

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 712**

51 Int. Cl.:

**G01S 3/784** (2006.01)

**G01S 7/48** (2006.01)

**G01S 7/486** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.08.2012 E 12005946 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2019 EP 2682777**

54 Título: **Procedimiento para la detección de radiación láser pulsada, así como avisador de láser productor de imágenes**

30 Prioridad:

**07.07.2012 EP 12005053**

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

**03.02.2020**

73 Titular/es:

**HENSOLDT SENSORS GMBH (100.0%)  
Willy-Messerschmitt-Strass 1  
82024 Taufkirchen, DE**

72 Inventor/es:

**SCHERBARTH, STEFAN, DR. y  
RUDOW, OLIVER, DR.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 739 712 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

Procedimiento para la detección de radiación láser pulsada, así como avisador de láser productor de imágenes

La invención se refiere a un procedimiento para la detección de radiación láser pulsada, así como a un avisador de láser productor de imágenes que implementa este procedimiento. El procedimiento y el avisador de láser correspondiente sirven para la detección y la determinación de dirección bidimensional de radiación láser pulsada incidente, en particular de poca intensidad, que puede ser provocada por ejemplo por láseres de guía en misiles guiados controlados por láser (misiles guiados por haz (*beamrider*)).

Los misiles guiados por haz representan una gran amenaza militar. En principio, pueden detectarse a tiempo por medio del láser de guía. Sin embargo, esto resulta muy difícil debido a la muy escasa energía pulsada del láser que incide en el objetivo, en un orden de magnitud de unos fJ/cm<sup>2</sup>, que, al menos durante el día, es frecuentemente enmascarada por completo por la luminosidad ambiental. Además de la detección temprana, también es importante para posibles contramedidas determinar, con una exactitud dentro de lo posible de aproximadamente un grado, la dirección de incidencia en acimut y elevación de la que viene la amenaza.

Según el estado general de la técnica, para la detección de la guía por haz se utilizan fotodiodos de gran superficie como detector, buscándose por regla general, mediante el tipo de construcción de los fotodiodos y mediante un modo de conexión electrónico especial, una alta frecuencia límite del ancho de banda de detección. Para cubrir el ángulo de detección total necesario, por regla general se vigilan varios sectores de detección –habitualmente cuadrantes– con, en cada caso, un detector.

En este contexto, la gran superficie aumenta la intensidad de señal total que incide en el detector. Mediante la alta frecuencia límite se busca separar lo mejor posible la señal pulsada del láser de guía de la señal de la luminosidad de fondo. Sin embargo, dado que con la superficie de los fotodiodos aumenta la capacidad y como consecuencia disminuye la frecuencia límite de la detección, la relación señal-fondo alcanzable con un detector de este tipo está limitada de manera condicionada por el principio.

Otra desventaja esencial de esta solución es que no es posible una detección exacta de la dirección, dado que el número de sectores de detección se mantiene pequeño para limitar el gasto técnico. Otra desventaja es que la supresión de la señal de fondo es posible sólo de forma limitada, dado que, de manera condicionada por el principio, la luz de fondo se acumula en todo el sector de detección de un detector. Si el sol se halla dentro de este sector, por regla general apenas es posible en este caso una detección de la guía por haz o ésta es posible sólo con una sensibilidad muy reducida.

En un enfoque de solución conocido por el documento US 7,683,310 A se propone aumentar la exactitud de la dirección mediante el empleo de un conjunto ordenado de detectores y simultáneamente, mediante el empleo de varias capas de detectores con separación de longitudes de onda, obtener información adicional, así como lograr una supresión adicional de la luz de fondo. Una desventaja de este enfoque es el enorme aumento del gasto para una alta resolución angular: Así, para una determinación angular a 1° para un semiespacio sería necesario un conjunto ordenado de aproximadamente 27.000 de estos elementos detectores, cada uno de ellos a su vez con varias capas de fotodiodos y una electrónica de amplificación correspondiente.

Para una mejor determinación de la dirección, en el documento US 5,280,167 A se separan las funciones de la determinación de dirección y de la detección. Para la detección se emplea de nuevo un fotodiodo de gran superficie, que detecta en, en cada caso, un cuadrante. Con los impulsos recibidos por este detector se genera entonces en un complejo circuito lógico (el “Codebreaker”) una predicción del siguiente impulso incidente, con la que se dispara una cámara de amplificación de imagen. En la imagen de esta cámara de amplificación de imagen puede entonces localizarse la amenaza láser con una alta resolución espacial, así como –si la predicción del impulso es correcta– poca señal de fondo. Una desventaja de esta disposición es que la capacidad de detección del detector de fotodiodo es en principio limitada, como ya se ha descrito anteriormente para la solución de un elemento detector de gran superficie.

Otra desventaja es el gran gasto: Además del complejo *Codebreaker*, se requiere una cámara de amplificación de imagen provista de un dispositivo obturador (“Gate”), que además sólo tiene un pequeño ángulo de visión para lograr altas resoluciones espaciales. Como remedio, se propone en el documento US 5,280,167 A colocar esta cámara de amplificación de imágenes sobre una cabeza panorámica inclinable. De este modo se aumenta de nuevo el gasto y se produce un retardo de tiempo debido al tiempo necesario para orientar la cabeza panorámica inclinable. Además, debido a la necesaria predicción de impulsos, el concepto está limitado a la detección de amenazas láser correspondientemente predecibles y suficientemente conocidas en su característica a este respecto.

El documento US 6,137,566 describe un dispositivo para recibir señales de un fotodetector. El dispositivo presenta varios comparadores conectados al fotodetector. Cada comparador compara la salida del fotodetector con un valor umbral ajustable, y cada valor umbral es controlado por un regulador de umbral, correspondiendo cada valor umbral a un valor de luminosidad. Las salidas de los comparadores están conectadas respectivamente a un registro de desplazamiento, estando cada registro de desplazamiento realizado para registrar a una determinada velocidad la salida de su comparador asignado. De este modo se posibilita una resolución de intensidad ajustable en intervalos deseados de la intensidad de la luminosidad.

5 El documento US 7,397,019 B1 describe un módulo de detección de luz para una aeronave. El módulo de detección de luz contiene un elemento óptico, que conduce luz incidente a un detector. El detector presenta unos fotodiodos, que están realizados para convertir luz recibida en impulsos eléctricos. El detector está acoplado a un amplificador y a un circuito de valor umbral, para emitir un valor registrado. Los impulsos eléctricos se amplifican y se alimentan al circuito de valor umbral, para determinar si los impulsos eléctricos corresponden a un determinado tren de impulsos de señal.

10 La invención tiene el objetivo de crear un procedimiento de detección que presente una alta sensibilidad para la detección de láseres de guía para la guía por haz incluso con un fondo de luz diurna, que también pueda detectar amenazas láser pulsadas desconocidas e impredecibles, que al mismo tiempo posibilite una resolución de dirección bidimensional de la dirección de incidencia de la radiación láser de al menos aproximadamente 1° y que logre una detección inmediata sin retardo de tiempo, como por ejemplo el causado por detectores que requieren un seguimiento mecánico.

Este objetivo se logra con el procedimiento según la reivindicación 1. Las reivindicaciones subordinadas tienen por objeto realizaciones ventajosas de la invención.

15 El objeto de la reivindicación 8 es un sensor CCD (por sus siglas en inglés) para su utilización en el procedimiento según la invención.

El objeto de la reivindicación 9 es un avisador de láser productor de imágenes para llevar a cabo el procedimiento según la invención.

20 La invención se explica más detalladamente por medio de un ejemplo de realización, haciendo referencia a una Figura. La Figura muestra un diagrama esquemático de la estructura de la parte receptora de un avisador de láser 20 según la invención.

25 Para la detección y la determinación de dirección de la radiación láser pulsada incidente 10 se utiliza un sensor CCD 1 con un objetivo 2 de gran luminosidad, por ejemplo F1/1.4, en una estructura de cámara clásica. En caso dado puede realizarse un filtrado espectral con un filtro 3 de interferencia o de color correspondiente, para lograr una primera reducción de la intensidad del fondo. Sin embargo, para detectar la alta intensidad momentánea del láser pulsado frente al intenso fondo de luz constante del fondo iluminado por ejemplo por el sol, no resultan adecuados los sensores CCD usuales.

30 Según la invención, se utiliza un sensor CCD especial con un primer procesamiento de señales, en lo que sigue denominado también "próximo al sensor", que compara con una alta frecuencia de exploración cada píxel del sensor CCD con un valor umbral (en lo que sigue denominada también "exploración rápida").

En este contexto, en una realización particularmente ventajosa, el procesamiento de señales próximo al sensor puede estar realizado directamente en el sensor CCD, es decir directamente en el chip.

35 La frecuencia de exploración utilizada según la invención ha de ser al menos suficientemente alta para evitar una saturación del condensador de píxel CCD dentro del periodo de exploración. De esto resulta, con un fondo de luz diurna, una frecuencia de exploración de al menos aproximadamente 5 kHz, es decir que al menos cada 200 µs se lee cada píxel del sensor CCD y se compara el mismo con un valor umbral.

40 Que las altas velocidades de exploración necesarias pueden alcanzarse con la tecnología CCD actual lo demuestra por ejemplo la cámara Fastcam IS-1M de la firma Photron, Inc, San Diego, CA ([www.photron.com](http://www.photron.com)), que presenta una frecuencia de imagen de 1 MHz con una resolución de 312x260 píxeles. La firma Princeton Scientific Instruments, Inc, Nueva Jersey, EE.UU. ([www.prinsci.com](http://www.prinsci.com)) ofrece, con la cámara PSI-3, una cámara CCD con 5 MHz de frecuencia de imagen. Que son posibles tiempos de lectura aún más cortos de hasta 30 ns se demostró con un prototipo del Fraunhofer IMS (informe anual 2011, Fraunhofer IMS, páginas 47-49).

45 Con respecto a la viabilidad práctica de la comparación de valores umbral píxel a píxel directamente en el sensor CCD prevista en el procesamiento de señales próximo al sensor, remitimos al concepto "Smart Pixel" demostrado por M. Lehmann et al., en el que mediante tal comparación de valores umbral se realiza un control de exposición en cada píxel individual (M. Lehmann et al., "Smart pixels for Future 3D-TOF sensors, CSEM SA, Photonics Division, Paper ID R28).

50 Los láseres pulsados que se han de detectar tienen típicamente una duración de impulso en un intervalo de unas decenas de ns. Por lo tanto, la relación señal-fondo resultante aumenta hasta una frecuencia de exploración en un intervalo de aproximadamente 10 MHz con el nivel de la frecuencia de exploración. Por lo tanto, es ventajoso elegir la frecuencia de exploración lo más alta posible, preferiblemente mayor que 100 kHz.

En el primer procesamiento 4 de señales próximo al sensor se utiliza ahora el contenido de los píxeles para un procesamiento posterior sólo en caso de sobrepasarse el valor umbral. Tal imagen presente tras la comparación de valores umbral en todos los píxeles de la imagen se denomina en lo que sigue imagen individual.

Para una primera reducción de los datos, estos datos de imagen individual generados de acuerdo con la frecuencia de exploración se agregan en un número  $n$  de imágenes individuales para formar una imagen de señales, pudiendo realizarse esto mediante una formación de valores medios o mediante una determinación de valores máximos. En este contexto, el número  $n$  se elige en función de la alta frecuencia de exploración elegida de manera que se produzca una frecuencia de imagen de las imágenes de señales procesable con el *hardware* de procesamiento de imágenes usual. En una exploración rápida con 40 kHz, por ejemplo  $n=200$  lleva a una frecuencia de imagen de las imágenes de señales de 200 kHz. Si la exploración rápida se realiza con 200 kHz,  $n=2.000$  lleva a una frecuencia de las imágenes de señales de 100 Hz.

Las imágenes de señales se leen ahora de acuerdo con los procedimientos usuales en la técnica de las cámaras CCD y sirven, emitidas a través de una interfaz adecuada (señal de vídeo analógica, Camera Link, GigE, USB, etc.), de señal de entrada de un procesamiento adicional de 5 de señales. En este procesamiento adicional de señales se identifican entonces en la imagen de señales los píxeles de señal eventualmente existentes de una fuente de láser pulsado. En este contexto, la dirección de incidencia de la radiación láser resulta de la posición de los píxeles de señal en la imagen de señales. El procesamiento de los datos de imagen en el procesamiento adicional de 5 de imágenes puede realizarse con los métodos en sí conocidos en la técnica del procesamiento de imágenes, por ejemplo con una formación de valores umbral posterior, un filtrado de ruidos adecuado y un eventual filtrado adicional de signatura (forma, tamaño, desarrollo en el tiempo de la signatura de la radiación láser en la imagen de señales).

La formación de un valor umbral para la comparación de valores umbral en el primer procesamiento de señales puede realizarse durante el proceso de vigilancia en curso del avisador de láser, de manera que es posible una adaptación automática a las condiciones de radiación reinantes.

En una realización ventajosa, en el procesamiento adicional de señales de las imágenes de señales, los valores umbral que se han de utilizar en la exploración rápida se fijan con este fin de tal manera que el número de los píxeles no vacíos en la imagen de señales no sobrepase un ancho de banda predefinido. Si no se alcanza este ancho de banda predefinido, se disminuyen los valores umbral para la determinación de la siguiente imagen de señales, si se sobrepasa este ancho de banda predefinido, se aumentan los valores umbral. De este modo, por una parte se logra que el detector funcione siempre en el límite de detección y por otra parte se asegura que se evite una saturación de la imagen de señales.

En el caso más sencillo, puede utilizarse para la comparación de valores umbral de la exploración rápida un umbral global, igual para todos los píxeles de la imagen.

Sin embargo, es particularmente ventajoso utilizar con este fin una imagen de valores umbral, de manera que se empleen valores umbral localmente diferentes de acuerdo con la luminosidad de fondo de la escena. Esta imagen de valores umbral puede generarse en el procesamiento de las imágenes de señales (o sea, dentro del procesamiento adicional de señales) por el método de, por ejemplo en caso de acumulaciones locales de píxeles de señal, aumentar el umbral sólo para esta parte de la imagen.

Resulta particularmente ventajosa una realización en la que esta imagen de valores umbral se realiza en cada caso de manera continua en el procesamiento de señales próximo al sensor. Para generar la imagen de valores umbral se forma píxel a píxel el valor medio a partir de al menos dos imágenes individuales anteriores en el tiempo a la comparación actual de valores umbral, al que se suma un valor positivo adicional.

De este modo se consigue evitar eficazmente señales erróneas en la imagen de señales por luminosidades de fondo altas, pero que cambian sólo lentamente en relación con la rápida frecuencia de exploración. Si, por ejemplo, en caso de una exploración rápida con 200 kHz se utiliza como base para la imagen de valores umbral una imagen promediada mediante las, en cada caso, 4 exploraciones anteriores, en la imagen de señales estarán presentes píxeles no vacíos sólo cuando dentro del periodo de exploración de 5  $\mu$ s haya existido un cambio significativo –determinado mediante el valor sumado adicional– de la intensidad luminosa de los píxeles. Todos los cambios que se desarrollen más lentamente de 20  $\mu$ s se eliminan por filtrado con una gran eficacia mediante la utilización descrita de la imagen de valores umbral. Dado que, por regla general, las intensidades cambian de una manera considerablemente más lenta en fondos de escenas naturales, como por ejemplo reflejos del sol en el agua, de este modo se logra una supresión eficaz de señales erróneas en el procesamiento de señales próximo al sensor.

Mediante la exploración rápida del primer procesamiento de señales próximo al sensor se producen tasas de transmisión de datos sumamente altas. Por lo tanto, es ventajoso, como se ha descrito anteriormente, integrar este procesamiento de señales próximo al sensor directamente en el chip del sensor CCD. De este modo han de leerse del chip del sensor CCD solamente las imágenes de señales producidas con las tasas de transmisión de datos usuales (para las cámaras CCD típicas).

Como alternativa a una implementación del procesamiento de señales próximo al sensor directamente en el chip del sensor CCD, el procesamiento de señales próximo al sensor puede también realizarse de manera puramente digital sobre la base de tecnología FPGA disponible, por ejemplo de la firma Xilinx, Inc, San Jose, CA, en combinación con un enlace rápido de datos. En este contexto, naturalmente también es posible un uso de varios enlaces de datos paralelos.

Resumiendo, de nuevo las ventajas esenciales de la invención:

- alta sensibilidad para la detección de láseres de guía para la guía por haz incluso con un fondo de luz diurna,
- pueden detectarse también amenazas láser pulsadas desconocidas e impredecibles,
- 5 - resolución de dirección bidimensional de la dirección de incidencia de la radiación láser de al menos aproximadamente  $1^\circ$ ,
- detección rápida sin retardos de tiempo, como por ejemplo los causados por detectores que requieren un seguimiento mecánico.

Un avisador de láser realizado sobre la base de la presente invención se distingue en particular por su forma constructiva compacta.

#### 10 **Ejemplo de realización**

En un ejemplo de realización se utiliza un sensor CCD con una resolución de  $256 \times 256$  píxeles y un mapa de bits de  $50 \mu\text{m}$  (por ejemplo un CMOS-CCD). Con un objetivo con una distancia focal de 8 mm resulta un ángulo de apertura de  $92^\circ$  en dirección vertical y horizontal. El ángulo de detección por píxel es de  $0,36^\circ$ , con lo que puede lograrse bien la resolución angular mejor que  $1^\circ$  buscada.

- 15 Con una apertura del objetivo de 1/1.4, éste recoge, con una densidad de energía pulsada incidente de  $10 \text{ fJ/cm}^2$ , aproximadamente  $10^4$  fotones por impulso con una longitud de onda del láser situada en el infrarrojo próximo. Éstos pueden, en el peor de los casos –un enfoque a las esquinas de los píxeles–, distribuirse en 4 píxeles, con lo que tocan aproximadamente a 2.500 fotones por píxel, una magnitud que puede detectarse bien con sensores CCD. De este modo se logra la sensibilidad de detección buscada.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la detección de radiación láser pulsada (10) con resolución bidimensional de la dirección de incidencia, **caracterizado por que**
  - para la detección se utiliza un sensor CCD (1) con una óptica (2) de formación de imágenes,
  - 5 - en un primer procesamiento (4) de señales con una frecuencia de exploración de al menos 5 kHz se producen imágenes individuales leyendo cada píxel del sensor CCD (1) al menos cada 200  $\mu$ s y comparándolo con un valor umbral y almacenando el valor del píxel para el procesamiento adicional sólo en caso de sobrepasarse el valor umbral respectivo,
  - 10 - en el primer procesamiento (4) de señales se determina píxel a píxel, a partir de estos valores de píxel almacenados de una imagen individual, el valor medio o el valor máximo en un número de al menos 10 exploraciones, eligiéndose el número en función de la frecuencia de exploración elegida, para lograr una reducción de los datos para un *hardware* de procesamiento de imágenes,
  - la imagen de señales así obtenida en el primer procesamiento (4) de señales se pone a disposición de un procesamiento adicional (5) de señales con una frecuencia de imagen de 10 Hz a 500 Hz,
  - 15 - en el procesamiento adicional (5) de señales se identifican, a partir de la imagen de señales, el o los píxeles de señal que representan la radiación láser incidente, resultando la dirección de incidencia de la radiación láser de la posición de los píxeles de señal en la imagen de señales.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde el valor umbral que se ha de utilizar para la comparación actual de valores umbral dentro del primer procesamiento (4) de señales se deduce de manera continua en el procesamiento adicional (5) de señales a partir de una imagen de señales anterior en el tiempo, aumentando o disminuyéndose respectivamente el valor umbral cuando en la imagen de señales se sobrepasa un margen fijado de píxeles de señal no vacíos o cuando no se alcanza el mismo.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en donde para la comparación de valores umbral en el primer procesamiento (4) de señales se utiliza un valor umbral constante en toda la imagen.
- 25 4. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde para la comparación de valores umbral en el primer procesamiento (4) de señales se utiliza una imagen de valores umbral con valores umbral localmente diferentes.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en donde la imagen de valores umbral se obtiene de manera continua en el procesamiento adicional (5) de señales, en el que, en caso de acumulaciones locales de píxeles de señal en la imagen de señales, se aumenta el valor umbral sólo para esta zona de la imagen.
- 30 6. Procedimiento según la reivindicación 4, en donde la imagen de valores umbral se obtiene de manera continua en el primer procesamiento (4) de señales, en el que, a partir de al menos dos imágenes individuales anteriores en el tiempo a la comparación actual de valores umbral, se forma el valor medio y se suma un valor positivo adicional.
- 35 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el primer procesamiento (4) de señales se realiza en el sensor CCD (1) mismo y las imágenes de señales se leen del sensor CCD (1).
8. Sensor CCD (1) para su utilización en el procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, estando implementado en el mismo el primer procesamiento (4) de señales según una de las reivindicaciones precedentes.
- 40 9. Avisador (20) de láser productor de imágenes con un sensor CCD (1) y una óptica (2) de formación de imágenes asignada, en donde un primer procesamiento (4) de señales y un procesamiento adicional (5) de señales están realizados para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7.

