

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 248**

21 Número de solicitud: 201830870

51 Int. Cl.:

G01S 17/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

05.09.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

05.03.2020

71 Solicitantes:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (80.0%)**

C/ Serrano, 117

28006 Madrid ES y

UNIVERSIDAD DE SEVILLA (20.0%)

72 Inventor/es:

VORNICU, Ion;

CARMONA GALÁN, Ricardo y

RODRÍGUEZ VÁZQUEZ, Ángel

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **MÉTODO Y DISPOSITIVO DE DETECCIÓN DE PICO DEL HISTOGRAMA COMPRIMIDO DE LOS VALORES DE PÍXEL EN SENSORES DE TIEMPO DE VUELO DE ALTA RESOLUCIÓN**

57 Resumen:

Método y dispositivo de detección de pico del histograma comprimido de los valores de píxel en sensores de tiempo-de vuelo de alta resolución.

Se describe en este documento método para la detección del pico del histograma comprimido de los valores de píxel en sensores de tiempo-de-vuelo de alta resolución basados en la captura de fotones individuales así como un dispositivo para la detección del pico del histograma comprimido de los valores de píxel en sensores de tiempo-de-vuelo de alta resolución basados en la captura de fotones individuales, que permiten llevar a cabo una precisa detección del pico del histograma formado por todas las medidas del tiempo de vuelo (ToF) obtenidas para cada píxel.

ES 2 746 248 A1

DESCRIPCIÓN

**MÉTODO Y DISPOSITIVO DE DETECCIÓN DE PICO DEL HISTOGRAMA
COMPRESO DE LOS VALORES DE PÍXEL EN SENSORES DE TIEMPO-DE-
VUELO DE ALTA RESOLUCIÓN**

5

OBJETO DE LA INVENCION

El objeto de la invención se enmarca en el campo técnico de la física.

10

Más concretamente el objeto de la invención va dirigido a sensores de tiempo de vuelo (denominados asimismo ToF por sus siglas en inglés), capaces de generar imágenes 3D, mediante la detección de eventos de incidencia de un único fotón.

15 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Los sensores de tiempo de vuelo, capaces de generar imágenes 3D mediante la detección de eventos de incidencia de un único fotón, hacen una estimación directa de la distancia a la que se encuentran los objetos que componen la escena. Mediante una luz pulsada se miden los tiempos que tardan los fotones en recorrer el espacio que
20 separa la fuente luminosa y el sensor de dichos objetos, mientras que mediante una medida indirecta se establecen diferentes periodos de integración de carga de manera sincronizada con los pulsos de luz y luego se correlacionan las cargas acumuladas para obtener una estimación del tiempo de vuelo. En la medida directa se trata de detectar el momento en el que llegan los primeros fotones reflejados. Dado que la
25 llegada de los fotones al sensor está sujeta a la estadística de la transmisión y reflexión de la luz en la óptica del sistema, la eficiencia en la detección de fotones del diodo de avalancha y la probabilidad de que se inicie dicha avalancha, se puede establecer que se trata de un fenómeno estadístico que además se ve afectado por las avalanchas espurias generadas por otros mecanismos y por la incidencia de fotones
30 provenientes de la iluminación de *background*. Para tratar de separar la información relevante del ruido es necesario tomar un número importante de medidas y realizar un filtrado apropiado de las mismas que mejore la relación señal-ruido.

Los sensores de imagen CMOS de tiempo de vuelo basados en detección de fotones
35 individuales mediante, por ejemplo, diodos de avalancha (SPAD), requiere el filtrado

de las lecturas que se obtienen de los píxeles. Para obtener una estimación precisa de la profundidad, teniendo en cuenta que la detección de fotones es un fenómeno estadístico sujeto a la eficiencia cuántica en la de detección del fotón y a la probabilidad de generación de la avalancha, es necesario realizar un cierto número de
5 medidas. Además, se hace necesario separar de manera efectiva los datos que realmente dan una medida del ToF del ruido no correlacionado correspondiente a las cuentas a oscuras y a la iluminación de fondo, que aparecen superpuestos en el valor del píxel.

10 Una herramienta muy útil para esta separación es la construcción de un histograma a partir de un número de lecturas de cada uno de los píxeles. Las futuras generaciones de sensores de tiempo de vuelo tendrán una mayor resolución espacial y temporal, al mismo tiempo que un mayor rango dinámico y una mayor velocidad de refresco. En estas circunstancias, almacenar el histograma completo para cada píxel se vuelve
15 prácticamente imposible.

Las técnicas conocidas en el estado del arte se basan en algoritmos tales como la técnica STG (siglas de su denominación anglosajona *Scanning Time Gated*) que consiste en barrer una puerta pequeña de tiempo en todo el rango dinámico y buscar
20 la información ToF en cada paso construyendo histogramas parciales. El número de pasos es proporcional al rango dinámico (DR por su denominación anglosajona *dynamic range*) dividido por la ventana de tiempo (TG por su denominación anglosajona *time gate*) e inversamente proporcional a la velocidad de cuadro.

25 La técnica referida a la radiación de luz óptica desplazada consiste en la exploración de todo el rango dinámico donde el escaneo se realiza desplazando el pulso de luz en lugar de la TG de adquisición. Se produce un histograma en cada paso del escaneo. Todos los histogramas se combinan en un procesador para obtener el histograma final.

30 Otra técnica conocida es la construcción completa de histogramas que implica la construcción directa de histogramas basada en muestras ToF.

De igual manera, se tiene constancia del documento US20170052065A1 en el cual se describe la técnica STG (*Scanning Time Gated*) en la cual durante una ventana de
35 tiempo (TG) se barre en todo el rango dinámico (DR), construyéndose un histograma

grueso (CH) para cada posición de la TG, es decir, se tienen un número de histogramas $NCH = DR / TG$; lo cual es equivalente a prácticamente dividir el histograma completo correspondiente a todo el rango dinámico en particiones NCH, de hecho, se requiere un NCH más grande debido a la superposición de TGs consecutivas para evitar los efectos de borde. Cuanto más largo es el rango dinámico, mayor es el NCH, lo que significa una menor velocidad de cuadros. Esto sucede porque todos los histogramas parciales deben evaluarse para decidir dónde se encuentran los datos ToF verdaderos. Sin embargo, esta metodología STG es susceptible a detecciones positivas falsas, especialmente para bajos *Signal Noise Ratio* del ToF. Asimismo, en STG, la TG se coloca en la ubicación de verdadero ToF y un histograma final se construye a partir de más medidas. Sin la superposición de ventana de tiempo las técnicas basadas en STG se ven afectada por los efectos de borde.

En US20170003382A1 se detalla un método de preparación de histogramas de una señal de sensor a partir de una matriz de sensores, en particular sensores de proximidad, y el dispositivo correspondiente. Más concretamente se detalla un escaneo como el citado en US20170052065A1, pero en lugar de explorar la ventana de tiempo en todo el rango dinámico, la exploración se lleva a cabo desplazando el pulso óptico; esta metodología descrita en US20170003382A1 tiene una limitación inherente adicional, y es aquella relacionada con la velocidad de cuadros.

En EP2469301A1 se describe cómo generar una representación de una escena en 3D a muy alta velocidad empleando una técnica de exploración progresiva. Además de comprender dos fases, es decir gruesa y fina, se divulga la estimación de ToF basada en la adquisición de modo de ráfaga que involucra detectores paralelos acoplados a difusores de luz, referencias de reloj de 10 GHz, pulsos de láser ultracortos y promediado de tiempo. La aproximación se basa en la exploración progresiva; con la distancia aproximada ya conocida, los circuitos de procesamiento de datos pueden determinar de qué pulso resulta un determinado recuento de fotones, aunque esta configuración normalmente se ve afectada por errores de ambigüedad. Se usan múltiples SPAD en paralelo con el difusor para evitar el tiempo muerto del detector.

En US20150041625A1 se detalla un método de construcción de histograma mediante un enfoque directo (llamando directo al histograma), sin involucrar ningún procesamiento del histograma; como ya es sabido la implementación directa del

histograma completo no es adecuada para matrices de gran tamaño, ToF de alta resolución y amplio rango dinámico (~ 300ns) debido a los grandes requisitos de memoria. Si bien se detalla una compresión de datos en este documento se refiere siempre a la construcción completa de histogramas completos, lo cual es altamente
5 ineficiente aumentando las limitaciones en el rango dinámico de ToF, es decir, el área del histograma escala por 2^N , donde N es el número de bits ToF. Además, cada canal del histograma tiene que implementarse mediante un contador para detección de eventos múltiples, lo cual es aún más ineficiente. Una implementación alternativa referida en US20150041625A1 se realiza con un convertidor paralelo de código
10 termométrico a binario y celdas sumadoras. En ambos casos, este enfoque no puede aplicarse para un rango dinámico alto debido a las limitaciones de tamaño de memoria.

US006504954B1 detalla tanto un método como un aparato de especificación de
15 histograma lineal a intervalos cerrados por partes; es decir describe una invención relacionada con los sistemas y métodos que implementan el procesamiento de especificación de histograma lineal por partes y se emplea en electrónica de procesamiento de video de infrarrojos (FLIR); más concretamente el objeto de la invención descrita está específicamente diseñado para procesamiento de video e
20 imágenes en 2D. En US006504954B1 se trabaja entre una representación interna de alto rango dinámico de la señal de video y una representación de rango dinámico inferior adecuada para mostrar en un monitor monocromático, teniendo como aplicación principal la mejora de contraste y la conversión de rango dinámico en los procesadores de video. El sistema y los métodos descritos en US006504954B1
25 utilizan una función de transferencia lineal a tramos acoplada con una colección de histogramas gruesos para reducir el ancho de banda en comparación con el método de histograma convencional; lo cual implica que también se requiere un algoritmo de ciclo cerrado para lograr un histograma grueso especificado, teniendo un número de bandejas en el histograma grueso igual al número de segmentos linealizados a
30 tramos. La linealización a tramos descrita en US006504954B1 se usa para reducir los datos de entrada digital de manera que se pueda construir un histograma grueso, el cual tiene el mismo número de intervalos que el número de segmentos linealizados a tramos, es decir, menos intervalos que el método del histograma convencional; sin embargo, la construcción del histograma es convencional. La compresión de los datos
35 de entrada se basa en el método de linealización a tramos.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El objeto de la invención, tanto en su aspecto relacionado con el método como el aspecto referido al sistema, está concebido para la realización práctica de este filtrado, en concreto la detección del pico del histograma formado por todas las medidas del tiempo de vuelo obtenidas para cada píxel. Se trata de un constructor de histograma comprimido que opera con una cantidad de memoria reducida mediante una aproximación grueso-fino que permite descartar la memorización de aquellas zonas del histograma que no contienen información relevante. Como resultado de esta simplificación, es posible implementar un canal de procesamiento de las lecturas generadas en cada píxel en tiempo real, lo que permitiría obtener la imagen 3D filtrada en tiempo real. Por lo tanto, el objeto de la invención propuesta se basa en un enfoque totalmente diferente de construir un histograma comprimido como los conocidos en el arte previo; más concretamente la invención propuesta se basa en el cambio de histogramas que hace un zoom directamente en el histograma completo e implica que no se hace necesario utilizar el escaneo, lo cual es una gran ventaja desde el punto de vista de la velocidad; por ejemplo, en lugar de adquirir N histogramas groseros CH, p. ej. 81, se requiere solo un histograma. Además, el objeto de la invención es más preciso y mucho más rápido que, por ejemplo, aquellas técnicas conocidas basadas en el conteo de fotones en TG escaneados; a modo de ejemplo el objeto de la invención requiere solo un CH, sin importar el rango dinámico.

El objeto de la invención contempla la posibilidad de trabajar con lecturas del tiempo de vuelo de hasta 15 bits, lo que permite que se aplique a sensores de imagen de tiempo de vuelo de futuras generaciones en las que puede anticiparse un aumento de la resolución temporal y espacial, y un aumento del rango dinámico y de la frecuencia de refresco de la imagen.

El objeto de la invención permite, teniendo en cuenta que la mayor parte de la información contenida en el histograma corresponde al nivel de ruido, almacenar de manera eficiente sólo aquellos datos, considerados relevantes, necesarios para el cálculo del tiempo de vuelo (ToF por sus siglas en inglés).

El objeto de la invención emplea la conversión fina simplemente acercando el histograma completo, centrado en los datos de ToF. Esta técnica permite la construcción de, por ejemplo, solo 2 histogramas en lugar de al menos 82 para el

enfoque de barrido (81 CH + 1 histograma final). Consecuentemente, un aumento del rango dinámico no implica una disminución de la velocidad de cuadro como ocurre en todos los métodos de escaneo conocidos, permitiendo el número variable de bits ToF utilizando el mismo hardware: lo cual implica una gran ventaja para los lectores de imágenes de frecuencia de fotogramas adaptativos. El objeto de la invención tiene especial aplicación en implementaciones con ratio señal ruido bajo, que puede darse en aplicaciones LiDAR con iluminación de fondo alta.

El método objeto de un primer aspecto de la invención permite llevar a cabo la extracción del valor que más se repite en un histograma (formado por las estimaciones del tiempo de vuelo de la luz medido por un píxel basado en SPADs. Este objeto de la invención explota el hecho de que el ruido descorrelacionado está distribuido de manera uniforme por todo el histograma y que la información relevante se va concentrar alrededor del valor de pico, por lo que no es necesario almacenar el histograma completo.

Para ello, se procede a desplazar los valores hacia la zona más interesante del histograma, a la cual le aplicamos el análisis (detección del valor más frecuente) que antes se realizaba sobre el histograma completo. Es decir, se puede hacer uso de un histograma de los datos de cada píxel en los cuadros intermedios desplazado a la zona de mayor probabilidad de detección del fotón, con lo cual se requiere una memoria que es 128 veces más pequeña que la que sería necesaria para almacenar el histograma completo. De hecho, con una memoria de $2E+08$ bits sería suficiente para procesar un histograma que originalmente contuviera $2E+15$ segmentos mientras que la frecuencia de refresco global disminuiría sólo a la mitad.

En un segundo aspecto del objeto de la invención se tiene un dispositivo referido a una posible implementación hardware del método del primer aspecto de la invención, como puede ser una implementación en un chip tal como un FPGA o un circuito específico. La implementación propuesta como este segundo aspecto de la invención puede venir dada por la incorporación de un circuito para extraer el valor de ToF del histograma en tiempo real, tal como justo al final de la fase de adquisición, el ToF está disponible de inmediato, sin requerir procesamiento adicional.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra los tres tipos de histogramas de los que se habla en el texto: el histograma completo (6), el histograma grueso (7) y el histograma fino (10) así como un zoom del histograma completo (6). Estos histogramas contienen medidas obtenidas por un único píxel.

Figura 2.- Muestra un diagrama de flujo del algoritmo con un bucle para la detección de la posición del pico del histograma grueso (7) a la izquierda y un bucle para la detección de la posición del pico del histograma fino (10) a la derecha.

Figura 3.- Muestra un diagrama donde se aprecian los distintos bloques de la implementación física del objeto de la invención definida como un segundo aspecto de la misma. El diagrama mostrado corresponde a $N_p = 15$, $N_h = 10$ y $N_b = 8$.

Figura 4.- Muestra un diagrama esquemático de la estructura interna del detector de la posición del pico.

Figura 5.- Muestra un diagrama que representa la estructura interna del filtro digital.

25 **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION**

En una posible realización preferente del objeto de la invención se parte de la premisa de que un histograma completo (6) (como el que se aprecia en la figura 1) formado por un cierto número de estimaciones del tiempo de vuelo ToF en un píxel con un SPAD comprende dos elementos fundamentales:

- Una campana de Gauss (4) que codifica el valor del ToF en la posición del valor máximo de dicha campana de Gauss (4), y el *jitter* del propio SPAD y del TDC combinados, en su desviación típica.

- Un umbral de ruido (5) que contiene todas las medidas que no están correlacionadas con la llegada de los fotones de la fuente pulsada reflejados por los objetos de la escena.

5 Puede entenderse que no es necesario almacenar todas las muestras que definen este umbral de ruido (5), dado que contienen información redundante acerca de la cantidad de ocasiones en las que se dispara una avalancha espuria. De hecho, sólo un reducido número de barras del histograma contienen información relevante.

10 Consideremos que 2^{N_b} barras son suficientes para esta labor, con independencia del número de bits empleados para codificar el valor del píxel (N_p). La clave está en encontrar el modo de hacer zoom en el histograma completo de modo que la campana de Gauss (4) antes mencionada se encuentre centrada en un histograma de sólo 2^{N_b} barras.

15

El método propuesto consiste en la generación de un histograma grueso (7) y un histograma fino (10), cada uno de ellos preferentemente de 2^{N_b} barras, para lo que necesitaremos una memoria de $2^{N_b} \cdot N_h$ bits. En la práctica, si tomamos $N_b = 8$, vamos a poder calcular histogramas de ToF on-the-fly de sensores que generan valores de

20 píxel con un N_p de hasta 15 bits.

El procedimiento que vamos a seguir está descrito por el diagrama de bloques de la figura 2. En primer lugar, generamos una aproximación grosera (grueso) de la posición del pico construyendo un histograma grueso (7) con los N_b bits más significativos del valor del píxel, tal y como se aprecia en la figura 1. Este histograma grueso (7) se

25 obtiene filtrando las medidas del ToF eliminando los $(N_p - N_b)$ bits menos significativos y quedándonos únicamente con los N_b bits más significativos. De este histograma grueso (7) se obtiene la posición del pico, $b_{M,grueso}$, mediante la detección de la medida de ToF que más se repite. Este procedimiento está descrito por el bucle

30 de la izquierda del diagrama de la figura 2.

A continuación, se obtiene el histograma fino (10), el cual se obtiene haciendo una segunda captura con los valores de píxel filtrado con umbrales TH+ y TH- que se refieren al histograma completo (6), con valores codificados en N_b bits. Este

35 histograma fino (10) se obtiene en una segunda captura. A partir de valor $b_{M,grueso}$ se

calcula un umbral superior (8) y un umbral inferior (9) que se pueden identificar en la figura 1:

$$TH_+ = (2^{N_p - N_b})b_{M,grueso} + 2^{N_b - 1} - \text{desfase}$$

$$TH_- = (2^{N_p - N_b})b_{M,grueso} - 2^{N_b - 1} - \text{desfase}$$

Los umbrales (8,9), están referidos al rango del histograma completo (6). Los umbrales (8,9) permiten determinar si los valores de píxel que se están capturando para la generación del histograma fino (10) están dentro de una ventana de 2^{N_b} niveles centrada alrededor del máximo del histograma completo (6). Si el valor de píxel no se encuentra entre los umbrales (8,9), se descarta, si se encuentra entre los umbrales (8,9), se realiza un desplazamiento del valor del píxel con el fin de acomodar estos valores en un el histograma fino (10) con 2^{N_b} niveles, es decir, cuyas barras se encuentran en posiciones codificadas por únicamente N_b bits. Este desplazamiento viene dado por:

$$\Delta = 2^{N_b} \left\{ \text{floor} \left[\frac{(2^{N_p - N_b})b_{M,grueso} + 2^{N_b - 1} - \text{desfase}}{2^{N_b}} \right] - 1 \right\} + \text{mod} \left[\frac{(2^{N_p - N_b})b_{M,grueso} + 2^{N_b - 1} - \text{desfase}}{2^{N_b}} \right]$$

Este histograma fino (10) tendrá también un valor máximo, cuya posición es $b_{M,fin}$. Para determinar correctamente la posición de dicho máximo, habrá que desplazar este valor de $b_{M,fin}$, que está representado en un rango de N_b bits, al rango descrito por los N_p bits originales del histograma completo (6), de modo que la posición del valor del pico que corresponde a la medida precisa del ToF es finalmente:

$$B_M = b_{M,fin} + \Delta$$

De este modo habremos obtenido el valor más repetido de un histograma de valores codificados por N_p bits, con los recursos de memoria necesarios para obtener un histograma de valores codificados por únicamente N_b bits. Esta memoria la utilizaremos para obtener el histograma grueso (7) y acto seguido se procede a sobrescribir la misma para obtener el histograma fino (10). De este modo utilizaremos una memoria $2^{N_p - N_b}$ veces más reducida.

La implementación física del objeto de la invención consta de los bloques expuestos en la figura 3. En este diagrama, $N_p = 15$, $N_h = 10$ y $N_b = 8$. Los bloques principales del diagrama son: un deserializador (11) preferentemente tipo SIPO de N_p bits de entrada serial y salida paralela, un registro (12) preferentemente de tipo PIPO de entrada y salida paralelas de N_p bits, un filtro digital (13), un multiplexor (14) con preferentemente dos entradas de N_b bits, una memoria (15) preferentemente tipo RAM estática y de $N_h \times 2^{N_b}$ bits para el almacenamiento del histograma grueso (7) y el histograma fino (10), un registro (16) de N_h bits con aumento automático de 1 unidad, un circuito de detección del pico (17), un bloque algorítmico destinado a realizar sumas, restas multiplicaciones y divisiones, agrupados en los bloques Alg1 (18), Alg2 (19) y Alg3 (20), y dos memorias (21,22) de N_p bits respectivamente, para almacenar el valor del desplazamiento Δ y el valor final obtenido para el ToF del píxel.

Antes de procesar un nuevo *frame* se activa la señal RST_FR, con esto se resetea la memoria (15) y el circuito de detección del pico (17). Después de esto, el valor del primer píxel se hace llegar en serie bit a bit al deserializador (11). Cada N_p periodos de reloj CLK, el contenido del deserializador (11) se transmite al registro (12) y por tanto ese valor tiene N_p periodos de CLK para ser incorporado al histograma grueso (7) o histograma fino (10) según la fase del algoritmo, en la barra en la que le corresponde.

La primera fase para calcular el ToF es la construcción del histograma grueso. Para conseguir esto se selecciona primero una entrada AC de las entradas en el multiplexor (14), para, a continuación, leer el contenido de la dirección de la memoria (15) indicado por el valor ADDR, copiarlo en el registro (16) e incrementar su valor en 1 unidad. Si el valor que resulta es mayor que el almacenado de momento en el circuito de detección del pico (17), se guarda este valor resultante como el mayor valor máximo presente en el histograma grueso (7). Una vez que se resuelve el último valor de píxel, se habrá completado el histograma grueso (7). A partir de la posición del valor de pico encontrado se generan los valores TH_+ y TH_- que se utilizan dentro del filtro digital (13) mediante el bloque aritmético Alg1 (18). También se procede a obtener el valor de Δ que se guarda en la memoria (21) que se aprecia en la figura 3. Conviene mencionar que la división realizada en el bloque algorítmico (19) se ha implementado de manera secuencial con el fin de reducir el área del módulo.

Con el cálculo de los valores TH_+ , TH_- y Δ , que se realiza en $N_p \times T_{CLK}$ ciclos de reloj, se resetea la memoria (15), y el circuito detector del pico (17) que tiene un primer registro adicional (24) que guarda el pico actual del histograma grueso (7); un segundo registro adicional (25) que contiene el código en el que se encuentra el pico actual del histograma grueso (7); y un tercer registro adicional (26) destinado a retener el código en el que se encuentra el pico final del histograma grueso (7) durante la construcción del histograma fino (10).

La segunda fase para calcular el ToF es la construcción del histograma fino. Cuando acaba la construcción del histograma grueso (7), el valor $b_{M,grueso}$ se guarda en un tercer registro adicional (26) con salida PNoCc. Este tercer registro adicional (26) se sobrescribe al final de la construcción del histograma grueso (7). A continuación del reseteo de la memoria (15) y del circuito de detección del pico (17), se habilita la operación del filtro digital (13), y la entrada SA en el multiplexor (14) y se procede a iniciar una segunda adquisición. El filtro digital (13) permite descartar aquellos valores de píxel que quedan por debajo de TH_- y por encima de TH_+ . Además, puesto que los valores de píxel que se están leyendo están descritos por N_p bits, es necesario sustraer el valor de Δ , lo cual se realiza en un circuito restador (27) que se aprecia en la figura 5 que representa la estructura interna del filtro digital (13), y conservar sólo N_b bits, que al fin y al cabo serán los únicos que pueden ser diferentes del ruido. Este procedimiento se aprecia en el bucle de la derecha del diagrama de flujo de la figura 2.

Finalmente, el valor del tiempo de vuelo, que corresponde a la posición del pico del histograma fino (10), se obtiene sumando el valor de Δ al valor encontrado en el segundo registro adicional (25) que es un registro con salida PNoCf, lo cual tiene lugar en un circuito sumador (23) como el que se aprecia la figura 3.

REIVINDICACIONES

1. Método de detección de pico del histograma comprimido de los valores de píxel en sensores de tiempo-de-vuelo de alta resolución, estando el método caracterizado por que comprende:

5

- a. delimitar una zona de un histograma completo (6),
- b. generar un histograma grueso (7), eliminando los $(N_p - N_b)$ bits menos significativos y quedándonos únicamente con los N_b bits más significativos del valor de píxel,

10

c. obtener a partir del histograma grueso (7) una posición correspondiente a un valor de píxel que se ha repetido más veces, $b_{M,grueso}$.

d. calcular un valor de desplazamiento Δ que viene dado por:

$$\Delta = 2^{N_b} \left\{ \text{floor} \left[\frac{(2^{N_p - N_b}) b_{M,grueso} + 2^{N_b - 1} - \text{desfase}}{2^{N_b}} \right] - 1 \right\} + \text{mod} \left[\frac{(2^{N_p - N_b}) b_{M,grueso} + 2^{N_b - 1} - \text{desfase}}{2^{N_b}} \right]$$

e. calcular un valor umbral superior (8) TH_+ y un valor umbral inferior (9) TH_- según:

15

$$TH_+ = (2^{N_p - N_b}) b_{M,grueso} + 2^{N_b - 1} - \text{desfase}$$

$$TH_- = (2^{N_p - N_b}) b_{M,grueso} - 2^{N_b - 1} - \text{desfase}$$

f. obtener un histograma fino (10) con valores codificados en N_b bits desplazando los valores adquiridos que están codificados en N_p bits ,seleccionando mediante un filtro digital (13) solo aquellos valores de píxel que están dentro de una ventana de 2^{N_b} niveles alrededor del máximo del histograma completo (6) delimitada por los umbrales superior (8) TH_+ e inferior (9) TH_- .

20

g. calcular el valor de ToF, B_M , a partir del histograma fino (10) mediante desplazamiento del valor de $b_{M,fino}$ al rango descrito por los N_p bits originales, mediante:

25

$$B_M = b_{M,fino} + \Delta$$

2. Dispositivo de detección de pico del histograma comprimido de los valores de píxel en sensores de tiempo-de-vuelo de alta resolución caracterizado por que está configurado para llevar a cabo el método de la reivindicación 1 y porque comprende:
- 5 a. un deserializador (11) preferentemente tipo SIPO de N_p bits de entrada serial y salida paralela,
- b. un registro (12) preferentemente tipo PIPO de entrada y salida paralelas de N_p bits,
- c. un filtro digital (13), destinado a seleccionar y descartar valores de píxel en función de unos valores umbral de tal manera que sólo se seleccionan aquellos comprendidos entre dichos valores umbral,
- 10 d. un multiplexor (14) con preferentemente dos entradas de N_b bits,
- e. una memoria (15) para el almacenamiento del histograma fino (10) y el histograma grueso (7),
- 15 f. un registro (16) de N_h bits con aumento automático de 1 unidad,
- g. un circuito de detección del pico (17),
- h. un bloque algorítmico destinado a realizar sumas, restas multiplicaciones y divisiones, y que comprende una serie de bloques Alg1 (18), Alg2 (19) y Alg3 (20), y
- 20 i. dos memorias (21, 22) de N_p bits respectivamente para almacenar los valores de Δ y el valor final obtenido para el ToF del píxel.
3. Dispositivo según reivindicación 2 caracterizado por que el filtro digital (13) comprende un circuito restador (27) destinado a sustraer el valor de Δ , a los valores de píxel descritos por N_p bits.
- 25
4. Dispositivo según reivindicación 2 caracterizado por que el circuito de detección del pico (17) comprende tres registros internos:
- 30 a. un primer registro adicional (24) para guardar un valor resultante como el mayor valor presente en el histograma grueso (7) y el histograma fino (10) según la fase del algoritmo;
- b. un segundo registro adicional (25) para guardar la posición del mayor valor correspondiente; y
- 35 c. un tercer registro adicional (26) para guardar la posición del valor máximo final en el histograma grueso (7);

donde la posición del valor máximo final en el histograma fino (10) queda almacenada en el segundo registro adicional (25).

5. Dispositivo según reivindicación 2 caracterizado por que la memoria (15) es tipo RAM estática y de $N_h \times 2^{N_b}$ bits.

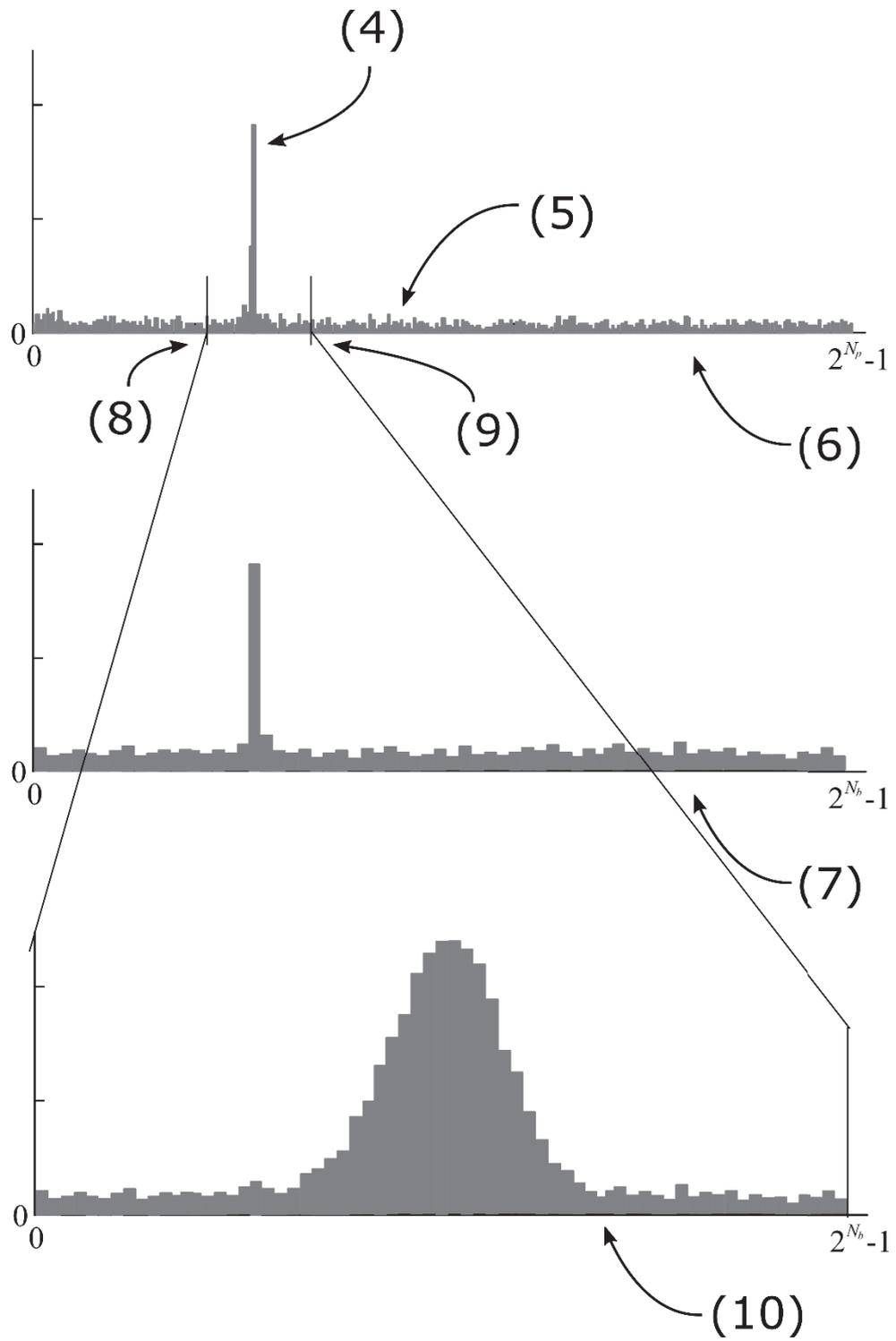


Figura 1

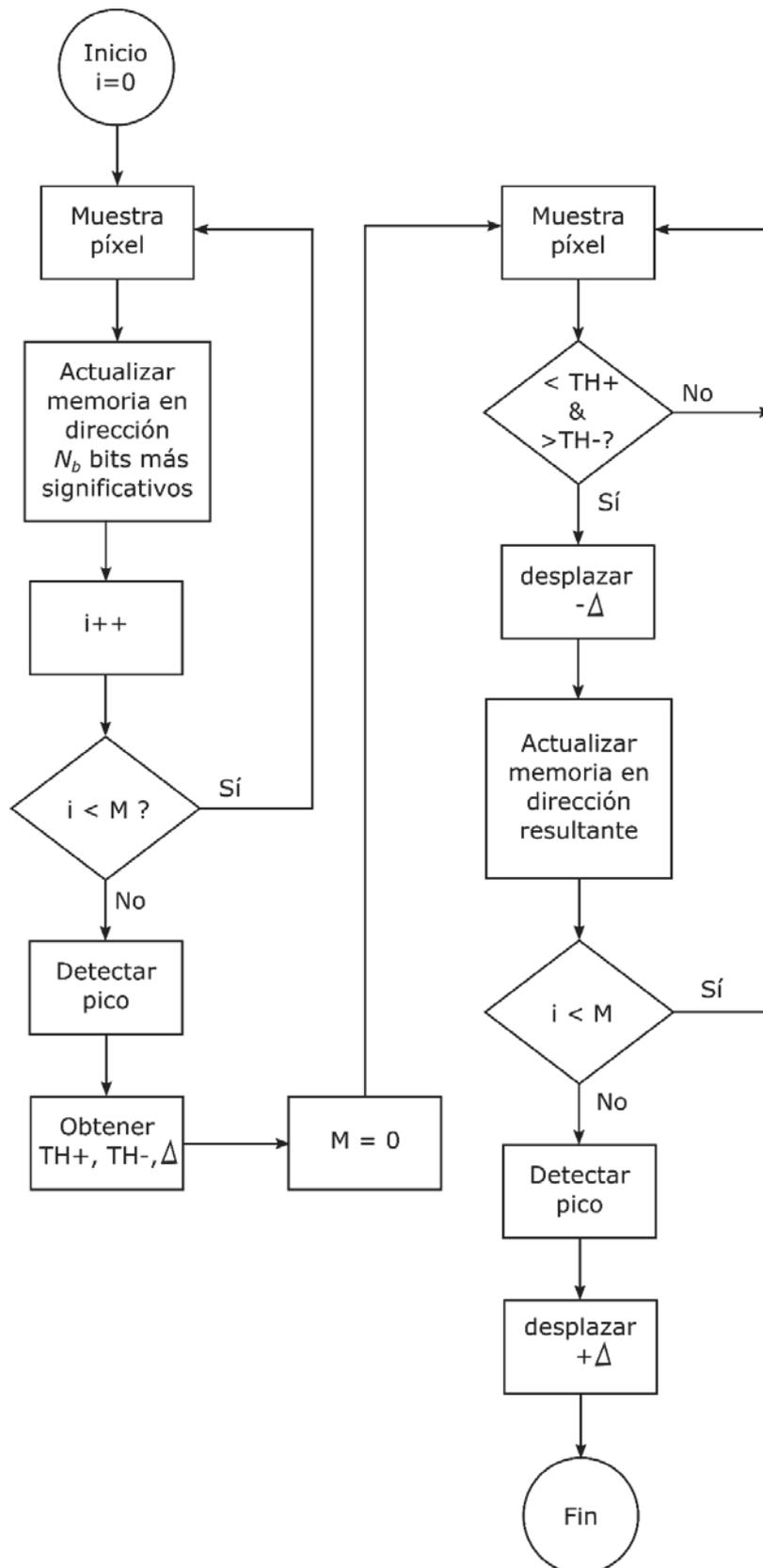


Figura 2

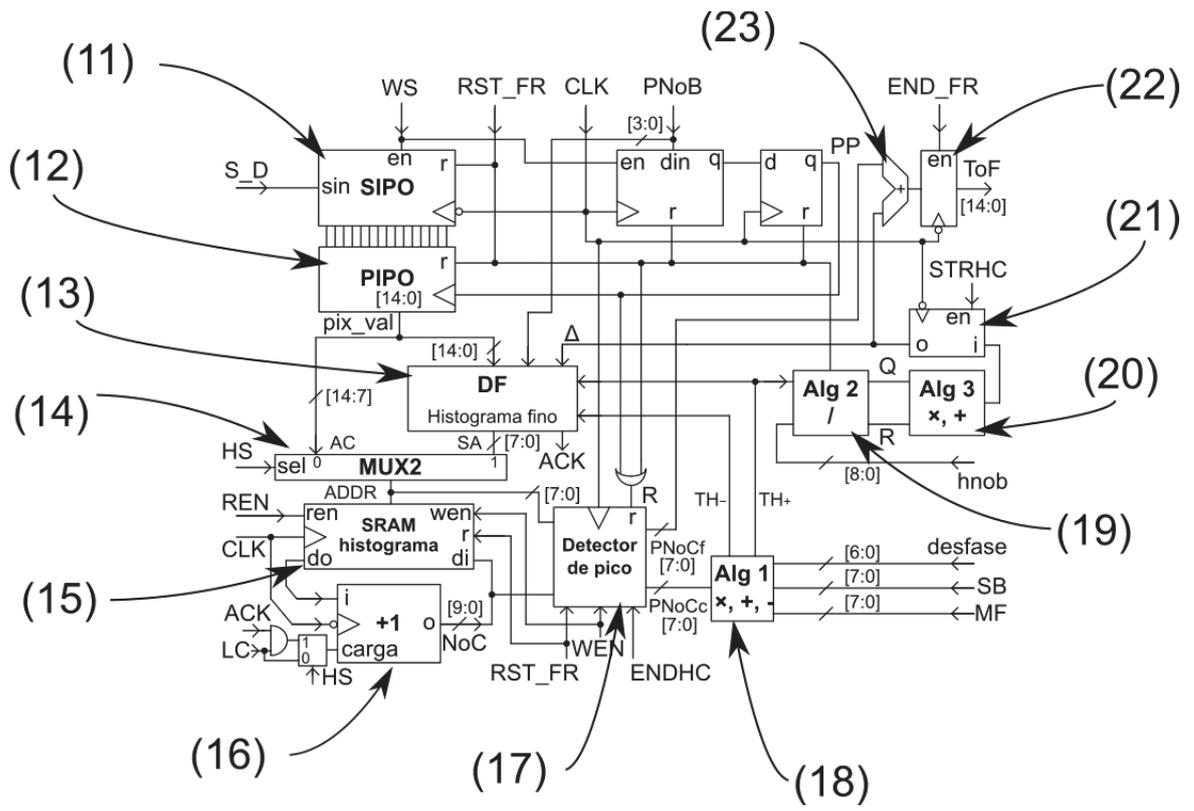


Figura 3

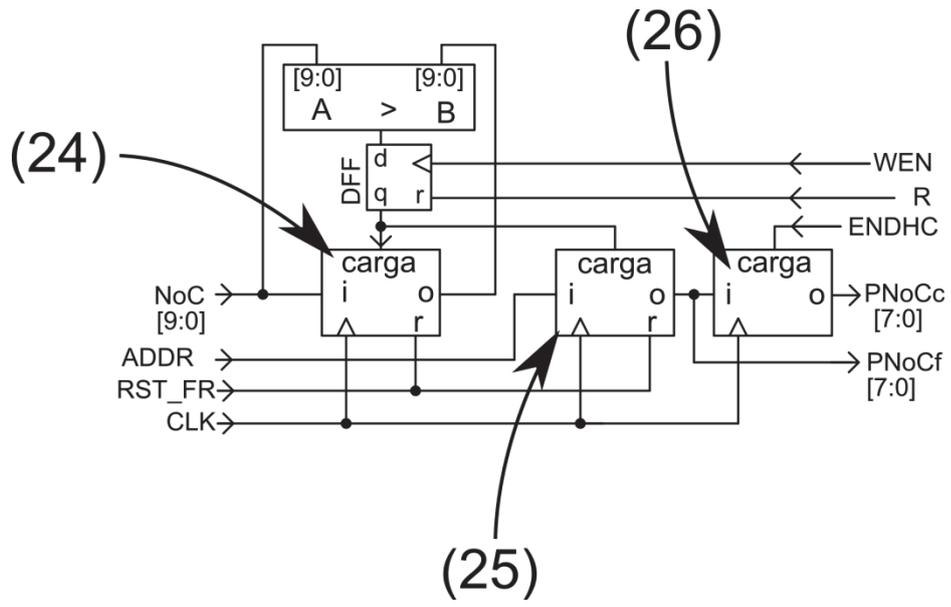


Figura 4

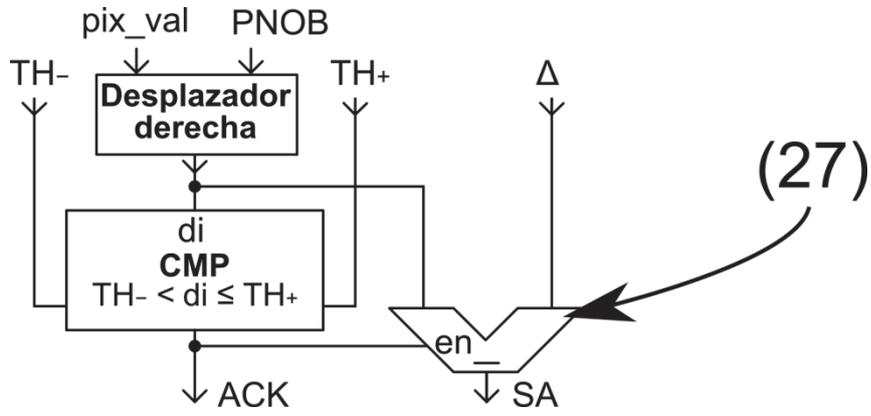


Figura 5



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②¹ N.º solicitud: 201830870

②² Fecha de presentación de la solicitud: 05.09.2018

③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤¹ Int. Cl.: **G01S17/00** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ ⁶ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	JP 2016161438 A (DENSO CORP) 05/09/2016, Todo el documento.	1-5
A	US 2007278409 A1 (COOK MICHAEL JOSEPH et al.) 06/12/2007, Todo el documento.	1-5
A	EP 3367131 A1 (STMICROELECTRONICS RES & DEVELOPMENT LIMITED) 29/08/2018, Todo el documento.	1-5
A	US 2003218129 A1 (RATHER OLIVER RAETHER OLIVER) 27/11/2003, Todo el documento.	1-5

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe
20.08.2019

Examinador
M. Muñoz Sanchez

Página
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01S

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL