



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 285 000**

51 Int. Cl.:
G01S 17/89 (2006.01)
G01S 17/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **03006049 .5**
86 Fecha de presentación : **19.03.2003**
87 Número de publicación de la solicitud: **1460453**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **22.09.2004**

54 Título: **Sistema de visión tridimensional.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2007

73 Titular/es:
C.R.F. SOCIETA' CONSORTILE PER AZIONI
Strada Torino, 50
10043 Orbassano, Torino, IT

72 Inventor/es: **Liotti, Luca;**
Repetto, Pier Mario;
Dugand, Marie Marguerite;
Borello, Elena;
Balocco, Elena y
Perlo, Piero

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 285 000 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).

ES 2 285 000 T3

DESCRIPCIÓN

Sistema de visión tridimensional.

5 La presente invención se refiere al campo de los sistemas de visión tridimensional del tipo definido en el preámbulo de la reivindicación 1.

10 Por el documento WO-A-03016944, a partir del cual se ha redactado el borrador del preámbulo de la reivindicación 1, se conoce un dispositivo para grabar imágenes tridimensionales de una superficie de un objeto con medición de distancias midiendo el tiempo de propagación de la luz mediante un fotodetector integrado de corto plazo. Se efectúa una operación de interpolación en los datos adquiridos en las ventanas de integración.

15 La patente US nº 6.057.909 da a conocer un sistema que detecta un escenario enviando impulsos de luz con una duración determinada T e integrando las señales recibidas en una ventana de tiempo de la misma duración T desplazada un tiempo determinado τ . La selección de esta duración y tiempo de desplazamiento τ determina la profundidad de campo del sistema. Se disponen una serie de obturadores lineales que hacen detectable para cada sensor únicamente una sección laminar del escenario cada vez, en un barrido secuencial realizado en cada hilera de fotodetectores.

20 El documento US2001/0024271 da a conocer un aparato de medición de distancias que utiliza fotodetectores para detectar señales de eco, que se ocupa de la solución del problema del ruido granular, es decir, la fluctuación cuántica de los electrones fotogenerados, ponderando el número de electrones acumulado en las ventanas de integración adyacentes correspondientes a las primera y segunda secuencias consecutivas.

25 El objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de visión tridimensional del tipo especificado anteriormente que será capaz de reconstruir un escenario comprendido en un campo de visión FOV y con una profundidad de campo limitada entre un valor d_{\min} y un valor d_{\max} .

30 Para alcanzar el objetivo anterior, el sistema según la invención comprende las características de la parte caracterizadora de la reivindicación 1.

35 En una forma de realización preferida de la invención, el sistema de visión tridimensional está diseñado para presentar una duración de Δt del impulso igual a:

$$\Delta t = 2 (d_{\max} - d_{\min}) / (n-1) c$$

en la que c es la velocidad de la luz y n es el número de secuencias.

40 De nuevo según la forma de realización preferida, la duración Δt_f de cada ventana es igual a la duración del impulso Δt de la fuente.

45 El módulo de transmisión mencionado anteriormente puede basarse en un láser único o en una serie de láseres, en un LED único o en una serie de LED, o en cualquier otra fuente de luz, preferentemente con emisión en la IR cercana (entre $0,78 \mu\text{m}$ y $1,1 \mu\text{m}$) o también en la infrarroja.

El módulo receptor es preferentemente una serie de sensores CCD o una serie de sensores CMOS.

El módulo de transmisión puede ser explorado mecánicamente o electrónicamente.

50 Alternativamente, el módulo receptor está formado por un único sensor explorado mecánicamente o electroópticamente.

55 Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto claramente a partir de la siguiente descripción considerada conjuntamente con los dibujos adjuntos, presentados únicamente a título de ejemplo no limitativo, en los cuales:

- la figura 1 es un diagrama de bloques del sistema de visión tridimensional según la invención; y

- las figuras 2, 3 y 4 son diagramas que ilustran los principios básicos del sistema de visión según la invención.

60 Con referencia a la figura 1, el número de referencia 1 designa globalmente el módulo de transmisión del sistema según la invención, mientras que el número de referencia 2 designa el módulo receptor, el cual recibe la señal reflejada por un obstáculo que forma parte del escenario, con el cual choca la radiación emitida por el módulo de transmisión 1. El módulo de transmisión 1 y el módulo receptor 2 llevan asociados medios de procesamiento-sincronización 3.

65 A continuación se describe brevemente el principio teórico subyacente en el sistema según la invención.

ES 2 285 000 T3

Suponiendo la necesidad de medir la distancia de objetos en un intervalo de distancia D, el tiempo que tarda una señal de luz para cubrir un intervalo de distancia 2D es el siguiente:

$$T_0 = 2D/c$$

en la que c es la velocidad de la luz.

El tiempo T_0 también es el tiempo máximo que tarda el impulso luminoso en ser detectado si ha sido reflejado por objetos a una distancia no superior a D.

En el sistema según la invención, en el instante $t_0 = 0$, el módulo de transmisión 1 emite un primer impulso luminoso de duración Δt . Se impone la necesidad de que Δt sea un número entero submúltiplo de T_0 , es decir, por ejemplo para satisfacer la relación $(k-1)\Delta t = T_0$, en la que k es un número entero. Dicha situación se ilustra en el diagrama de la figura 2.

El impulso transmitido choca con un obstáculo, es reflejado, y un porcentaje del impulso (que depende de la distancia, la reflectancia, etc.) rebota y es detectado por el receptor 2. En el mismo instante $t_0 = 0$, el receptor empieza a integrar las señales recibidas en k ventanas de tiempo consecutivas de longitud Δt , en las cuales se acumulan un número n_j ($j = 1, \dots, k$) de electrones (ver figura 3).

De este modo, en las ventanas k (de amplitud total $T_0 + \Delta t$) se encuentran integrados todos los impulsos reflejados por objetos a una distancia comprendida entre 0 y D que caen en la primera y en la última ventana, y solamente éstos. Los impulsos reflejados por obstáculos a una distancia superior a D no se detectan. El impulso de eco reflejado por el objeto cae dentro de una o dos ventanas de integración. En general, una primera fracción de la longitud Δt_1 del impulso de eco caerá en la ventana i-ava, y la parte restante, que presenta una longitud Δt_2 , caerá en la ventana 1+i-ava ($\Delta t_2 + \Delta t_1 = \Delta t$). Si el impulso de eco cae completamente dentro de una única ventana, será $\Delta t_2 = 0$.

El intervalo de tiempo entre el instante $t_0 = 0$ y el borde ascendente del impulso de eco es igual al tiempo de vuelo del impulso, y permite deducir la distancia a la que se encuentra el objeto. El número de electrones integrado en cada ventana individual depende de la señal de fondo y de la intensidad de la señal de eco recibida, la cual, a su vez, depende de la reflectividad y de la distancia a la que se encuentra el objeto (ver figura 4).

Si para cada ventana de integración individual, N es el número de electrones de fondo y N_{eco} es el número total de electrones de la señal recibida, el número n_i de electrones integrados en la ventana i-ava es igual a:

$$n_k = N \text{ para cada } k \text{ distinta de } \{i, i+1\}$$

$$n_i = N + N_{eco} \Delta t_1 / \Delta t$$

$$n_{i+1} = N + N_{eco} \Delta t_2 / \Delta t.$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores, se obtiene la ecuación siguiente:

$$\Delta t_1 = (n_i - N) / (n_{i+1} + n_i - 2N) \Delta t$$

Resulta evidente que, para el cálculo del Δt_1 según la técnica presente, es suficiente utilizar solamente dos ventanas de integración n_i y n_{i+1} únicamente en el caso de que el número de electrones de fondo N sea cero o, en cualquier caso, sea muy pequeño en comparación con el número de electrones de señal. En general, para N distinto de cero (como sucede cuando se aplica la técnica en entornos iluminados interiores o exteriores), resulta necesaria la utilización de por lo menos una tercera ventana de integración (n_k), lo cual permite reducir de forma significativa el error de cálculo de la distancia.

La ventana de integración para la adquisición del fondo también puede encontrarse temporalmente fuera de fase respecto a la anterior, para no captar la radiación de eco procedente de obstáculos situados en el rango de distancia de interés y captar solamente la radiación correspondiente al fondo. En este sentido, mientras que cada secuencia correspondiente a la ventana para la captación de la señal de eco debe encontrarse necesariamente, de forma temporal, fuera de fase respecto a la anterior durante un intervalo de tiempo igual a la duración de la propia ventana, la secuencia correspondiente a la ventana para recoger la señal de fondo puede encontrarse fuera de fase en un intervalo superior.

La distancia d del objeto es:

$$d = [i - (\Delta t_1 / \Delta t)] * D / k$$

ES 2 285 000 T3

La fórmula para la medición de la distancia contiene la relación entre el número de electrones integrados en la ventana de interés: por lo tanto, el resultado ya es independiente de la reflectividad del objeto y sólo depende de la distancia del mismo al receptor. El error en las cantidades individuales n_j depende de diversos factores: ruido granular, ruido oscuro, ruido de inicialización, etc. En el caso de la invención, sólo se tiene en cuenta el ruido granular de la señal, que, en condiciones de intensidad luminosa normal, representa la contribución dominante. El error en cada cantidad n_j será:

$$\sigma_{n_j} = \sqrt{n_j}$$

Si el error en la fórmula para la obtención del Δt_1 se propaga bajo hipótesis gaussianas, el error σ_d en la medición de la distancia se obtiene mediante la ecuación siguiente:

$$\sigma_d = D/k / (n_{i+1} + n_i - 2N) \sqrt{(2n_i + n_{i+1} + 5N)}$$

Si se considera el hecho de que $n_{i+1} + n_i - 2N$ es el número de electrones integrados generado precisamente por la señal transmitida, se encuentra que:

$$\sigma_d \leq \sigma_{\max} = D/k / N_{\text{sig}} \sqrt{(2N_{\text{sig}} + 8N)} \quad \sigma_{\max} = \text{error máximo}$$

La adquisición de las diversas cantidades n_k se realiza mediante la integración en serie de la señal en las ventanas individuales durante un gran número de veces. El símbolo de aproximación depende del hecho de que se han despreciado algunos factores de demora, como por ejemplo los tiempos de lectura.

Naturalmente, sin perjuicio del principio de la invención, los detalles de implementación y las formas de realización pueden variar ampliamente respecto a la descripción anterior y a los dibujos adjuntos, presentados únicamente a título de ejemplo, sin apartarse por ello del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de visión tridimensional, que comprende:

- un módulo de transmisión (1), que incluye una fuente de radiación, estando constituido el módulo de transmisión por una fuente pulsada que ilumina un escenario para registrarlo en tres dimensiones, la cual, para cada grabación tridimensional, emite $Q = m \times k$ impulsos de duración Δt , con una frecuencia de repetición igual a $f = dc/\Delta t$, siendo dc el ciclo de trabajo de la señal de fuente pulsada;
- un módulo receptor (2), que comprende por lo menos un elemento fotosensible, que puede funcionar en la misma ventana espectral que dicha fuente de radiación, estando adaptado dicho módulo receptor para recibir radiación de dicha fuente de radiación y reflejada de un objeto situado dentro de dicho escenario; y
- unos medios electrónicos de control y procesamiento (3) asociados con dicho módulo receptor;

comprendiendo dichos medios electrónicos de control y procesamiento unos medios de procesamiento-sincronización capaces de efectuar, para cada secuencia, una operación de integración de los impulsos de eco m asociados con dicha secuencia k , utilizándose dicha operación de integración para acumular un número de electrones (n_j) a través de m ventanas de integración, presentando cada una de dichas ventanas de integración una duración Δt_f y una frecuencia de repetición f , y siendo la diferencia de fase entre la primera ventana y la primera secuencia de ventanas de integración y el borde ascendente del primer impulso transmitido igual a τ ;

caracterizado porque

cada una de dichas secuencias k de ventanas de integración se encuentra temporalmente fuera de fase respecto a la secuencia anterior de ventanas de integración durante un intervalo de tiempo igual a la duración del impulso Δt , siendo dicho tiempo de duración Δt_f igual al Δt , siendo dicha duración del impulso Δt un número entero submúltiplo de un tiempo de vuelo máximo (T_0); y porque

dichos medios de control y procesamiento (3) comprenden además unos medios adaptados para calcular la distancia cubierta por dicha radiación mediante las etapas siguientes:

- a) identificar, entre dichas secuencias k de ventanas de integración, unas primera y segunda secuencias consecutivas de ventanas de integración recibidas en un mismo elemento fotosensible en el cual se encuentra integrado el impulso de eco, y
- b) realizar un cálculo que contiene una relación del número ($n_i; n_{i+1}$) de electrones acumulados en dichas ventanas correspondiente a dichas primera y segunda secuencias consecutivas de ventanas de integración para determinar el borde ascendente de dicho impulso de eco respecto a dichas secuencias de ventanas de integración, y
- c) extrapolar, basándose en la posición (i) de dicha primera secuencia de ventanas de integración identificada entre dichas secuencias k de ventanas de integración, el tiempo de vuelo del impulso, siendo dicho tiempo de vuelo igual a la distancia en tiempo entre el borde ascendente del impulso y el borde ascendente del impulso de eco recibido.

2. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que la diferencia de fases τ entre la primera ventana de la primera secuencia de ventanas de integración y el borde ascendente del primer impulso transmitido es igual al tiempo de vuelo de un impulso reflejado por un objeto a la distancia mínima.

3. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que en dicha duración del impulso Δt , el impulso Δt es un número entero submúltiplo de un tiempo máximo de vuelo (T_0) según las relaciones:

$$\Delta t = 2 (d_{\max} - d_{\min}) / (k - 1) c$$

y

$$(k-1) \Delta t = T_0$$

en las que c es la velocidad de la luz, d_{\max} y d_{\min} son valores que limitan una profundidad de campo y k es el número de secuencias.

4. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que el transmisor se basa en un láser único o en una serie de láseres.

ES 2 285 000 T3

5. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que el transmisor emite radiación en la infrarroja cercana (entre 0,7 y 1,1 μm).
6. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que el receptor es una serie de sensores CCD.
7. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que el receptor es una serie de sensores CMOS.
8. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que el transmisor es explorado mecánicamente o electrónicamente.
9. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que el receptor es un sensor único y es explorado mecánicamente o electroópticamente.
10. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que $d_{\text{max}} = 15$ m y $d_{\text{min}} = 0$, $k = 3$, $m = 1.500$, $dc = 0,1\%$ y $\Delta t = 50$ ns.
11. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que $d_{\text{max}} = 30$ m y $d_{\text{min}} = 0$, $k = 3$, $m = 1.500$, $dc = 0,1\%$ y $\Delta t = 100$ ns.
12. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que $d_{\text{max}} = 30$ m y $d_{\text{min}} = 0$, $k = 5$, $m = 900$, $dc = 0,1\%$ y $\Delta t = 50$ ns.
13. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que las ventanas de integración se obtienen con un modulador electroóptico.
14. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, en el que las ventanas de integración se obtienen con un modulador electromecánico.
15. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, **caracterizado** porque k es superior o igual a 3 para permitir la evaluación del número de electrones de fondo N .
16. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, **caracterizado** porque k es igual a 2, y el sistema para la medición de la distancia se utiliza en aplicaciones **caracterizadas** por un número muy reducido de electrones de fondo k , por ejemplo por la noche.
17. Sistema de visión tridimensional según la reivindicación 1, **caracterizado** porque k es igual a 2, y la medición del número de electrones de fondo N se realiza utilizando una tercera secuencia de ventanas de integración, la cual se encuentra temporalmente fuera de fase respecto a la anterior durante un intervalo de tiempo superior a Δt_f .

