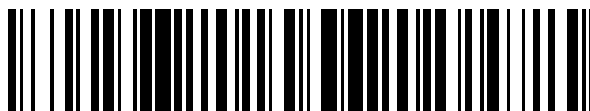


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 549 932**

51 Int. Cl.:

G01S 13/89

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2011** **E 11705764 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2015** **EP 2545395**

54 Título: **Radar de formación de imágenes de superresolución**

30 Prioridad:

12.03.2010 US 723098

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

03.11.2015

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**CAPRON, BARBARA A.;
PARAZZOLI, CLAUDIO G. y
TANIELIAN, MINAS H.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 549 932 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

Radar de formación de imágenes de superresolución

5 ANTECEDENTES

La presente descripción se refiere a un radar de formación de imágenes de superresolución (SRIR). En particular, se refiere a un radar de formación de imágenes de superresolución que usa una formación de imágenes de un orden alto con el fin de conseguir una resolución mejorada.

10 La patente de EEUU N° 5.227.801 A describe un proceso de formación de imágenes en un radar en el que varios impulsos se usan en frecuencias diferentes.

COMPENDIO

15 La presente descripción se refiere a un sistema, aparato y método de un radar de formación de imágenes de superresolución. En una o más realizaciones el radar de formación de imágenes de superresolución implica un generador de señales de impulsos que propaga un número N de explosiones de energía en radiofrecuencia (RF). Cada explosión contiene un número M+1 de impulsos simples. Uno de los impulsos simples de cada explosión es un impulso secundario, y el número M restante de impulsos de cada explosión se propagan hacia un objeto de interés. También, un detector de matriz de cubo (ABD) recoge los impulsos que son reflejados desde el objeto.

20 En una o más realizaciones los impulsos secundarios se propagan a través de una lente virtual. Además, un detector de exploración virtual se usa para detectar el campo eléctrico secundario virtual propagado a través de la lente virtual. Adicionalmente, un procesador usa los impulsos secundarios, las propiedades de la lente virtual, y las propiedades del detector de exploración virtual para calcular un campo eléctrico secundario virtual, que estaría presente en el plano del detector de exploración. Además, un circuito de coincidencia calcula una función de correlación cruzada con el tiempo de los campos eléctricos de los impulsos reflejados que son recogidos por el ABD y el campo eléctrico secundario virtual calculado por el procesador. El circuito de coincidencia usa la función de correlación cruzada con el tiempo que resulta para generar píxeles de una imagen del objeto.

30 En algunas realizaciones el número M de impulsos iluminan secuencialmente el objeto. En al menos una realización el número N de explosiones es inversamente proporcional a la granularidad de la imagen del objeto. En una o más realizaciones el ABD comprende una pluralidad de elementos de antena de RF. En al menos una realización se

tiene que satisfacer la condición $K_{A\perp}^i = -\frac{1}{M} K_{I\perp}^0$. $K_{I\perp}$ representa el componente transversal del vector de onda

35 de los campos de formación de imágenes emitidos en cada explosión, y $K_{A\perp}$ representa el componente transversal del vector de onda del campo secundario virtual.

En una o más realizaciones las amplitudes de los impulsos reflejados que son recogidos por el ABD son almacenadas en forma digital. La función de correlación cruzada con el tiempo se calcula mediante el uso de los datos que son almacenados en forma digital. En algunas realizaciones la correlación cruzada con el tiempo está relacionada con una intensidad píxeles por imagen en un lugar del detector de exploración virtual. En al menos una realización la función de correlación cruzada con el tiempo está dada por:

$$40 \quad G^{(2M+1)}(\vec{x}_{2j}) = \sum_{i=1}^{N_c} \langle E_{0j}^{2M}(T_{0j}, \vec{x}_{2j}) E_{1j}^*(T_{1j}, i) \dots E_{Mj}^*(T_{Mj}, i) E_{Mj}(T_{Mj}, i) \dots E_{1j}(T_{1j}, i) E_{0j}(T_{0j}, \vec{x}_{2j}) \rangle$$

45 $\vec{x}_{2j}$ = lugar del detector de exploración virtual; j = índice de la explosión que corresponde al lugar $\vec{x}_{2j} = 1, 2, \dots, N$; E = campo eléctrico; E* = número complejo conjugado del campo eléctrico; y T = momento de llegada de cada explosión.

50 En algunas realizaciones un método para obtener unas imágenes de superresolución implica proporcionar un radar de imágenes de superresolución (SRIR). En una o más realizaciones el SRIR comprende un generador de señales de impulsos, un detector de matriz de cubo (ABD), una lente virtual, un detector de exploración virtual, un procesador, y un circuito de coincidencia. El método también implica la propagación con el generador de señales de impulsos de un número N de explosiones de energía en radiofrecuencia (RF), en donde cada explosión contiene un número M+1 de impulsos simples. Uno de tales impulsos simples de cada explosión es un impulso secundario, y el número M restante de impulsos de cada explosión se propagan hacia un objeto de interés.

55 El método además implica recoger con el ABD los impulsos que son reflejados desde el objeto. El método implica también propagar los impulsos secundarios a través de la lente virtual y detectar con el detector de exploración virtual el campo eléctrico secundario virtual. Además, el método implica calcular con el procesador un campo eléctrico secundario virtual, que sería detectado por el detector de exploración virtual. También, el método implica calcular con el circuito de coincidencia una función de correlación cruzada con el tiempo de los campos eléctricos de los impulsos reflejados que son recogidos por el ABD y el campo eléctrico secundario virtual calculado por el

procesador. Finalmente, el método implica generar con el circuito de coincidencia los píxeles de una imagen del objeto usando los resultados de la función de correlación cruzada con el tiempo.

En realizaciones alternativas un radar de formación de imágenes de superresolución (SRIR) implica un generador de señales de impulsos que propaga un número N de explosiones de energía en radiofrecuencia (RF). Cada explosión contiene un número $M+1$ de impulsos simples. Además, uno de los impulsos simples de cada explosión es un impulso secundario, y el resto de los M impulsos de cada explosión se propagan hacia un objeto de interés. El radar de formación de imágenes de superresolución implica un detector de matriz de cubo que recoge los impulsos que son reflejados desde el objeto, y una lente. Los impulsos secundarios se propagan a través de la lente.

También, el radar de formación de imágenes de superresolución implica un detector de exploración que detecta el campo eléctrico secundario. Además, el radar de formación de imágenes de superresolución implica un circuito de coincidencia que calcula una función de correlación cruzada con el tiempo de los campos eléctricos de los impulsos reflejados que son recogidos por el ABD y el campo eléctrico secundario detectado por el detector de exploración. El circuito de coincidencia usa los resultados de la función de correlación cruzada con el tiempo para generar píxeles de una imagen del objeto.

En otras realizaciones, un método para obtener imágenes de superresolución implica proporcionar un radar de formación de imágenes de superresolución (SRIR). El SRIR comprende un generador de señales de impulsos, un detector de matriz de cubo (ABD), una lente, un detector de exploración, y un circuito de coincidencia. También, el método implica la propagación con el generador de señales de impulsos un número N de explosiones de energía en radiofrecuencia (RF). Cada explosión contiene un número $M+1$ de impulsos simples. Y uno de los impulsos simples de cada explosión es un impulso secundario y los M impulsos restantes de cada explosión se propagan hacia un objeto de interés.

Además, el método implica recoger con los impulsos del ABD que son reflejados desde el objeto, y propagar los impulsos secundarios a través de la lente. Además, el método implica detectar con el detector de exploración el campo eléctrico secundario propagado a través de la lente al plano del detector de exploración. Además, el método implica calcular con el circuito de coincidencia una función de correlación cruzada con el tiempo de los campos eléctricos de los impulsos reflejados que son recogidos por el ABD y el campo eléctrico secundario detectado por el detector de exploración. También, el método implica la generación con los píxeles del circuito de coincidencia de una imagen del objeto usando los resultados de la función de correlación cruzada con el tiempo.

DIBUJOS

Éstas y otras características, aspectos y ventajas de la presente descripción serán mejor entendidos con respecto a la siguiente descripción, reivindicaciones anejas, y dibujos que se acompañan, en los que:

la Figura 1 ilustra un diagrama esquemático de un radar de formación de imágenes de superresolución (SRIR), de acuerdo con al menos una realización de la presente descripción,

la Figura 2 muestra los datos de prueba de una simulación de un radar de formación de imágenes de superresolución, de acuerdo con al menos una realización de la presente descripción.

DESCRIPCIÓN

Los métodos y aparatos aquí descritos proporcionan un sistema operativo para el radar de formación de imágenes de superresolución (SRIR). Específicamente, este sistema se refiere a un radar de formación de imágenes de superresolución que usa una formación de imágenes de un orden alto con el fin de conseguir una resolución mejorada.

El sistema descrito modifica una técnica conocida como "formación de imágenes fantasma" en el régimen óptico, y la adapta para uso con un radar de formación de imágenes de alta resolución. Esta técnica modificada emplea la correlación de cuarto orden de los campos eléctricos en el régimen de microondas o en radiofrecuencia (RF) para formar una imagen que tenga una mejora en la resolución de 100 veces sobre el radar de formación de imágenes del estado actual de la técnica. Una comparación directa del sistema descrito con el radar de formación de imágenes del estado actual de la técnica muestra que la función de dispersión de puntos (PSF) puede ser disminuida de 5-10 m hasta $\sim 0,045$ m.

Un radar de formación de imágenes trabaja de una forma muy parecida a una cámara con flash ya que proporciona su propia luz para iluminar una zona en el terreno y realiza una foto instantánea. Pero al contrario que una cámara, el radar de formación de imágenes usa unas longitudes de onda de radio. Una cámara con flash envía un impulso de luz (esto es, el flash) y registra en una película la luz que es reflejada de vuelta en ella a través de la lente de la cámara. En lugar de usar una lente de cámara y una película, el radar de formación de imágenes emplea una antena de radar y unas cintas digital y/o una memoria de ordenador para registrar las imágenes. El radar de formación de imágenes mide la intensidad y el tiempo del viaje de ida y vuelta de las señales de microondas que son emitidas por la antena del radar y reflejadas en una superficie u objeto distantes. Como tal, una imagen del radar solamente muestra la luz que fue reflejada de vuelta hacia la antena del radar.

Actualmente, hay dos tipos principales de radares de formación de imágenes que se usan para generar imágenes de radar de alta resolución. Estos dos principales tipos son el radar de apertura artificial (SAR) y el radar de apertura artificial inversa (ISAR). El primero de estos dos tipos, el radar de apertura artificial es una forma de radar en el que se procesan imágenes de radar múltiples para obtener unas imágenes de una mayor resolución que las que serían posibles con el uso de los medios convencionales. El radar de apertura artificial usa (1) una o más antenas montadas sobre una plataforma móvil, tal como un aeroplano o una nave espacial, para iluminar una zona objetivo, (2) usa muchas antenas estacionarias pequeñas de baja directividad que están dispersas sobre una zona cerca de la zona objetivo, o (3) usa una combinación de ellas. En el caso en el que se empleen muchas antenas estacionarias de baja directividad, las muchas formas de onda de eco recibidas en las diferentes posiciones de la antena son posprocesadas para resolver la zona objetivo.

Como tal, una desventaja del sistema de radar de apertura artificial es que como el sistema de radar de apertura artificial puede ser solamente aplicado usando una o más antenas móviles sobre unos objetivos relativamente inmóviles, mediante el uso de antenas estacionarias múltiples sobre una zona relativamente grande, o mediante el uso de combinaciones de ellas, requiere un sistema complejo de alto coste. Las desventajas adicionales del radar de apertura artificial incluyen el hecho de que requiere muchos almacenamientos de datos y el hecho de que requiere mucho posprocesamiento con el fin de generar la imagen resultante.

El segundo de los dos principales tipos de radar de formación de imágenes que se usan para generar imágenes de radar de alta resolución es el radar de apertura artificial inversa. El radar de apertura artificial inversa se usa para generar una imagen bidimensional de alta resolución de un objetivo. Las imágenes del radar de apertura artificial inversa se producen rotando el objetivo y procesando las historias Doppler resultantes de los centros de los centros de dispersión.

Durante la operación de un radar de apertura artificial inversa, si el objetivo rota en la dirección de azimuth a una velocidad constante a través de un ángulo pequeño, las dispersiones se aproximarán o se alejarán del radar a una velocidad que depende de la posición de la trayectoria transversal, que es la distancia normal a la línea de visión del radar con el origen colocado en el centro del eje de rotación del objetivo. La rotación dará como resultado la generación de unas frecuencias Doppler dependientes de la trayectoria transversal, que pueden ser clasificadas por una transformada de Fourier. Esta operación es equivalente a la generación de una matriz de antenas de apertura artificial por fases, que está formada por la sumación coherente de las salidas del receptor para las geometrías del objetivo variable y/o de la antena. Como tal, si el objetivo es rotado en unos ángulos pequeños, la imagen resultante del radar de apertura artificial inversa es la transformada de Fourier bidimensional de la señal recibida como una función de frecuencia y el ángulo de aspecto del objetivo.

Por el contrario, si el objetivo es rotado por medio de unos ángulos grandes, la historia de las frecuencias Doppler de una dispersión no es lineal y sigue una trayectoria de onda sinusoidal. La historia de las frecuencias Doppler no puede ser procesada directamente por una transformada de Fourier debido a que la historia de las frecuencias Doppler esparcidas dará lugar a una pérdida de la resolución de la trayectoria cruzada. El ángulo de rotación máximo que es procesado por una transformada de Fourier no modificada está determinado por la limitación de que el error de la fase de apertura a través de la apertura sintetizada debería variar menos que una cantidad arbitraria especificada, que es usualmente 45 grados.

El radar de apertura artificial inversa tiene algunas desventajas. Una desventaja es que el radar de apertura artificial inversa requiere movimiento, el cual usualmente es una rotación, entre la imagen y el sensor. Otras desventajas incluyen el hecho de que el radar de apertura artificial inversa requiere una gran cantidad de almacenamiento de datos y un posprocesamiento importante con el fin de obtener la imagen resultante del objetivo.

Se debería tener en cuenta que los dos tipos antes mencionados de radar de formación de imágenes, de radar de apertura artificial y de radar de apertura artificial inversa, están limitados para usar unas correlaciones de segundo orden de los campos eléctricos con el fin de producir la imagen resultante. Actualmente, no hay técnicas conocidas que usen correlaciones de un orden más alto para la formación de imágenes de radar. El sistema de la presente descripción emplea unas correlaciones de un orden mayor entre los campos electromagnéticos en frecuencias de radar para formar imágenes. Empleando una formación de imágenes de un orden más alto, la resolución se mejora debido a la superposición matemática de muchos productos exponenciales.

La técnica descrita es similar a la "formación de imágenes de coincidencia" o formación de imágenes fantasma en el régimen óptico. No obstante, se requieren varias modificaciones con el fin de ser capaces de emplear la técnica para la configuración de un radar. En la formación de imágenes fantasma, se forma la imagen de un objeto mediante la luz que ilumina el objeto y la luz que es recogida por un detector de píxeles simples que no tiene una resolución espacial (esto es, un detector de cubo). Esto se lleva a cabo mediante el uso de dos haces correlacionados espacialmente. Uno de los haces ilumina el objeto, y los fotones transmitidos por el objeto son recogidos por el detector de cubo. El otro haz choca sobre un detector multipíxel (por ejemplo, una cámara de dispositivo de carga acoplada (CCD)) sin pasar a través del objeto. Sin embargo, correlacionando las intensidades medidas por el detector de cubo con las intensidades de cada píxel en el detector multipíxel se reconstruye una imagen del objeto.

El sistema de la presente descripción usa una técnica que es similar a la técnica usada en la formación de imágenes fantasma. La principal diferencia entre estas dos técnicas es que el sistema de la presente descripción forma la imagen de un objeto mediante el uso de energía en radiofrecuencia (RF) y, por el contrario, la formación de imágenes fantasma forma la imagen de un objeto mediante el uso de haces de luz. Una discusión detallada de la técnica empleada por el sistema de la presente descripción viene a continuación.

En la descripción que sigue se exponen numerosos detalles con el fin de proporcionar una descripción más completa del sistema. No obstante, para un experto en la técnica será evidente que el sistema descrito puede ser puesto en práctica sin estos detalles específicos. En los otros casos no se han descrito con detalle unas características bien conocidas para no hacer menos claro innecesariamente el sistema.

La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de un radar de formación de imágenes de superresolución (SRIR) 100, de acuerdo con al menos una realización de la presente descripción. En esta figura, el radar de formación de imágenes de superresolución comprende un generador 105 de señales de impulsos, un detector de matriz de cubo (ABD) 110, una lente virtual 115, un detector de exploración virtual 120, un procesador (no mostrado), y un circuito de coincidencia 125.

Durante la operación del radar de formación de imágenes de superresolución (SRIR), el generador 105 de señales de impulsos propaga un número N de explosiones 130 de energía en radiofrecuencia (RF). Cada explosión 130 de energía en RF contiene M+1 impulsos simples 135. Uno de los impulsos simples de cada explosión 130 es un impulso secundario 140, y los M impulsos restantes de cada explosión 130 se propagan hacia un objeto 145 de interés. Como se ve en esta figura, los M impulsos iluminan secuencialmente el objeto 145. El número N de explosiones 130 es inversamente proporcional a la granularidad de la imagen resultante del objeto 145.

Un detector de matriz de cubo 110 recoge los impulsos 150 que son reflejados desde el objeto 145. En una o más realizaciones el detector de matriz de cubo 110 comprende una pluralidad de elementos de antena de RF. Diversos tipos de elementos de antena de RF pueden ser empleados para el detector de matriz de cubo 110 de la presente descripción. En algunas realizaciones las amplitudes de los impulsos reflejados 150 que son recogidos por el detector de matriz de cubo 110 son almacenados en forma digital.

También se muestra en esta figura que los impulsos secundarios 140 se propagan a través de una lente virtual 115. Los componentes transversales de los vectores de onda de los campos de formación de imágenes $K_{1\perp}$ emitidos en cada explosión 130 debe satisfacer la condición $K_{A\perp} = -\frac{1}{M}K_{A\perp}^0$ con relación a la componente transversal del vector de onda del campo eléctrico secundario virtual $K_{A\perp}$.

Tras la propagación de un campo eléctrico secundario a través de la lente virtual un detector de exploración virtual 120 detecta el campo eléctrico secundario virtual a lo largo de un plano 155. Un procesador usa los impulsos secundarios 140, las propiedades de la lente virtual 115, y las propiedades del detector de exploración virtual 120 para calcular un campo eléctrico secundario virtual, el cual podría estar presente en el detector de exploración virtual 120. Se usa un circuito de coincidencia 125 para calcular la función de correlación cruzada con el tiempo de los campos eléctricos de los impulsos reflejados 150 que son recogidos por el detector de matriz de cubo 110 y el campo eléctrico secundario virtual calculado por el procesador. En una o más realizaciones el circuito de coincidencia 125 usa las amplitudes de los impulsos reflejados 150 que son recogidos por el detector de matriz de cubo 110 y son almacenados en forma digital para calcular la función de correlación cruzada con el tiempo.

En analogía con el caso de formación de imágenes de coincidencia la función de correlación cruzada con el tiempo, que está relacionada con la intensidad de píxeles de la imagen en $\bar{x}_{2j}$, está dada por

$$G^{(2M+1)}(\bar{x}_{2j}) = \sum_{i=1}^{N_C} \left\langle E_{0j}^*(T_{0j}, \bar{x}_{2j}) E_{1j}^*(T_{1j}, i) \dots E_{Mj}^*(T_{Mj}, i) E_{Mj}(T_{Mj}, i) \dots E_{1j}(T_{1j}, i) E_{0j}(T_{0j}, \bar{x}_{2j}) \right\rangle$$

$\bar{x}_{2j}$ es el lugar del detector de exploración virtual 120. Y $\bar{x}_{1j}$ es el lugar del objeto 145. También, $j = 1, 2, \dots, N$; y j es el índice de explosiones que corresponde al lugar $\bar{x}_{2j} = 1, 2, \dots, N$. Además, E es el campo eléctrico, E* es el número complejo conjugado del campo eléctrico, y T es el momento de llegada de cada explosión 130. En realizaciones alternativas se pueden usar diversos otros tipos de funciones de correlación cruzada con el tiempo con el sistema descrito. Se debería tener en cuenta que todas las funciones que residen en la casilla etiquetada "virtual" en esta figura pueden ser realizadas virtualmente por el soporte lógico.

En realizaciones alternativas algunas o todos los elementos que residen en la casilla etiquetada "virtual" pueden realmente ser dispositivos no virtuales. Por ejemplo, en al menos una realización una lente de RF tangible puede ser sustituida por la lente virtual 115 representada en esta figura. Adicionalmente, en algunas realizaciones, un detector de exploración tangible puede ser sustituido por el detector de exploración virtual 120 de este sistema. En cualquier

realización en donde un dispositivo "virtual" esté presente, se usará un procesador para calcular el campo eléctrico apropiado.

5 Después de que el circuito de coincidencia 125 calcule la función de correlación cruzada con el tiempo, el circuito de coincidencia 125 usa los resultados de la función de correlación cruzada con el tiempo para generar los píxeles de una imagen del objeto 145. Cada explosión 130 se usa para generar un píxel de la imagen resultante. Las posteriores explosiones 130 pintan totalmente una imagen del objeto 145. Como tal, el número de explosiones 130 determinará la granularidad de la imagen final.

10 La Figura 2 muestra los datos de una prueba de simulación de un radar de formación de imágenes de superresolución de acuerdo con al menos una realización de la presente descripción. Para esta simulación el soporte lógico desarrollado para la formación de imágenes fantasma cuánticas fue adaptada para simular el radar de formación de imágenes de superresolución de la presente descripción. Para este proceso, se hicieron varias suposiciones en beneficio de una simplicidad, pero los elementos básicos fueron protegidos. Para esta particular
15 simulación, se usó la radiación en 1,76 cm (17,0 GHz) para iluminar un objeto que fue formado por dos reflectores apodizados de 0,5 m de radio. Los dos reflectores apodizados estaban separados 1,0 m y colocados a 3,0 Km de la fuente. El objeto fue iluminado por explosiones con M impulsos, y las imágenes resultantes se muestran en esta figura. Como puede verse en esta figura, cuando el objeto es iluminado bien por 50 o por 100 impulsos, el contorno del objetivo está completamente borroso. Cuando el número de impulsos se incrementa hasta 200-265, se obtiene
20 una imagen totalmente resuelta del objeto.

A pesar de que aquí se han descrito ciertas realizaciones y métodos, a partir de la anterior descripción puede resultar evidente a los expertos en la técnica que variaciones y modificaciones de tales realizaciones y métodos
25 pueden ser realizados sin apartarse del alcance de la técnica descrita. Hay muchos otros ejemplos de la técnica descrita, en donde cada uno difiere de los otros solamente en temas de detalle. En consecuencia, la técnica descrita solamente estará limitada en la medida requerida por las reivindicaciones anejas y las reglas y principios de la ley aplicable.

REIVINDICACIONES

1. Un radar de formación de imágenes de superresolución (SRIR), el SRIR comprende:

un generador (105) de señales de impulsos;
 en donde el generador (105) de señales de impulsos propaga un número N de explosiones (103) de energía en radiofrecuencia (RF);
 en donde cada explosión (103) contiene M+1 impulsos simples (135);
 en donde uno de los impulsos simples (135) de cada explosión (130) es un impulso secundario (140), y los M impulsos restantes de cada explosión (130) se propagan hacia un objeto de interés (145);
 un detector de matriz de cubo (ABD) (110), en donde el ABD (110) recoge los impulsos (130) que son reflejados desde el objeto (145);
 un procesador, en donde el procesador usa los impulsos secundarios, las propiedades de una lente virtual (115), y las propiedades de un detector de exploración virtual (120) para calcular un campo eléctrico secundario virtual, el cual estaría presente en el detector de exploración virtual (120);
 en donde los impulsos secundarios (140) se propagan a través de la lente virtual (115); y
 un circuito de coincidencia (125), en donde el circuito de coincidencia (125) calcula la función de correlación cruzada con el tiempo de los circuitos eléctricos de los impulsos reflejados que son recogidos por el ABD (110) y el campo eléctrico secundario virtual;
 y en donde el circuito de coincidencia (125) usa los resultados de la función de correlación cruzada con el tiempo para generar los píxeles de una imagen del objeto.

2. El SRIR de la reivindicación 1, en donde un número M de impulsos iluminan secuencialmente el objeto (145).

3. El SRIR de la reivindicación 1, en donde el número N de explosiones es inversamente proporcional a la granularidad de la imagen del objeto (145).

4. El SRIR de la reivindicación 1, en donde el ABD (110) comprende una pluralidad de elementos de la antena de RF.

5. El SRIR de la reivindicación 1, en donde la condición $K_{A\perp}^i = -\frac{1}{M}K_{1\perp}^0$ tiene que ser satisfecha, en donde:

$K_{1\perp}$ representa la componente transversal del vector de onda de los campos de formación de imágenes emitidos en cada explosión, y

$K_{A\perp}$ representa la componente transversal del vector de onda del campo secundario virtual.

6. El SRIR de la reivindicación 5, en donde la función de correlación cruzada con el tiempo se calcula mediante el uso de los datos que están almacenados en forma digital.

7. El SRIR de la reivindicación 1, en donde la función de correlación cruzada con el tiempo está relacionada con una intensidad de píxeles de la imagen en un lugar del detector de exploración virtual (120).

8. El SRIR de la reivindicación 1, en donde la función de correlación cruzada con el tiempo está dada por:

$$G^{(2M+1)}(\vec{x}_{2j}) = \sum_{i=1}^{N_c} \left\langle E_{0j}^*(T_{0j}, \vec{x}_{2j}) E_{1j}^*(T_{1j}, i) \dots E_{Mj}^*(T_{Mj}, i) E_{Mj}(T_{Mj}, i) \dots E_{1j}(T_{1j}, i) E_{0j}(T_{0j}, \vec{x}_{2j}) \right\rangle$$

en donde:

$\vec{x}_{2j}$ = lugar del detector de exploración virtual;

j = índice de explosiones que corresponde al lugar $\vec{x}_{2j} = 1, 2, \dots, N$;

E = campo eléctrico;

E* = número complejo conjugado del campo eléctrico; y

T = momento de llegada de cada explosión.

9. Un método para obtener imágenes de superresolución, el método comprende:

proporcionar un radar de formación de imágenes de superresolución (SRIR);

- en donde el SRIR comprende un generador (105) de señales de impulsos, un detector de matriz de cubo (ABD) (110), un procesador para calcular una lente virtual (115), y un detector de exploración virtual (120), y un circuito de coincidencia (125);
 5 la propagación con el generador (105) de señales de impulsos un número N de explosiones (130) de energía en radiofrecuencia (RF);
 en donde cada explosión (130) contiene un número M+1 de impulsos simples (135);
 en donde uno de los impulsos simples (135) de cada explosión es un impulso secundario (140), y el número M restante de impulsos de cada explosión se propaga hacia un objeto de interés (145);
 10 recoger con el ABD (110) los impulsos que son reflejados desde el objeto (145);
 propagar los impulsos secundarios (140) a través de la lente virtual (115);
 calcular con el procesador un campo eléctrico secundario virtual, el cual estaría presente en el detector de exploración virtual (120), usando los impulsos secundarios, las propiedades de la lente virtual, y las propiedades del detector de exploración virtual;
 15 calcular con el circuito de coincidencia una función de correlación cruzada con el tiempo de los campos eléctricos de los impulsos reflejados que son recogidos por el ABD (110) y el campo eléctrico secundario virtual calculado en un plano del detector de exploración virtual; y
 generar con los píxeles del circuito de coincidencia una imagen del objeto usando los resultados de la función de correlación cruzada con el tiempo.
- 20 10. El método de obtención de imágenes de superresolución de la reivindicación 9, en donde los M impulsos iluminan secuencialmente el objeto (145).
- 25 11. El método de obtención de imágenes de superresolución de la reivindicación 9, en donde el número N de explosiones es inversamente proporcional a la granularidad de la imagen del objeto (145).
12. El método de obtención de imágenes de superresolución de la reivindicación 9, en donde el ABD (110) comprende una pluralidad de elementos de antena de RF.
- 30 13. El método de obtención de imágenes de superresolución de la reivindicación 9, en donde las amplitudes de los impulsos reflejados que son recogidos por el ABD (110) son almacenadas en forma digital.
14. El método de obtención de imágenes de superresolución de la reivindicación 9, en donde la función de correlación cruzada con el tiempo se calcula mediante el uso de los datos almacenados en forma digital.
- 35 15. El método de obtención de imágenes de superresolución de la reivindicación 9, en donde la función de correlación cruzada con el tiempo está relacionada con una intensidad de píxeles de la imagen en un lugar del detector de exploración virtual.
- 40 16. Un método de obtención de imágenes de superresolución, en donde el método comprende:
 proporcionar un radar de formación de imágenes de superresolución (SRIR);
 en donde el SRIR comprende un generador (105) de señales de impulsos, un generador (105) de señales de impulsos, un detector de matriz de cubo (ABD) (110), una lente (115), un detector de exploración virtual (120),
 45 un procesador, y un circuito de coincidencia (125);
 propagar con el generador (105) de señales de impulsos N explosiones (130) de energía en radiofrecuencia (RF);
 en donde cada explosión (130) contiene M+1 impulsos simples (135);
 en donde uno de los impulsos simples (135) de cada explosión es un impulso secundario (140), y el número M de impulsos restantes de cada explosión se propagan hacia un objeto de interés (145);
 50 recoger con el ABD (110) los impulsos que son reflejados desde el objeto (145);
 propagar los impulsos secundarios (140) a través de la lente (115) para propagar un campo eléctrico secundario;
 detectar con el detector de exploración (120) el campo eléctrico secundario;
 calcular con el circuito de coincidencia una función de correlación cruzada con el tiempo de los campos eléctricos de los impulsos reflejados que son recogidos por el ABD (110) y el campo eléctrico secundario detectado por el detector de exploración (120); y
 55 generar con los píxeles del circuito de coincidencia una imagen del objeto (145) usando los resultados de la función de correlación cruzada con el tiempo.

