



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 349 937**

51 Int. Cl.:
G01S 13/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05718518 .3**

96 Fecha de presentación : **10.01.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1842080**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.10.2007**

54 Título: **Sistema y método de tratamiento del radar de apertura sintética en tiempo real.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.01.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.01.2011

73 Titular/es: **EUROPEAN SPACE AGENCY**
8-10, rue Mario-Nikis
75738 Paris Cédex 15, FR

72 Inventor/es: **Bergeron, Alain;**
Bourqui, Pascal y
Harnisch, Bernd

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 349 937 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).

SISTEMA Y MÉTODO DE TRATAMIENTO DEL RADAR DE APERTURA SINTÉTICA EN TIEMPO REAL

Descripción

5 Esta invención se refiere a un sistema de procesamiento del SAR en tiempo real para el procesamiento de las señales de retorno de un radar de apertura sintética y un método para el procesamiento en tiempo real de las señales de retorno del SAR.

 El radar de apertura sintética (SAR, del inglés “Synthetic Aperture Radar”) es una técnica ampliamente usada en reconocimiento aéreo y espacial. Una aeronave o una nave espacial porta una antena de orientación lateral y transmite pulsos de radar en una dirección diferente a la trayectoria de vuelo. Se define una coordenada de alcance inclinado en una dirección normal a la trayectoria de vuelo y se define una coordenada de azimut en la dirección de la
10 trayectoria de vuelo. La resolución del alcance del SAR es una función de la anchura del pulso transmitido efectivo y se consigue una elevada resolución en el alcance mediante el uso de pulsos transmitidos muy cortos y y/o el uso de pulsos de variación de frecuencia. La resolución del azimut se fija mediante las dimensiones de la antena. Aumentando el diámetro de la antena, se puede
15 aumentar la resolución en azimut, estando limitada, sin embargo, por el tamaño y peso de la antena portada por la aeronave o nave espacial. En sistemas de radar convencionales, especialmente de largos alcances, una elevada resolución en azimut llevaría a la necesidad de enormes antenas.
20

 En un radar de apertura sintética, la plataforma del radar se mueve a lo
25 largo de una trayectoria recta en una dirección oblicua en relación al objetivo que se quiere representar. La antena se lleva a lo largo de la trayectoria de vuelo a una secuencia de posiciones en las que el sistema de SAR, en cada posición, radia un pulso y recibe y almacena la señal de retorno reflejada. Las imágenes del SAR son la superposición de muchos pulsos retrodifundidos
30 dentro del intervalo y azimut de la huella de la antena del SAR. Los datos almacenados se procesan a continuación para crear la imagen del área objetivo iluminada. Se consigue una elevada resolución en la dirección de azimut mediante la aplicación de una técnica especializada de procesamiento de señal sin la necesidad de antenas físicamente grandes. En efecto, se
35 sintetiza una gran apertura de antena. Dado que la elevada resolución en

azimut se consigue mediante la antena sintética y un procesamiento coherente de la historia de fase, se ha de registrar la amplitud y la historia de fase de la señal reflejada de una escena. Así, se genera y se registra una historia de la fase coherente de la señal de retorno del pulso. Una visión global y detalles del SAR se dan en “Tutorial Review of Synthetic Aperture Radar (SAR) With Applications to Imaging of the Ocean Surface” por Kiyo Tomiyasu, Proceedings of the IEEE, Vol. 66, Nº 5, mayo de 1978.

El procesamiento de la señal del SAR se puede describir matemáticamente como una correlación o un proceso de filtrado sobre todos los retornos coherentes de señal del radar almacenados durante un tiempo de apertura (sintética). Esto requiere un gran almacenamiento de datos y capacidades enormes de procesamiento de datos. En los comienzos de la tecnología del SAR, la tecnología de ordenadores no era suficientemente potente para procesar la cantidad de datos de las imágenes del SAR de modo efectivo. Por lo tanto, se aplicaron principalmente soluciones de procesamiento óptico a las imágenes del SAR. En un sistema de procesamiento óptico convencional, los datos del SAR en bruto se registran sobre un material fotosensible (película) para su almacenamiento y procesamiento óptico posterior. Se escribe un pulso del alcance de reflexión desde el receptor del radar, por medio de un tubo de rayos catódicos, como una traza del alcance a través del ancho de la película de la señal. Entre pulsos la película se avanza en pequeños incrementos. Así, una posición a través del ancho de la película corresponde a una posición de alcance y una posición a lo largo de la longitud de la película corresponde a una posición a lo largo del recorrido de la plataforma del radar. La amplitud de la señal y la historia de la fase se registran sobre la película tras la adición coherente de la fase de la señal recibida y una señal de referencia del sistema de radar. La película se registra durante la adquisición de la imagen y se debe revelar (químicamente) antes de proporcionar la señal de entrada en el procesador óptico para la reconstrucción de las imágenes. Esto impide un procesamiento en tiempo real y requiere un tratamiento químico de la película que normalmente no puede ser realizado en una aeronave o una nave espacial.

Debido a la gran cantidad de datos, un procesamiento de señal electrónico de las señales de retorno del radar depende de ordenadores de alto rendimiento, por lo tanto, normalmente no es posible un procesamiento a bordo

de satélites. Adicionalmente, la gran cantidad de datos adquiridos no se puede comprimir de modo efectivo de modo que se necesita transmitir la extensa cantidad de datos desde un satélite a un centro de procesamiento basado en tierra para un procesamiento adicional. Esto requiere un gran ancho de banda para la transmisión de datos.

Para permitir un procesamiento en tiempo real de las señales de un radar de apertura sintética, el documento US 4.929.953 propone almacenar ópticamente los datos en bruto del SAR sobre materiales fotosensibles que puedan borrarse y reutilizarse. La señal de retorno del SAR se escribe en trazos radiales sobre un disco giratorio fotosensible que gira en sincronismo con la velocidad de la aeronave. Los datos del SAR registrados de varios pulsos de radar se iluminan entonces mediante luz coherente para el procesamiento óptico para reconstruir la imagen del SAR. A continuación, el disco con los datos almacenados en él gira dentro de una zona de borrado, donde los datos se borran mediante luz de alta intensidad que devuelve el medio de registro de nuevo a su condición de transparencia original, listo para el registro de otro trazado radial de los datos de retorno del SAR. Debido al medio de registro móvil, que necesita que gire en sincronismo exacto con los pulsos de radar y los parámetros de vuelo, es necesario un complejo control de la rotación del disco. Además, el registro de los datos del SAR en trazos radiales requiere de una lente esférica de forma compleja para compensar la geometría radial del medio de registro. Adicionalmente, debido a las partes en movimiento del medio de registro termoplástico, se limita la duración del sistema de procesamiento en tiempo real del SAR propuesto de modo que no es adecuado para una aplicación permanente en una nave espacial.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un sistema y un método de procesamiento del SAR en tiempo real con requerimientos de procesamiento de datos reducidos y una durabilidad mejorada.

Este objeto se consigue mediante la presente invención de acuerdo con las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes se refieren a realizaciones preferidas de la invención.

Un sistema de procesamiento en tiempo real para el procesamiento de las señales de retorno de un radar de apertura sintética puede comprender una fuente de luz para la generación de una onda electromagnética coherente, un medio de modulación de la luz para la modulación de la onda incidente de

acuerdo con las señales de retorno del radar y la producción de una onda modulada y un medio de procesamiento óptico para el procesamiento de la onda modulada para la reconstrucción de la imagen del radar.

El medio de modulación que modula la luz puede comprender una pluralidad de píxeles que se pueden direccionar dispuestos en una matriz bidimensional que se controlan en base a las señales de retorno del radar. Mediante el control de los píxeles individuales del medio de modulación de la luz se puede realizar una modulación de la fase y/o amplitud de la onda incidente de modo que la onda modulada porte la información de las señales de retorno del radar.

Los pulsos de alcance reflejados recibidos por el receptor del radar pueden aplicarse directamente para el control de la transmitancia de los píxeles individuales. Opcionalmente, las señales de retorno se digitalizan (convierten de analógico a digital (A/D)) y se procesan, por ejemplo filtran, antes de que se apliquen como señales de control a los píxeles individuales.

Las señales de retorno recibidas se pueden sumar también coherentemente con una señal de referencia del radar (por ejemplo la señal portadora del radar) para convertir la historia de la fase en una señal de control de amplitud para el control del medio de modulación de la luz. Esto permite un procesamiento coherente de la historia de la fase de las señales recibidas por el SAR por medio de la modulación de la intensidad de luz. Así, se obtiene un patrón espacial en el medio de modulación de la luz similar al de una placa de zona Fresnel en óptica.

El medio de procesamiento óptico puede comprender lentes adecuadas para la reconstrucción de la imagen del radar de modo que se genere la imagen reconstruida del escenario iluminado por los pulsos del radar de apertura sintética. Cuando se pasa un haz de luz paralelo de luz coherente a través de al menos una lente de un medio de procesamiento óptico y se genera el patrón espacial mediante el medio de modulación de la luz (que es similar a una placa de zona Fresnel), la luz se lleva a un foco. Esto se puede considerar como que es un proceso de transformación de Fourier. Proporcionando las lentes adecuadas para el procesamiento óptico, el patrón de señal de radar en dos dimensiones generado por el medio de modulación de la luz se convierte en una imagen en un plano de detección, en el que las señales de todos los objetivos que difieren en alcance pero que caen en una dirección de azimut

aparecerán en una línea a través del plano de detección.

Pueden proporcionarse un medio de detección de luz para la detección de la onda procesada de la imagen generada al plano de detección y la generación de una señal eléctrica de la imagen procesada correspondiente. La
5 señal de la imagen procesada se puede almacenar para un procesamiento adicional, comprimirse y/o transmitirse a una estación en tierra. Dependiendo del detector usado y de la aplicación, la señal de imagen procesada puede ser convertida de analógico a digital y/o procesada, por ejemplo, filtrada.

Estas desventajas se acometen mediante el documento US 5.566.382,
10 en el que se propone un radar de SAR con un procesador óptico que usa un modulador de señal eléctrica a luz. El modulador se basa en una matriz de líneas que incluye una línea de retardo en derivación que puede ser tanto analógica como digital y las señales derivadas de la línea de retardo se aplican a una matriz de elementos de almacenamiento temporal, que en el caso de
15 señales analógicas puede ser un condensador de muestreo y retención o, para señales digitales, puede incluir registros de almacenamiento. Para mejorar la relación señal a ruido (SNR) mediante la comparación con un proceso que usa módulos acústicos, la señal derivada de la línea de retardo se muestrea en una tasa de muestreo de visualización, que es muy baja en comparación con la
20 tasa de muestreo de señal o las frecuencias más elevadas de interés y las señales muestreadas se mantienen hasta el siguiente pulso de la tasa de visualización a continuación.

El documento US 5.488.504 muestra un dispositivo para la conversión de un conjunto de señales electrónicas que representan una imagen en una
25 imagen coherente, incluye una matriz en dos dimensiones de moduladores ópticos asimétricos de Fabry-Perot (ASFP), basados en huecos cuánticos conectados básicamente píxel a píxel a una matriz en dos dimensiones de circuitos de accionamiento situados en un circuito integrado. Las señales electrónicas recibidas mediante el circuito integrado hacen que los circuitos de
30 accionamiento del píxel cambien una tensión de polarización aplicada a través de la sección del modulador óptico y, de ese modo, cambien las propiedades ópticas de la sección del modulador óptico del dispositivo. La matriz en dos dimensiones se puede usar para conferir variaciones sólo intensidad, sólo de fase o de fase e intensidad sobre un haz de luz láser coherente incidente sobre
35 la matriz.

El sistema de procesamiento del radar de apertura sintética de acuerdo con la presente invención tiene la ventaja de que permite un procesamiento en tiempo real de los datos en bruto del SAR. El procesamiento de imagen intensivo en cálculo, tal como la transformación de Fourier, se realiza mediante
5 el medio de procesamiento óptico sin necesidad de ordenadores de elevada capacidad. Las señales de respuesta del radar eléctrico se introducen en el procesador óptico mediante el medio de modulación de luz que modula una onda coherente en una forma similar a una película revelada que tenga los datos en bruto del SAR registrados en ella. Sin embargo, no es necesario
10 ningún procesamiento químico de la película de modo que el sistema puede desplegarse de modo permanente en una nave espacial. A diferencia de técnicas anteriores, no se requiere ninguna parte móvil, ninguna sincronización mecánica de un disco giratorio ni ningún material fotosensible reutilizable. Por ello, la durabilidad del sistema se mejora enormemente. Dado que la imagen
15 reconstruida del área del objetivo del radar se convierte en una señal eléctrica de imagen procesada, puede ser fácilmente procesada mediante técnicas de procesamiento de señales analógicas o digitales convencionales.

Preferiblemente, el medio de modulación de la luz modula la onda incidente de acuerdo con un patrón de señal de radar en dos dimensiones. Una
20 dimensión del patrón de señal del radar puede corresponder a los datos de alcance del SAR y la otra dimensión puede corresponder a la historia de la señal de azimut del SAR. Así, un patrón de señal del radar (fase y amplitud) que corresponde a la señal de respuesta del radar durante la duración del tiempo de integración o apertura (equivalente a una apertura sintética) se
25 representan (visualizan) basándose en una geometría rectangular. En consecuencia, no son necesarias lentes complejas con procesamientos ópticos para compensar las distorsiones introducidas, por ejemplo, mediante una disposición radial de las pistas del alcance.

El medio de modulación de la luz puede comprender un circuito de
30 accionamiento del píxel para la escritura de los datos de alcance del SAR que corresponden a una respuesta al pulso del radar en una columna o en una línea de píxeles. Una transmitancia de un píxel se puede controlar basándose en el valor de la amplitud y/o fase correspondiente a un valor de la señal de retorno del radar. Si la amplitud y la fase de la onda incidente se modulan
35 simultáneamente por el medio de modulación de la luz (modulación compleja),

se introduce una distribución de campo complejo en el procesador, proporcionando un aumento en la eficiencia de la difracción. Además, esto evita la suma de la señal de referencia (frecuencia portadora) y su filtrado en el procesador óptico. Una modulación compleja simplificaría por lo tanto el
5 procesamiento óptico y la preparación de la señal antes de que la señal se aplique al medio de modulación de luz. Alternativamente, la amplitud y la fase de la onda incidente pueden modularse también en etapas separadas dando como resultado también una modulación compleja.

De acuerdo con una realización preferida de la invención, el medio de
10 modulación de la luz comprende una micro pantalla o modulador de luz espacial (SLM, del inglés "Spatial Light Modulator") para una modulación espacial de la fase y/o amplitud de la onda incidente. Por ejemplo, se puede usar una micro pantalla de cristal líquido o modulador de luz espacial para modular la onda electromagnética basándose en las señales de retorno del
15 radar. Los datos de alcance del SAR que corresponden a las respuestas individuales al pulso del radar se pueden escribir en columnas o líneas de píxeles de la micro pantalla o modulador de luz espacial. Las micro pantallas o moduladores de luz espacial normalmente tienen píxeles que se puede direccionar eléctricamente de modo que la señal eléctrica de respuesta al pulso
20 del radar recibida desde el receptor del radar se puede aplicar al control de la transmitancia de un píxel que se puede direccionar. El modulador de luz espacial se dispone preferiblemente como una pantalla de cristal líquido, un SLM de micro espejo, un SLM electro óptico o un SLM magneto óptico.

De acuerdo con una realización preferida, se usa un SLM complejo que
25 se puede direccionar para la modulación de la luz coherente. Un SLM complejo que se puede direccionar permite una modulación de la amplitud y una modulación de la fase de la luz incidente. Como una alternativa, dos SLM situados próximos entre sí, uno para modulación de amplitud y otro para modulación de fase, permite introducir una distribución de campo complejo a la
30 onda incidente. Esto proporciona un aumento en la eficiencia de la difracción y evita la necesidad de una suma de una frecuencia portadora a las señales de retorno del radar y el filtrado de la frecuencia portadora en el procesador óptico.

Puede proporcionarse una memoria de almacenamiento de pantalla para el almacenamiento temporal de los datos en bruto del SAR. Los datos del
35 alcance del SAR de una respuesta al pulso del radar pueden introducirse en el

almacenamiento de la pantalla, en el que los datos de respuesta al pulso del radar para un pulso de radar se pueden introducir simultáneamente en la memoria de almacenamiento de pantalla, que puede contener los datos de respuesta al pulso del radar de una pluralidad de pulsos de radar, preferiblemente correspondientes al tiempo de integración o de apertura de la apertura sintética. Los datos de alcance del SAR que corresponden a respuestas a pulsos de radar posteriores pueden escribirse en una columna o línea de píxeles adyacente. La memoria de almacenamiento de pantalla se puede configurar para funcionar como una FIFO (almacenamiento “first in- first out”, primero en entrar primero en salir).

La memoria de almacenamiento de pantalla se conecta preferiblemente a un circuito de accionamiento de píxeles que puede acceder a los datos del SAR almacenados y escribirlos en las columnas o líneas de píxeles respectivas. Los datos de la memoria de almacenamiento de pantalla se pueden desplazar en una columna de píxeles o una pluralidad de columnas en cada ciclo de procesamiento que corresponde a una respuesta al pulso del radar. Alternativamente, las señales de retorno del radar almacenadas de múltiples pulsos de radar (correspondientes al tiempo de integración o de apertura) pueden obtenerse del almacenamiento de pantalla y suministrarse mediante el circuito de accionamiento de píxel a los píxeles que se pueden direccionar individualmente del medio de modulación de luz de modo que el patrón de señal del radar que incluye la información de la historia de fase para al menos los datos del intervalo de un pulso de radar (un incremento de azimut) se aplican a la onda incidente para modulación.

El medio de detección de luz puede comprender un sensor de área sensible a la luz, tal como una matriz CCD o CMOS. El sensor se dispone preferiblemente en un plano de detección perpendicular al eje óptico. Un sensor de área sensible a la luz permite la detección de una pluralidad de líneas de imagen en el plano de detección, correspondiendo cada una a los datos de alcance para un incremento de resolución de azimut.

Preferiblemente, el medio de detección de luz comprende un sensor de líneas sensibles a la luz, tal como una línea CCD o CMOS, para detección de la onda procesada que corresponde a un incremento de la resolución de azimut. La señal eléctrica de la imagen procesada generada por el sensor de líneas sensible a la luz para un patrón de señal de radar visualizado por el medio de

modulación de luz incluye los datos de alcance del SAR que corresponden a la respuesta a un pulso de radar. Alternativamente se puede usar una matriz de detector de área.

5 Puede proporcionarse un almacenamiento de imagen para almacenar las señales eléctricas de imagen procesadas detectadas (preferiblemente tras la conversión A/D) para recoger los datos de la señal de imagen procesada que corresponde a una escena iluminada por el radar. Los datos del sensor de línea o área se pueden introducir en el almacenamiento de imagen y escribirse en columnas o líneas de la memoria de almacenamiento.

10 De acuerdo con una realización preferida, la fuente de luz comprende un láser y/o una lente de colimación para la colimación de la luz láser coherente. Tal disposición genera una onda electromagnética plana que se enviará al medio de modulación de luz.

15 La fuente de luz puede comprender adicionalmente un filtro espacial para mejorar la calidad de la imagen. Se puede proporcionar un polarizador si el modulador de luz espacial requiere luz polarizada. Por ejemplo, un SLM de micro espejo no requeriría el uso de un polarizador. Es posible también colocar un polarizador en otras posiciones en la trayectoria óptica (por ejemplo delante del detector) si es necesario para asegurar una polarización de la luz
20 apropiada.

El medio de procesamiento óptico puede comprender al menos una lente cilíndrica para enfocar de modo selectivo el campo de azimut o de alcance. La lente o lentes cilíndricas se usan preferiblemente junto con una lente esférica para proporcionar una capacidad de enfoque en la dirección de azimut.

25 El medio de procesamiento óptico puede comprender además al menos una lente cónica para proporcionar una capacidad de enfoque en la dirección de alcance. La lente cónica produce imágenes de todos los objetivos que difieren en alcance, pero caen en una dirección de azimut. Estas imágenes aparecen en una línea sobre un plano del detector, en donde preferiblemente
30 se sitúa el sensor de líneas sensible a la luz. La tarea de la lente cónica es también compensar las variaciones de frecuencia (variación de la frecuencia portadora del radar) a lo largo de la dirección de alcance y/o del factor de fase del alcance a lo largo de la dirección de azimut.

Puede proporcionarse al menos una lente esférica para la generación de
35 imágenes de la onda procesada en el plano detector del medio de detección.

La lente esférica funciona también con las lentes cilíndricas y/o cónicas para realizar sus tareas respectivas.

El medio de procesamiento óptico puede comprender además un medio de bloqueo de la difracción para eliminar el patrón de difracción de la fuente de luz producido por la estructura de la micro pantalla. El bloqueo de la difracción también elimina el componente en corriente continua (si está presente) y/o la luz dispersa en el sistema. Si se usa una frecuencia portadora para la modulación de la onda, el bloqueo de la difracción elimina los órdenes negativos y superiores de la frecuencia portadora.

El medio de modulación de luz y/o el medio de detección de luz se pueden inclinar con respecto al eje óptico. Mediante la inclinación de los planos de la micro pantalla/SLM y/o del plano detector, se puede evitar el despliegue de una lente cónica para la compensación de la inclinación inherente al plano del azimut. En este caso, la lente cónica se convertirá en una lente cilíndrica y el medio de procesamiento óptico comprende una combinación de lentes esféricas y cilíndricas. Esto tiene la ventaja de que no se necesitan lentes cónicas, que son caras de fabricar. Los valores de inclinación exactos dependen de la configuración del SAR y del diseño óptico seleccionado. La lente o lentes esféricas combinadas con la lente o lentes cilíndricas y los ángulos de inclinación del medio de modulación de luz y/o del medio de detección de luz proporcionan una alineación conjunta de los planos de focalización tanto para los campos de azimut como de alcance.

Estos y otros objetivos, características y ventajas potenciales de la presente invención se manifestarán más completamente a partir de la descripción a continuación de ejemplos de realizaciones de la invención. Se ha de entender, sin embargo, que el alcance de la presente invención no se limita por ninguna de las realizaciones mostradas en los dibujos adjuntos, en los que

la Figura 1 muestra esquemáticamente una realización de la presente invención;

la Figura 2 muestra una configuración óptica de ejemplo de un sistema de procesamiento de SAR en tiempo real de acuerdo con la invención para señales con y sin variación de frecuencia;

la Figura 3 muestra esquemáticamente una disposición de píxeles en columnas y líneas de un medio de modulación de luz; y

la Figura 4 muestra esquemáticamente los componentes eléctricos de un

sistema de procesamiento de SAR en tiempo real de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 1 muestra esquemáticamente una realización de la presente invención. Una fuente de luz 1 genera una onda electromagnética coherente, plana que ilumina el medio de modulación de luz 2 para la modulación de la
5 onda incidente de acuerdo con las señales de retorno del radar recibidas desde una unidad de control 5. Entre la fuente de luz 1 y el medio de modulación de luz 2, se dispone un sistema de colimación que comprende una lente de colimación 7 y un filtro espacial 6. Se puede colocar también un polarizador
10 opcional antes que el medio de modulación de luz 2.

El medio de modulación de luz 2 se configura como un modulador de luz espacial (SLM), que se puede realizar como una pantalla de cristal líquido, un SLM de micro espejo, un SLM electro óptico, un SLM magneto óptico, etc. Los
15 datos en bruto del SAR, es decir las señales de retorno del radar, se usan para accionar píxeles que se pueden direccionar del medio de modulación de luz 2 de modo que el patrón de señal del radar aparece sobre el medio de modulación de luz 2 y se realiza una modulación de amplitud y/o fase mediante el medio de modulación de luz 2. Una dimensión del patrón bidimensional de
20 señal del radar corresponde a los datos de alcance del SAR mientras que la otra dimensión corresponde a la historia de la señal del azimuth del SAR. Así, la historia de la señal de azimuth para los datos de alcance del SAR que corresponde a al menos un tiempo de integración o apertura se aplica simultáneamente para la modulación de la onda incidente. Si se realiza un
25 procesamiento coherente de los datos del SAR mediante el medio de modulación de luz 2, es decir, una modulación compleja que incluye la modulación de amplitud y fase, no hay necesidad de sumar la frecuencia portadora del radar a las señales de retorno recibidas.

El medio de procesamiento óptico 3 para la reconstrucción de la imagen del radar sobre el plano de detección de un medio de detección de luz 4
30 comprenden un medio de bloqueo de la difracción para eliminar el patrón de difracción de la fuente de luz 1 producido por el medio de modulación de luz 2, un componente en corriente continua (si está presente) y/o artificiosidades de la portadora de frecuencia incluidas en la señal de accionamiento del píxel (si están presentes). El medio de bloqueo de la difracción comprende una lente de
35 Fourier (esférica) 10 y un filtro espacial 11. El filtro espacial 11 incluye una

abertura (cuadrada o rectangular) que se centra en la localización de la frecuencia portadora en el plano de Fourier. Sin embargo, es posible también usar un bloqueo de difracción activo, en el que la apertura se desplaza de modo variable (como un cuadrado sobre una pantalla) para dar cabida a varias
5 frecuencias portadoras y que se extiende o reduce para dar cabida a varios anchos de banda.

El procesador óptico 3 comprende además una lente de Fourier (esférica) 12 y una lente cilíndrica 13 para proporcionar capacidad de enfoque en la dirección de azimut. El procesador óptico 3 produce una imagen de todos
10 los objetivos diferentes en alcance pero que caen en una dirección de azimut sobre una línea del plano del detector asociada con el medio de detección de luz 4.

El medio de detección de luz 4 se puede realizar mediante un detector de líneas CMOS, un CCD o una matriz CMOS u otros sensores sensibles a la
15 luz de líneas o matrices apropiados que detectan la onda procesada en el plano de detección y generan una señal eléctrica correspondiente. En otras palabras, la imagen obtenida se adquiere con el detector en matriz o, alternativamente, el resultado se puede adquirir secuencialmente línea a línea usando un sensor sensible a la luz, tal como una línea CCD o una línea CMOS.

20 Las señales eléctricas de la imagen procesada se transmiten a la unidad de control 5 para el almacenamiento y/o el procesamiento de la señal eléctrica. Dado que los datos de imagen de SAR procesados se pueden comprimir, los requisitos de ancho de banda para la transmisión de los datos de imagen de SAR se pueden reducir. Esto es particularmente útil para sistemas de SAR
25 montados en naves espaciales, en los que se necesita transmitir los datos de imagen del SAR por medio de un enlace de radio a una estación basada en tierra.

Comparados con el procesamiento de señal óptico de SAR convencional, la primera película se sustituye en la invención por una micro
30 pantalla o un modulador de luz espacial. Los datos de alcance del SAR se escriben directamente en la micro pantalla columna a columna y la imagen global se desplaza de modo que, tras completar una nueva columna, el contenido de la micro pantalla se desplaza en una columna. Alternativamente, se pueden cambiar múltiples columnas en el mismo período de refresco.
35 Adicionalmente, la segunda película de un sistema de SAR convencional se

sustituye por un sensor sensible a la luz.

La Figura 2 muestra una configuración óptica de ejemplo de un sistema de procesamiento de SAR en tiempo real de acuerdo con la invención para señales con y sin variación de frecuencia. La Figura 2A muestra una vista superior y la Figura 2B una vista lateral de la configuración. Las distancias, longitudes focales y ángulos de inclinación se pueden seleccionar apropiadamente para aceptar señales con y sin variación de frecuencia. En esta realización, la fuente de luz es un láser 8 y se usa un SLM 9 como medio de modulación de luz.

Los primeros dos componentes después del láser 8 en la Figura 2 realizan del enfoque del láser para entrar además por un micro agujero 6a (la primera lente colima y la segunda enfoca). El láser así enfocado se filtra con el micro agujero 6a para proporcionar una iluminación gaussiana. Así los dos componentes acoplados con el micro agujero 6a representan el filtro espacial 6. Se continúa con un polarizador 14 para polarizar el haz de luz para el SLM 9.

Cada impulso del radar se transfiere a una señal eléctrica que se introduce dentro del SLM 9 de forma que las variaciones de intensidad de la señal de retorno del radar se transfieren en las variaciones de transmisión de los píxeles del SLM, lo que produce variaciones de amplitud a lo largo del plano que transmite la onda óptica. Esta onda óptica se procesa (transformación de Fourier bidimensional) mediante un conjunto dedicado de lentes y se genera la imagen sobre el detector 4.

El procesamiento óptico se realiza en una transformación de Fourier bidimensional de una imagen bidimensional sobre la micro pantalla o SLM 9 (correspondiente a la respuesta del SAR) en una línea mono dimensional sobre el detector (que corresponde a la imagen de SAR procesada). El desplazamiento de la imagen SAR columna a columna sobre el SLM puede desplazar la entrada en 2D en el proceso óptico. Así, el uso de un sensor bidimensional proporciona al mismo tiempo múltiples elevaciones de azimut a partir de los datos en bruto de SAR.

El SLM 9, las lentes esféricas 10, 12, las lentes cilíndricas 13 y/o el detector 4 se pueden inclinar para compensar la inclinación inherente del plano de azimut. Los valores de inclinación reales dependen de la configuración del SAR y del diseño óptico seleccionado. Mediante la inclinación de algunos de los componentes, se evita el despliegue de una lente cónica. La elección de las

distancias, longitudes focales y ángulos de inclinación se seleccionan adicionalmente para sincronizar los planos focales de alcance y azimut. Estos valores de parámetro diferirán normalmente si el sistema trabaja con señales con y sin variación de frecuencia. Se describen detalles sobre la apropiada
5 selección de los valores de parámetros en “Tilted-Plane Optical Processor” por A. Kozma et al., Applied Optics, Vol. 11, N° 8, pág. 1766, 1972.

La Figura 3 muestra esquemáticamente la disposición de los píxeles 30 en columnas 31 y líneas 32 de un medio de modulación de luz 2. Los píxeles individuales 30 se pueden direccionar y su transmitancia para la luz incidente
10 se controla basándose en las señales de retorno del radar de forma que la amplitud y/o fase de la onda modulada pasante corresponde al eco del radar.

La Figura 4 muestra esquemáticamente los componentes eléctricos de un sistema de procesamiento de SAR en tiempo real de acuerdo con una realización de la invención. Los datos en bruto del SAR, después de una
15 conversión de analógico a digital, se suministran a una interfaz de entrada 21 que escribe los datos recibidos en la memoria de almacenamiento de pantalla 16. Un controlador 20, que se puede realizar como un FPGA con un procesador embebido, recibe una señal de reloj de un reloj 23. El controlador 20 realiza el formateo y la sincronización de los datos para una pantalla sobre
20 el SLM 9. Se proporciona además una memoria ROM 24 y una memoria RAM 27 para el almacenamiento de los programas de control y los datos para el controlador 20. Un regulador de tensión 28 proporciona las tensiones necesarias para todos los componentes.

El controlador 20 controla un accionador láser 26 para el accionamiento
25 de la fuente de luz láser 8. El SLM 9 se acciona mediante una interfaz de SLM 25 que se controla también mediante el controlador 20. La onda procesada se detecta mediante el sensor CCD 4 que genera la señal eléctrica de la imagen procesada. Una interfaz de CCD 22 controla el sensor CCD 4 que introduce la señal de imagen procesada que se suministra, por ejemplo, como valores
30 digitales, al controlador 20. La interfaz de salida 17 comprende un almacenamiento de imagen para almacenar las señales de imagen procesadas.

Se explica a continuación el funcionamiento de la realización. Para la adquisición, se adquiere una nueva matriz de datos de alcance (que
35 corresponden a un azimut específico y múltiples alcances) cada vez que la

plataforma SAR se mueve en un incremento de azimut mínimo. La información de SAR bidimensional (datos en bruto de SAR) está compuesta por múltiples adquisiciones de la matriz de alcance almacenadas en la memoria de almacenamiento de pantalla 16 configurada como una FIFO. Con el tiempo, la memoria de almacenamiento 16 contiene suficientes datos de la matriz de alcance para rellenar el patrón de señal de radar bidimensional completo mostrado por el SLM. La unidad de control 20 comprende un circuito de accionamiento de píxeles 15 para que escribir las matrices de alcance de SAR en una columna (o alternativamente una línea) de píxeles en el SLM 9. La matriz de píxeles del SLM se pueda actualizar mediante el cambio de una columna cada vez, alimentada por la FIFO 16. Alternativamente, el circuito de accionamiento de píxeles 15 puede, en cada marco, refrescar múltiples matrices de alcance que corresponden a múltiples incrementos de azimut (es decir, refrescar el SLM 9 completo). Como tal, si los datos de SAR se ven como un barrido de píxeles, este barrido se muestra sobre el SLM 9, cada matriz de alcance corresponde a una columna y azimut incremental corresponde a una línea (o viceversa).

El eco un radar corresponde a un único píxel. Para conseguir un procesamiento en tiempo real, la tasa de procesamiento global (o tasa de visualización) del SLM 9 debe adaptarse a la tasa de muestreo global del sistema de SAR. Sin embargo, con el uso de una FIFO 16, la tasa de muestreo del radar no tiene que ajustarse exactamente a la tasa de refresco de píxeles (escritura) del SLM 9 siempre que el muestreo global y las tasas de procesamiento se ajusten entre ellas.

La frecuencia de refresco de píxel del SLM 9 (en píxeles por segundo) ha de ser mayor que la tasa de muestreo del radar para conseguir un procesamiento en tiempo real. Esto es, los datos deben salir tan rápidamente o más de lo que entran.

La resolución espacial (en metros) del sistema de procesamiento de SAR de acuerdo con la invención se da mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Resolución} = \text{alcance-a-objetivo} \times \text{longitud-de-onda} \div (2 \times \text{distancia de muestreo} \times \text{dimensión SLM})$$

en la que:

alcance-a-objetivo = distancia de la nave espacial/ aeronave al objetivo;
longitud-de-onda = longitud de onda del radar (es decir relacionada
directamente con la frecuencia del radar);
distancia de muestreo = longitud de la antena sintética; y
5 dimensión SLM = píxeles en un eje del SLM.

La resolución espacial del sistema de procesamiento de SAR se ilustra
adicionalmente mediante el siguiente ejemplo: si el alcance al objetivo es
1000 km, la longitud de onda del SAR es 0,057 m (5,3 GHz), la distancia de
10 muestreo es de 5 m y la dimensión del SLM en un eje es de 1000 píxeles,
entonces la resolución del sistema es 5,22 m. Para conseguir la máxima
resolución, la dimensión del medio de detección de luz (es decir, el CCD) ha de
ajustarse a la dimensión del SLM, es decir en el ejemplo anterior, el sensor
CCD necesita también 1000 píxeles.

15 En el estado de la técnica, el procesamiento de datos de SAR se realiza
con ordenadores y estaciones de trabajo de elevado rendimiento que no se
pueden implementar eficientemente sobre satélites. Por lo tanto, se ha de
transmitir una gran cantidad de datos con la tecnología estándar actual. La
presente invención sustituye a las películas usadas en la tecnología SAR
20 convencional con nuevas tecnologías tales como el SLM/micro pantalla y un
sensor sensible a la luz (CCD o CMOS). Esto permite un procesamiento en
tiempo real a bordo de naves espaciales y aeronaves y reduce la cantidad de
datos a ser transmitidos a las estaciones de tierra en una gran medida y, por
ello, los costes del ancho de banda.

25

REIVINDICACIONES

1. Sistema de procesamiento de SAR en tiempo real para el procesamiento de señales de retorno de un radar de apertura sintética (SAR), que comprende:
- 5 una fuente de luz (1) para la generación de una onda electromagnética coherente, preferiblemente plana;
- un medio de modulación de la luz (2) para la modulación de la onda incidente de modo que la onda modulada transporte la información de los retornos del radar y produzca una onda modulada;
- 10 un medio de procesamiento óptico (3) para el procesamiento de la onda modulada para la reconstrucción de la imagen del radar; y
- se proporciona un medio de detección de luz (4) para la detección de la onda procesada y la generación de una señal eléctrica de imagen procesada correspondiente;
- 15 caracterizado por que
- el medio de modulación de luz (2) comprende una pluralidad de píxeles que se pueden direccionar (30) dispuestos en una matriz rectangular bidimensional que se controla basándose en las señales de retorno del radar,
- 20 en el que el medio de modulación de la luz (2) modula la onda incidente de acuerdo con un patrón de señal de radar bidimensional, correspondiendo una dimensión a los datos de alcance de SAR, correspondiendo la otra dimensión a la historia de la señal de azimut del SAR,
- 25 en el que el medio de modulación de luz (2) y/o el medio de detección de luz (4) se inclinan con respecto al eje óptico; y
- en el que el medio de procesamiento óptico (3) comprenden al menos una lente cilíndrica (13) para el enfoque de la historia de fase de azimut;
- 30 al menos una lente esférica (10, 12) para la generación de imagen de la onda procesada en un plano de detector del medio de detección (4); y
- un medio de bloqueo de la difracción para eliminar el patrón de difracción de la fuente de luz (1) y/o las artificiosidades de una frecuencia portadora de la señal de radar.

2. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el medio de modulación (2) comprende un circuito de accionamiento de píxeles (15) para la escritura de los datos de alcance del SAR que corresponden a una respuesta al pulso de radar en una columna (31) o una línea (32) de píxeles (30).
- 5
3. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que el medio de modulación de luz (2) comprende una micro pantalla o modulador de luz espacial (9) para la modulación espacial de fase y/o amplitud de la onda incidente, y
- 10 los datos de alcance del SAR que corresponden a las respuestas al pulso de radar individual se escriben en columnas (31) o líneas (32) de píxeles de la micro pantalla o modulador de luz espacial (9).
4. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que
- 15 comprende una memoria de almacenamiento de pantalla (16), en la que los datos de alcance del SAR se escriben en la memoria de almacenamiento de pantalla (16) columna a columna, desplazándose los datos en la memoria de almacenamiento de pantalla (16) correspondiente a una columna de un píxel (31) o a una pluralidad de columnas en cada ciclo de procesamiento que
- 20 corresponde a la respuesta al pulso de radar.
5. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el medio de detección de luz (4) comprende un sensor de área sensible a la luz, tal como una matriz CCD o CMOS.
- 25
6. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el medio de detección de luz (4) comprende un sensor de líneas sensible a la luz, tal como una línea CCD o CMOS.
- 30
7. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende un almacenamiento de imagen para almacenar las señales de imagen procesadas detectadas.
8. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el
- 35 que la fuente de luz (1) comprende un láser (8) y/o unas lentes de colimación

(7).

9. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende un filtro espacial (6) y/o un polarizador (14).

5

10. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el medio de procesamiento óptico (3) comprende al menos una lente cónica para proporcionar capacidad de enfoque en la dirección de alcance.

10 11. Método para el procesamiento en tiempo real de las señales de retorno del radar de apertura sintética (SAR), que comprende las etapas:

proporcionar una onda electromagnética coherente;

modulación de la onda coherente de modo que la onda modulada transporte la información de los retornos del radar y produzca una onda
15 modulada;

procesamiento óptico de la señal de la onda modulada para la reconstrucción de la imagen del radar; y

realización de una detección de la onda procesada y una generación de una señal eléctrica de imagen procesada correspondiente a la imagen
20 reconstruida;

caracterizado por que

la etapa de modulación de la onda coherente se basa en una pluralidad de píxeles que se pueden direccionar (30) dispuestos en una matriz rectangular bidimensional que se controlan mediante las señales de retorno del radar en la que la modulación de la onda incidente se modula
25 de acuerdo con un patrón de señal de radar bidimensional, correspondiendo una dimensión a los datos de alcance de SAR, correspondiendo la otra dimensión a la historia de la señal de azimut del SAR,

en el que un medio (2) para la modulación de la onda coherente y/o un medio para realizar una detección de la onda procesada (4) se inclinan con respecto al eje óptico; y

en el que un medio (3) para el procesamiento óptico de la onda modulada comprende

35 al menos una lente cilíndrica (13) para el enfoque de la historia de fase

de azimut;

al menos una lente esférica (10, 12) para la generación de imagen de la onda procesada en un plano de detector del medio de detección (4); y

5 un medio de bloqueo de la difracción para eliminar el patrón de difracción de la fuente de luz (1) y/o las artificiosidades de una frecuencia portadora de la señal de radar.

12. Método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que los píxeles (30) se controlan de modo que los datos de alcance de SAR que corresponden a una
10 respuesta al pulso del radar se escriben en una columna o línea de píxeles (31, 32), y los datos de alcance del SAR que corresponden a una respuesta al pulso del radar posterior se escriben en una columna o línea de píxeles (31, 32) adyacente.

15 13. Método de acuerdo con la reivindicación 11 ó 12, en el que se controla una transmitancia del píxel basándose en un valor de amplitud y/o fase de una señal de retorno del radar.

20 14. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que el procesamiento óptico de señal de la onda modulada para la reconstrucción de la imagen del radar se basa en una combinación de una lente esférica (12) y una lente cilíndrica (13) o dos lentes esféricas con un detector inclinado (4).

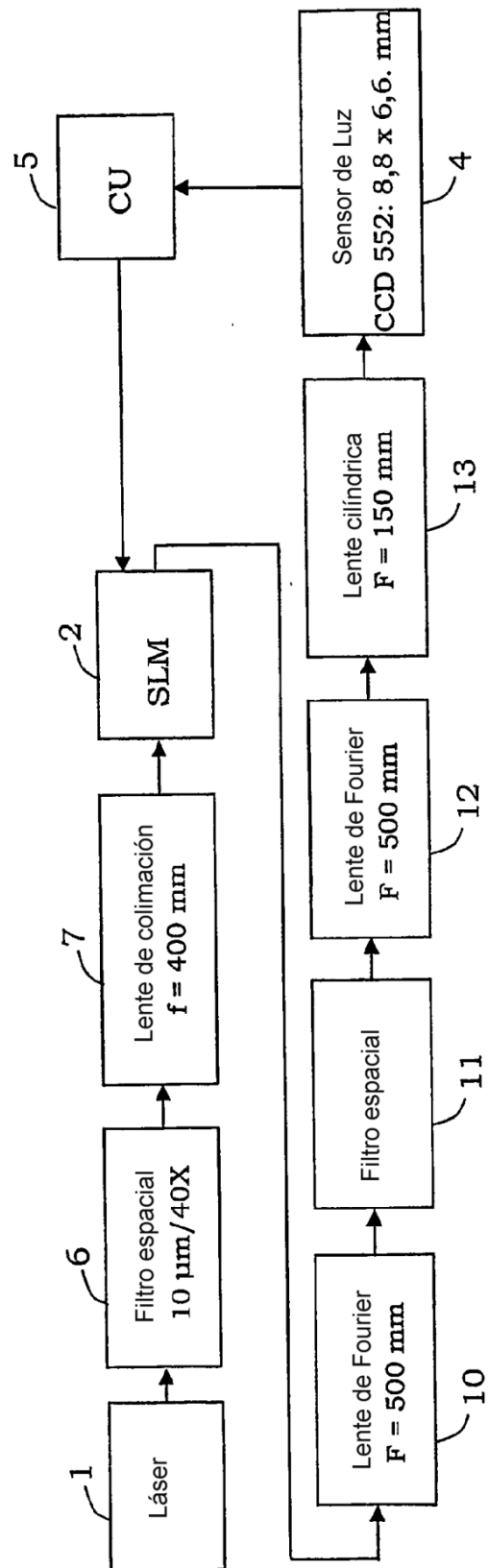
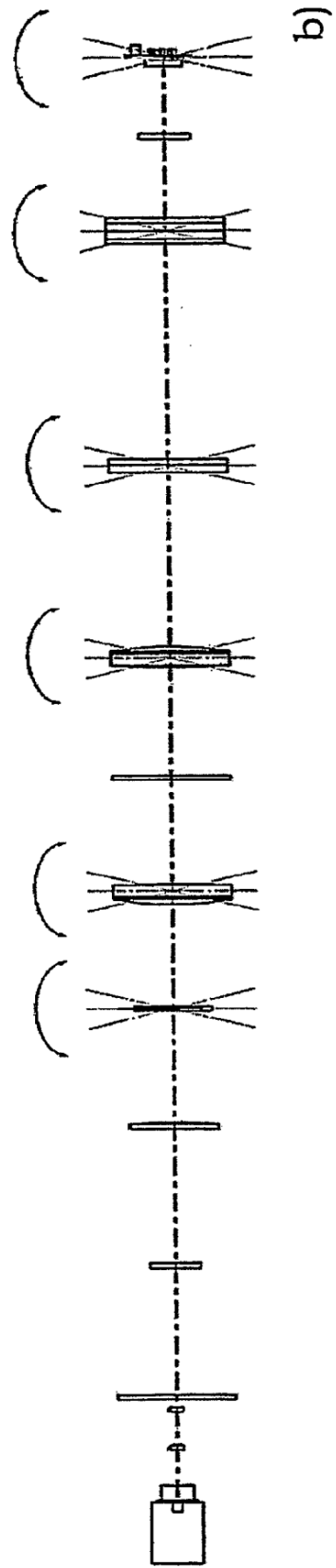
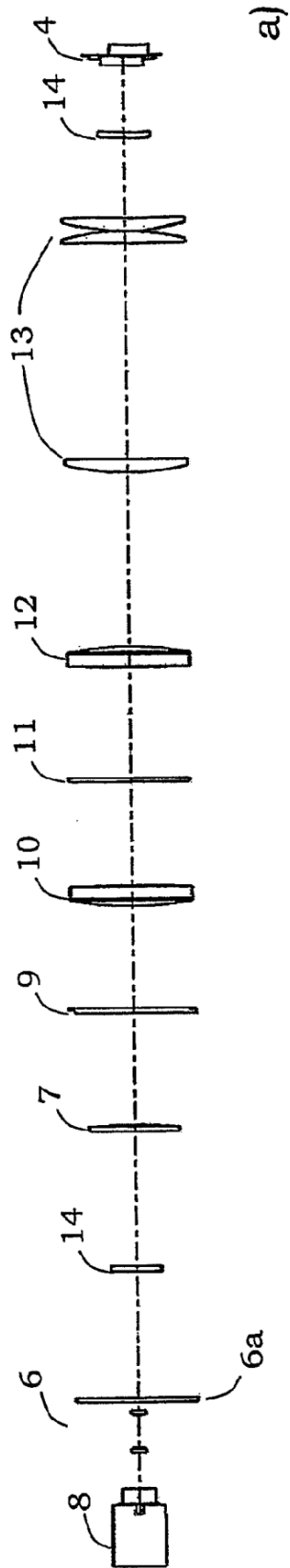


Fig. 1



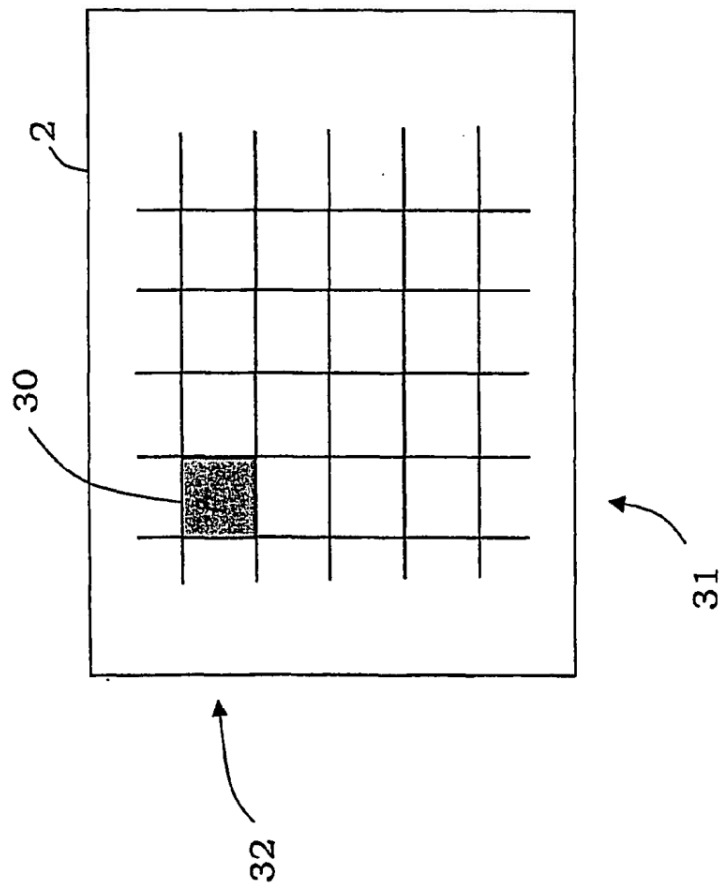


Fig. 3

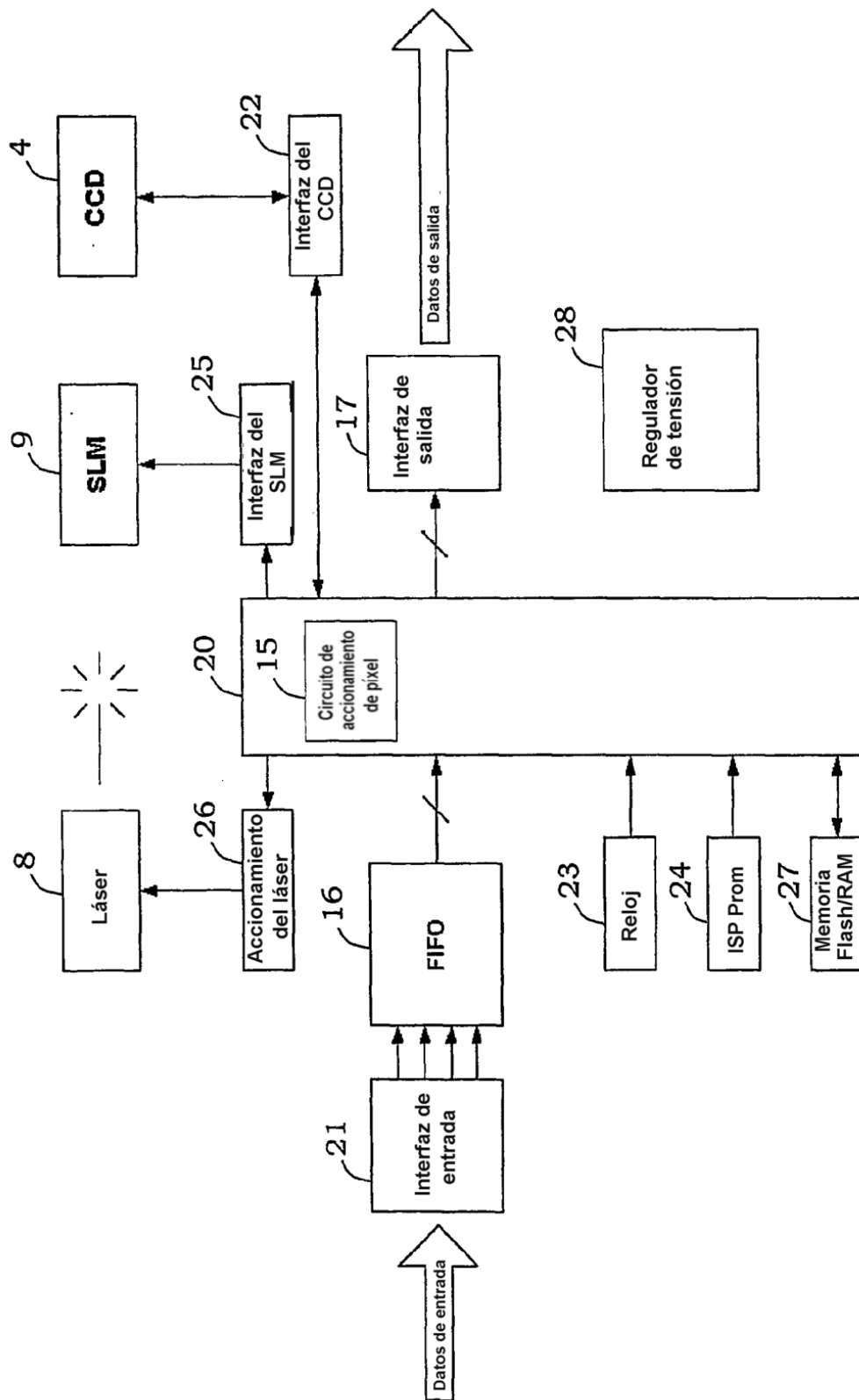


Fig. 4