aplicación principal contemplada para un LADAR de este tipo es en vehículos autónomos en sistemas tales como sistemas de prevención de colisiones o sistemas de selección de terreno. Para cualquiera de las dos aplicaciones, el LIDAR podría montarse a la altura de las ruedas, alrededor de la posición en la que los faros serían colocados normalmente, con el fin de detectar objetos tales como rodadas en la carretera. De esta manera, un vehículo autónomo puede seleccionar no sólo objetos a evitar sino el terreno más propicio para seguir avanzando. Dado que la información que el LIDAR puede proporcionar se puede utilizar en estos sistemas para vehículos autónomos, se puede contemplar que se pueda utilizar en sistemas de asistencia al conductor en vehículos para entrenamiento o
- 10 aviso a los conductores sobre objetos u opciones del terreno.

15

REIVINDICACIONES

1.- Un aparato (10) de Detección y Alcance de la Luz (LIDAR), que comprende:

un medio de fuente de luz (12) apto para emitir un rayo de luz (C_1 a C_8 y P_1 a P_{15}) y dispuesto de tal manera que el rayo de luz es giratorio a través de 360° alrededor de un centro de rotación, siendo emitido el rayo de luz en una pluralidad de intervalos angulares;

un espejo de parabólico (14) que tiene un punto focal, estando posicionado el espejo de parabólico de tal manera que el centro de rotación del rayo de luz está localizado sustancialmente en el punto focal y el espejo de parabólico cae dentro de un alcance angular inferior a 180° , y los rayos de luz sucesivos emitidos (C_1 a C_8), una vez reflejados desde el espejo parabólico (14), siguen una trayectoria sustancialmente paralela;

unos medios de recepción (12) para la recepción de luz reflejada desde una o más características en la trayectoria del rayo de luz; y

medios de análisis (16) para calcular una posición en la que una o más características están presentes sobre la base del ángulo en el que el rayo de luz ha sido emitido y la demora de tiempo asociada con la luz reflejada recibida, en el que, cuando el rayo de luz es reflejado por el espejo parabólico, los medios de análisis tienen en cuenta la reflexión del espejo parabólico y la posición de la o de cada característica es calculada utilizando un sistema de coordenadas cartesianas que tiene un punto de referencia en el punto focal y en el que cuando el rayo de luz es emitido en un ángulo tal que el rayo de luz no es reflejado por el espejo parabólico, los medios de análisis son capaces de calcular una posición de la coordenada polar para cualquier característica que refleja luz desde el rayo de luz.

2.- Un LIDAR de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los medios de fuente de luz y los medios de recepción están colocados en el punto focal.

3.- Un LIDAR de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que los medios de análisis (16) calculan un punto de intercepción, que es el punto en el rayo de luz es reflejado desde el espejo parabólico (14).

4.- Un LIDAR de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la fuente de luz es al menos un láser y el rayo de luz es un haz de láser.

5.- Un LIDAR de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende, además, un medio de refracción apto para refractar rayos de luz para reducir la divergencia desde los medios de fuente de luz.

6.- Un LIDAR de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende, además, medios de movimiento de la dirección dispuestos para panoramizar o inclinar el aparato y permitir que rayos de luz reflejados desde el espejo parabólico sean dirigidos en una dirección particular.

7.- Un LIDAR de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el espejo parabólico cae dentro de un alcance angular de sustancialmente 120° .

8.- Un método de funcionamiento de un LIDAR que tiene unos medios de fuente de luz, que comprende las etapas de:

(i) emitir un rayo de luz desde los medios de fuente de luz a intervalos regulares;

(ii) hacer girar el rayo de luz a través de 360° alrededor de un centro de rotación en una pluralidad de intervalos angulares;

(iii) reflejar el rayo de luz desde un espejo parabólico que tiene un punto focal, estando posicionado el espejo parabólico de tal manera que el centro de rotación del rayo de luz está localizado sustancialmente en el punto focal y el espejo parabólico cae dentro de un alcance angular inferior a 180° , de manera que los rayos de luz reflejados desde el espejo parabólico están sustancialmente paralelos;

(iv) recibir luz reflejada desde una o más características en la trayectoria del rayo de luz:

(v) calcular una posición, en la que una o más características están presentes sobre la base del ángulo en el que el rayo de luz ha sido emitido y la demora de tiempo asociada con la luz reflejada recibida, en el que, cuando el rayo de luz es reflejado por el espejo parabólico, los medios de análisis tienen en cuenta la reflexión del espejo parabólico y la posición de la o de cada característica es calculada utilizando un sistema de coordenadas cartesianas que tiene un punto de referencia en el punto focal y en el que cuando el rayo de luz es emitido en un ángulo tal que el rayo de luz no es reflejado por el espejo parabólico, los medios de análisis son capaces de calcular

una posición de la coordenada polar para cualquier característica que refleja luz desde el rayo de luz.

9.- Un método de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la etapa (v) calcula un punto de intercepción, que es el punto en el que el rayo de luz es reflejado desde el espejo parabólico.

5 10.- Un vehículo autónomo que comprende un sistema de prevención de la colisión del vehículo que comprende un LIDAR de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

11.- Un vehículo autónomo que comprende un sistema de selección de terreno preferido, que comprende un LIDAR de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

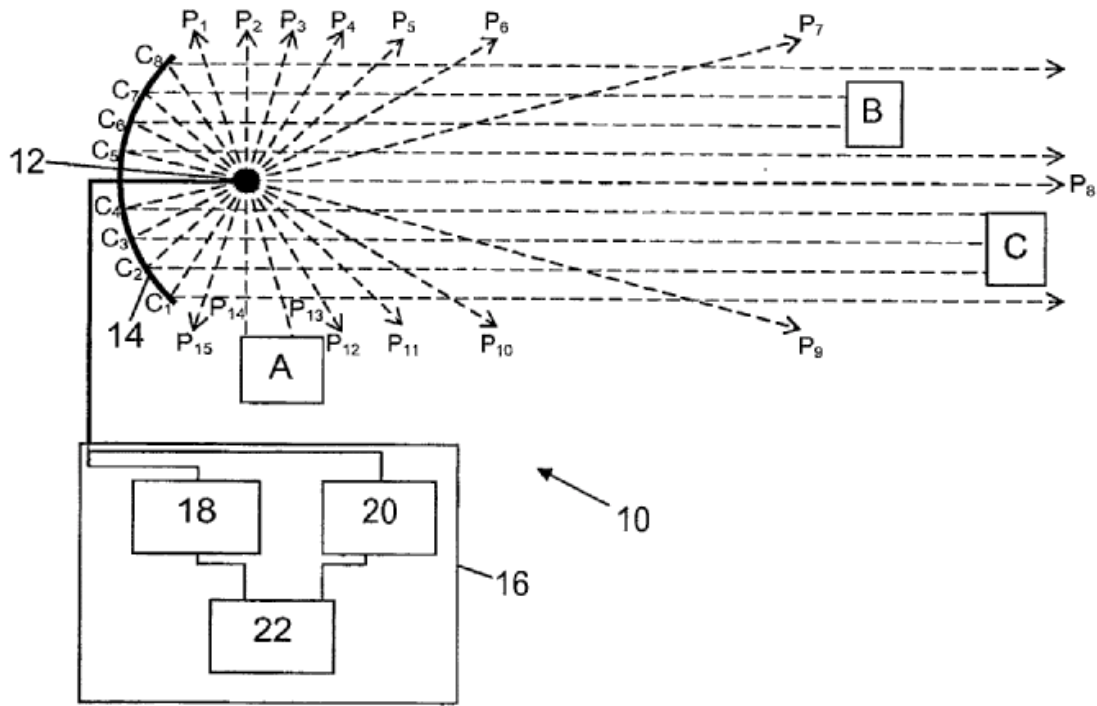


Fig. 1

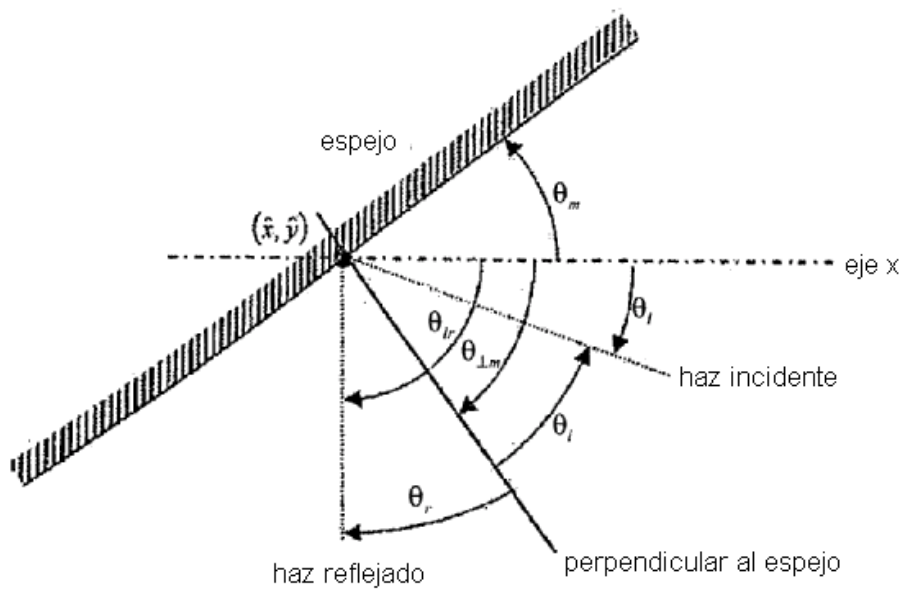


Fig. 2

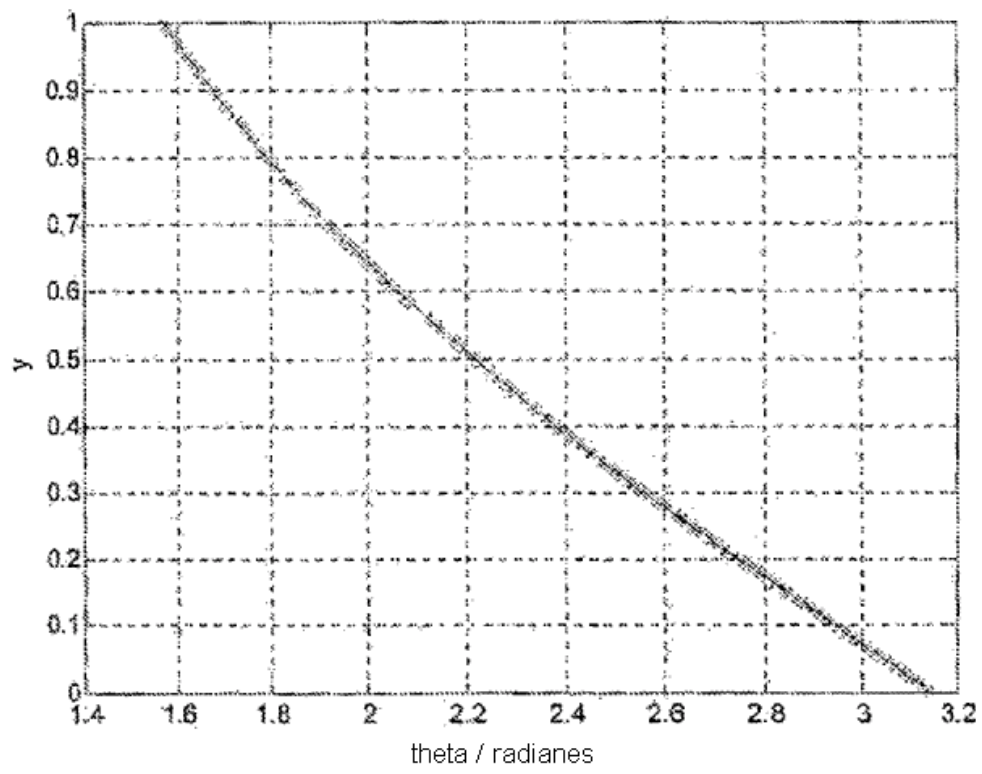


Fig. 3

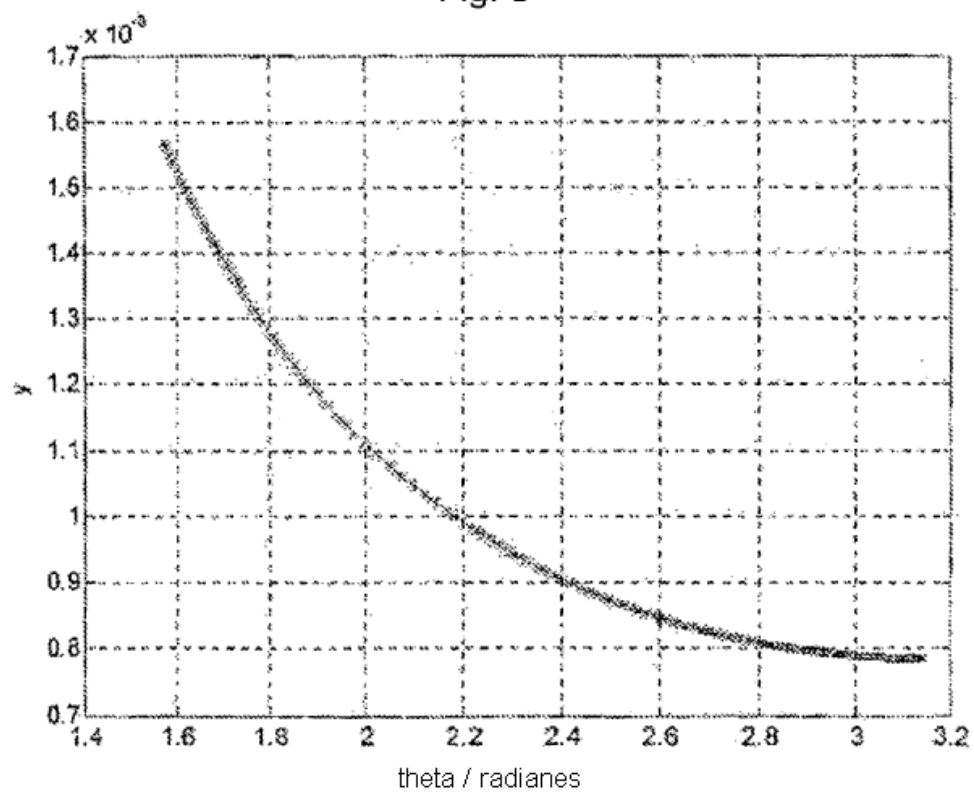


Fig. 4

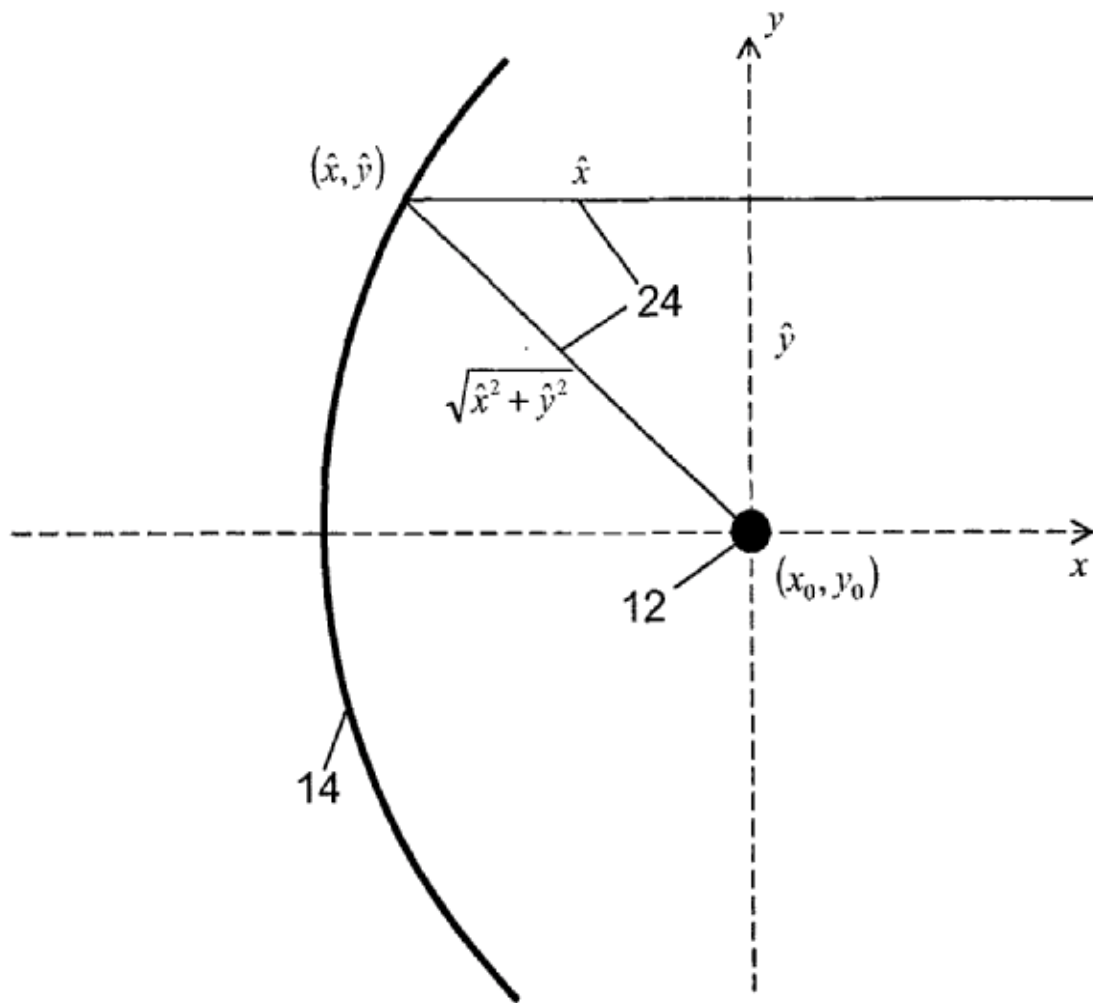


Fig. 5