

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 928 098**

51 Int. Cl.:

G01S 13/88 (2006.01)
B60W 40/06 (2012.01)
B60W 40/064 (2012.01)
B60W 40/068 (2012.01)
G01C 21/26 (2006.01)
G01C 21/36 (2006.01)
G01S 7/41 (2006.01)
G01S 13/86 (2006.01)
G01S 13/87 (2006.01)
G01S 13/89 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.01.2018 PCT/US2018/015791**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **02.08.2018 WO18140897**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2018 E 18744920 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.08.2022 EP 3574341**

54 Título: **Ampliación de huella para la localización utilizando el radar de penetración superficial (SPR)**

30 Prioridad:

27.01.2017 US 201762451313 P
07.07.2017 US 201762529740 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.11.2022

73 Titular/es:

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
(100.0%)
77 Massachusetts Avenue
Cambridge, MA 02139, US

72 Inventor/es:

STANLEY, BYRON MCCALL y
CORNICK, MATTHEW TYLER

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 928 098 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

Ampliación de huella para la localización utilizando el radar de penetración superficial (SPR)

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a un método y un sistema para determinar las características de la superficie. El método y el sistema pueden usarse para controlar un vehículo.

10 Antecedentes de la invención

La navegación autónoma de vehículos puede requerir el mapeo extensivo y el mapeo de datos a ser adquiridos y almacenados. La adquisición y el almacenamiento de los datos de mapeo pueden requerir muchos recursos y pueden ser costosos y consumir mucho tiempo. Además, el uso de los datos de mapeo para la navegación de vehículos autónomos puede requerir un equipo transceptor y/o sensor exacto y preciso que puede tener limitaciones tanto en la granularidad como en el alcance de la imagen. Por lo tanto, puede existir la necesidad de métodos y sistemas para hacer un uso más eficiente del equipo transceptor y/o sensor utilizado en la navegación de vehículos autónomos.

El documento US 2016/0061948 A1 describe un radar de penetración en el terreno en movimiento para detectar objetivos enterrados con capacidad de separación.

Resumen

Las realizaciones de ejemplo de la presente tecnología incluyen un método que determina las características de la superficie.

De acuerdo con la invención, se proporciona un método para extender la huella de un radar de penetración superficial, SPR, para realizar la localización de un vehículo equipado con un sistema SPR, como se establece en la reivindicación 1. Además, la presente invención se refiere a un sistema para realizar la localización de un vehículo equipado con un radar de penetración superficial como se define en la reivindicación 13. Todas las características esenciales de la presente invención se definen exclusivamente en dichas reivindicaciones. Las realizaciones alternativas de la presente invención se exponen en las reivindicaciones dependientes 2-12.

En varios ejemplos, que no definen la invención, el método puede incluir la expansión de un mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto. El método puede incluir además realizar la localización del vehículo cuando un pase de seguimiento solo se superpone parcialmente con una huella de mapa asociada con la realización de la localización con el sistema SPR. El objeto no puede estar debajo de una matriz de antenas SPR del sistema SPR. El método también puede incluir la expansión de un mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR más allá de un área por debajo de la matriz de antenas SPR. El método puede incluir adicionalmente realizar menos pases de mapeo de un área mediante la expansión del mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR. Además, el método puede incluir la expansión de un área donde se puede realizar la localización mediante la expansión del mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR. Además, el método puede incluir la determinación de una distancia desde el objeto hasta un elemento SPR del sistema SPR con base en la recepción de la señal de respuesta a través de los al menos dos elementos de recepción de SPR. Además, el método puede incluir la migración de datos asociados con la recepción de la señal de respuesta a través de los al menos dos elementos de recepción de SPR.

En un ejemplo, que no define la invención, un método para ampliar la huella de un radar de penetración superficial (SPR) para realizar la localización con un sistema SPR puede incluir la transmisión de dos o más señales SPR, cada una desde un elemento de transmisión de SPR diferente. El método puede incluir además recibir dos o más señales de respuesta a través de un elemento de recepción de SPR, las señales de respuesta incluyen, al menos en parte, reflejos de las dos o más señales SPR de un objeto. El método también puede incluir determinar que el objeto está en una región de interés fuera de la huella del sistema SPR con base en una diferencia de fase en la que se reciben las dos o más señales de respuesta en el elemento de recepción de SPR. El método puede incluir adicionalmente realizar la localización de un vehículo usando el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto.

En varios ejemplos, que no definen la invención, el método puede incluir la expansión de un mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto. El método también puede incluir realizar la localización del vehículo cuando un pase de seguimiento solo se superpone parcialmente con una huella de mapa asociada con la realización de la localización con el sistema SPR. El objeto no puede estar debajo de una matriz de antenas SPR del sistema SPR. El método puede incluir además la expansión de un mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR más allá de un área por debajo de la matriz de antenas SPR correspondiente. El método puede incluir adicionalmente realizar menos pases de mapeo de un área mediante la expansión del mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR. Además, el método puede incluir la expansión de un área donde se puede realizar la localización mediante la expansión del mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR. Además, el método puede incluir la determinación de una distancia

desde el objeto hasta un elemento SPR del sistema SPR con base en la recepción de dos o más señales de respuesta a través del elemento de recepción de SPR. Además, el método puede incluir la migración de datos asociados con la recepción de la señal de respuesta a través del elemento de recepción de SPR.

5 En un ejemplo, que no define la invención, un método para ampliar la huella de un radar de penetración superficial (SPR) para realizar la localización con un sistema SPR puede incluir la transmisión de una primera señal de SPR desde un primer elemento de transmisión de SPR y una segunda señal de SPR desde un segundo elemento de transmisión de SPR. El método puede incluir además recibir una primera señal de respuesta en un primer elemento de recepción de SPR y en un segundo elemento de recepción de SPR, la primera señal de respuesta incluye, al menos
10 en parte, un reflejo de la primera señal de SPR de un objeto. El método también puede incluir recibir una segunda señal de respuesta a través de al menos uno del primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR, la segunda señal de respuesta incluye, al menos en parte, un reflejo de la segunda señal de SPR del objeto. El método también puede incluir determinar que el objeto está en una región de interés fuera de la huella del sistema SPR en base a una diferencia de fase en la que se recibe la primera señal de respuesta en el primer
15 elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR y una diferencia de fase en la que se reciben la primera señal de respuesta y la segunda señal de respuesta a través del al menos uno del primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR. Además, el método puede incluir realizar la localización de un vehículo usando el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto.

20 En un ejemplo, que no define la invención, un sistema para ampliar la huella de un radar de penetración superficial (SPR) para realizar la localización con SPR puede incluir un primer elemento de transmisión de SPR configurado para transmitir una primera señal de SPR. El sistema también puede incluir un segundo elemento de transmisión de SPR configurado para transmitir una segunda señal de SPR. El sistema puede incluir además un primer elemento de recepción de SPR configurado para recibir una primera señal de respuesta, la primera señal de respuesta incluye, al
25 menos en parte, un reflejo de la primera señal de SPR de un objeto. El sistema puede incluir adicionalmente un segundo elemento de recepción de SPR configurado para recibir la primera señal de respuesta, en donde al menos uno del primer y segundo elementos de recepción de SPR están configurados para recibir una segunda señal de respuesta, la segunda señal de respuesta incluye, al menos en parte, un reflejo de la segunda señal de SPR del objeto. Además, el sistema puede incluir uno o más procesadores en comunicación con el primer y segundo elementos de
30 recepción de SPR. El uno o más procesadores pueden configurarse para determinar que el objeto está en una región de interés fuera de una huella asociada con el sistema en base a una diferencia de fase en la que se recibe la primera señal de respuesta en el primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR y una diferencia de fase en la que la primera señal de respuesta y la segunda señal de respuesta se reciben a través del al menos uno del primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR. El uno o más
35 procesadores pueden configurarse además para realizar la localización de un vehículo basándose al menos en parte en el objeto.

Breve descripción de los dibujos

40 Las ventajas anteriores y otras ventajas adicionales de esta invención pueden entenderse mejor haciendo referencia a la siguiente descripción junto con los dibujos adjuntos, en los que los mismos números indican los mismos elementos estructurales y características en las diversas figuras. Para mayor claridad, no todos los elementos pueden estar etiquetados en todas las figuras. Los dibujos no están necesariamente a escala, sino que generalmente se enfatiza en ilustrar los principios de la invención.

45 Las Figuras 1A, 1B y 1C son representaciones de diagramas de flujo de realizaciones de métodos para ampliar una huella de radar de penetración superficial (SPR) para realizar la localización con un sistema SPR.
La Figura 2 muestra una vista lateral de un vehículo equipado con un sistema GPR de acuerdo con la presente divulgación.
50 La Figura 3 muestra una vista frontal de un vehículo equipado con un sistema GPR de acuerdo con la presente divulgación.
La Figura 4 muestra una vista inferior de un vehículo equipado con un sistema GPR de acuerdo con la presente divulgación.
La Figura 5 muestra un ejemplo de sistema GPR de acuerdo con la presente divulgación.
55 La Figura 6 muestra un diagrama de un pase de mapeo de ejemplo de acuerdo con la presente divulgación.
La Figura 7 muestra un diagrama de un pase de seguimiento de ejemplo de acuerdo con la presente divulgación.
La Figura 8 muestra un diagrama de un pase de mapeo de ejemplo y un pase de seguimiento de ejemplo de acuerdo con la presente divulgación.
La Figura 9 muestra un diagrama de un pase de mapeo de ejemplo de acuerdo con la presente divulgación.
60 La Figura 10 muestra un diagrama de un pase de seguimiento de ejemplo de acuerdo con la presente divulgación.
La Figura 11 muestra un gráfico de un campo eléctrico simulado (E-Plane) de un elemento dipolo.
La Figura 12 muestra un gráfico de un campo eléctrico simulado (Plano H) de un elemento dipolar.
La Figura 13 muestra un gráfico de un campo eléctrico simulado versus la profundidad.
La Figura 14 muestra un gráfico de un campo eléctrico simulado versus la frecuencia.

Descripción detallada

Se hace referencia en diversas realizaciones descritas a continuación al terreno y a una superficie del terreno. Se entenderá que el terreno incluye el suelo, la superficie de la carretera o el pavimento, tal como capas de asfalto y hormigón, grava, arena y similares, y que la superficie del terreno es la interfaz del terreno con el aire, la matriz, el fluido, la nieve, la lluvia, el lodo, el fango, o el espacio libre. En algunos casos, la superficie también puede incluir las superficies que rodean un túnel, un pozo de mina y otros pasajes a través de los cuales puede viajar un vehículo.

Más generalmente, se hace referencia aquí al radar de penetración superficial (SPR) y al radar de penetración terrestre (GPR). Como se usa aquí, SPR significa cualquier sistema de radar que está configurado para adquirir datos de una región del subsuelo. Un SPR se puede configurar y orientar para obtener datos de una región del subsuelo que se encuentra detrás de la superficie de una pared, techo, piso o una o más superficies a lo largo de un túnel o pasaje. En algunos casos, el SPR también puede obtener datos de la superficie. Se reconocerá que un sistema GPR es un tipo de sistema SPR que está configurado para adquirir datos de una región por debajo de la superficie del terreno y también puede adquirir datos para la superficie del terreno. Una región del subsuelo, como se usa aquí, significa una región detrás de la superficie tal como una región subterránea detrás de la superficie del terreno. Alternativamente, la región del subsuelo puede ser una región detrás de la superficie de una estructura, tal como una región dentro y/o detrás de una estructura de pared o techo.

En un breve resumen, la presente divulgación se refiere a métodos y sistemas para ampliar una huella de SPR para realizar la localización con un sistema SPR. Un método puede incluir la transmisión de al menos una señal de SPR desde al menos un elemento de transmisión de SPR. El método puede incluir además recibir una señal de respuesta a través de al menos dos elementos de recepción de SPR, la señal de respuesta que incluye, al menos en parte, un reflejo de la señal de SPR de un objeto. El método también puede incluir determinar que el objeto está en una región de interés fuera de la huella del sistema SPR con base en una diferencia de fase en la que se recibe la señal de respuesta en los al menos dos elementos de recepción de SPR. El método puede incluir adicionalmente realizar la localización de un vehículo usando el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto.

Los métodos y sistemas para la localización de un vehículo utilizando SPR o GPR se describen, por ejemplo, en la Patente de Estados Unidos Núm. 10,725,171, titulada "Method and System for Localization of a Vehicle Using Surface Penetrating Radar" y en la Estados Unidos Núm. 8,949,024, titulada "Vehicle Localization Using Surface Penetrating Radar".

Las imágenes de SPR adquiridas previamente se pueden usar como un mapa del subsuelo para ayudar en la navegación del vehículo. Los mapas se pueden crear con diferentes precisiones y profundidades del subsuelo. Los mapas de menor precisión se utilizan para el seguimiento de localización aproximado durante el paso de un vehículo sobre la región del subsuelo mapeada. Por ejemplo, se puede usar un mapa de menor precisión con el primer conjunto de imágenes SPR para obtener datos de ubicación de menor precisión y luego se pueden usar mapas de mayor precisión junto con los datos de ubicación aproximados para obtener datos de ubicación precisos del segundo conjunto de imágenes de SPR. La localización aproximada ayuda a reducir el volumen de búsqueda de la localización precisa y a aumentar la solidez y precisión de los datos de ubicación determinados finales. Además, el uso de coincidencias de registro múltiple obtenidas para cada posición del vehículo en base a los mapas múltiples ayuda aún más a mejorar la solidez y la precisión. En algunas situaciones, se puede extraer un subconjunto de conjuntos de características significativas dentro de un mapa para permitir la localización global rápida del vehículo como una localización aproximada utilizando las técnicas descritas en Patente de Estados Unidos Núm. 8,949,024. El conjunto de procesamiento reducido se utiliza para "reubicar" rápidamente el vehículo en una referencia global. Esta técnica es beneficiosa en entornos sin GPS, como cuando el vehículo pierde el rumbo y no tiene una estimación global precisa de la posición.

Las imágenes de referencia de SPR adquiridas previamente se pueden combinar o unir para proporcionar más datos de imagen de referencia que los que se pueden adquirir para un solo pase de un sistema SPR móvil. Por ejemplo, los datos de imagen de referencia de GPR para una carretera de varios carriles se pueden adquirir mediante varios pases de un sistema GPR móvil, correspondiendo cada pase a un solo carril de la carretera. Las imágenes de referencia de GPR para los carriles se pueden combinar sin problemas para proporcionar datos de imagen para todo el ancho de la carretera. Por lo tanto, el sistema de navegación de un vehículo puede usar las imágenes de referencia para viajar en cualquier carril y para hacer la transición entre carriles adyacentes. Alternativamente, solo una parte del ancho de la carretera (por ejemplo, un carril central) puede representarse en las imágenes de referencia de GPR almacenadas, siempre que exista una superposición suficiente entre la región del subsuelo de un vehículo y la región del subsuelo representada en las imágenes de referencia de GPR almacenadas para la carretera. La ruta de viaje para el vehículo se puede definir mediante una ruta global sin referencia particular a la ruta de los vehículos de referencia utilizados para obtener las imágenes de referencia SPR. Alternativamente, puede ser posible definir una ruta de viaje usando un carril adyacente al carril central manteniendo un desplazamiento lateral deseado entre la trayectoria real del vehículo y una ruta asociada con las imágenes de referencia de GPR. Cualquier otro dato recopilado por los vehículos (incluso durante el seguimiento de una ruta) puede usarse para actualizar los datos de la imagen de referencia.

En algunas realizaciones, las imágenes SPR también incluyen datos de la superficie, es decir, datos para la interfaz de la región del subsuelo con el aire o el entorno local. Si la matriz de antenas SPR no está en contacto con la superficie, la señal de retorno más fuerte recibida generalmente se basa en el reflejo causado por la superficie.

Aunque los métodos y sistemas descritos en el presente documento se analizan en el contexto de facilitar la navegación autónoma de vehículos terrestres, los métodos y sistemas pueden ser útiles para otros tipos de navegación. La facilitación de la navegación de vehículos autónomos no se limita a los automóviles y otras formas de vehículos de superficie que viajan por tierra. En cambio, las técnicas y características para facilitar la navegación de vehículos autónomos descritas en la presente descripción pueden aplicarse a la navegación en el agua, bajo el agua, bajo tierra, en interiores o por vuelo.

Haciendo referencia a las Figuras 1A, 1B y 1C se muestran diagramas de flujo de los métodos 100A, 100B y 100C para ampliar una huella de SPR para realizar la localización con un sistema SPR de acuerdo con la presente descripción. Con referencia también a la Figura 2, se muestra una vista lateral de un vehículo 200 equipado con un sistema SPR 202 de acuerdo con la presente divulgación. Cabe señalar que el sistema SPR 202 y otros sistemas SPR descritos en la presente divulgación pueden diseñarse para realizar operaciones de radar de penetración en el terreno o en la superficie y recopilar datos para la obtención de imágenes del subsuelo.

Aunque se representa como un automóvil, el vehículo 200 puede ser cualquier plataforma o estructura móvil, incluyendo, a modo de ejemplos no limitativos, plataformas para el transporte de pasajeros o cargas útiles tales como equipos, sensores y otros objetos. El vehículo 200 puede tener la capacidad de cambiar de dirección (es decir, girar), acelerar y desacelerar. Aunque generalmente se entiende que el vehículo 200 de la ilustración no es holonómico ya que sus grados de libertad controlables son menores que los grados de libertad totales, también se contempla un vehículo holonómico, tal como un vehículo con ruedas omnidireccionales. En otras realizaciones, el vehículo 200 puede ser capaz de cambiar uno o más de su altitud (o distancia desde la superficie del terreno), cabeceo, guiñada y balanceo. El vehículo 200 puede incluir un sistema de navegación basado en SPR y puede funcionar en un modo autónomo. En otras palabras, la operación de pasajeros del vehículo 200 puede estar limitada o ausente, y puede que el vehículo 200 no reciba comandos remotos para la navegación. A modo de ejemplo, la operación limitada puede incluir el control de la velocidad por parte de un pasajero mientras que otras operaciones permanecen bajo control autónomo.

Haciendo referencia a la Figura 1A, en una realización, el método 100A puede incluir transmitir **102A** al menos una señal de SPR (por ejemplo, la señal de SPR 204) desde al menos un elemento de transmisión de SPR. El sistema SPR 202 puede incluir una matriz de antenas fijado a la parte inferior del vehículo 202. La matriz de antenas SPR puede incluir una configuración lineal de elementos de antena de transmisión y recepción espacialmente invariantes para transmitir y recibir señales de radar. La señal 204 puede ser transmitida por uno de los elementos de antena de transmisión de la matriz de antenas SPR. En otras realizaciones, la matriz de antenas SPR puede ubicarse en otro lugar del vehículo 202 (por ejemplo, fijado en la parte delantera del vehículo) y los elementos de antena de transmisión y recepción pueden no estar dispuestos linealmente. La matriz de antenas SPR puede ser nominal o sustancialmente paralelo a la superficie del terreno 206 y puede extenderse paralelo o perpendicular a la dirección de desplazamiento. Las señales SPR (por ejemplo, la señal 204) pueden propagarse hacia abajo desde los elementos de la antena de transmisión hacia y/o a través de la superficie de la carretera 206 debajo del vehículo 202. Las señales SPR pueden ser retrodispersadas en dirección ascendente desde la superficie 206 o debajo de la superficie 206 y pueden ser detectadas por los elementos de la antena receptora.

En diversas implementaciones, la señal de SPR puede comprender frecuencias o rangos de frecuencias que pueden seleccionarse en base a la sensibilidad a las características del subsuelo superficial. Las respuestas de frecuencia pueden analizarse para determinar las frecuencias adecuadas para la señal de SPR. Por ejemplo, la selección de frecuencia puede basarse en la respuesta de cada frecuencia en relación con el reflejo de varias características de la superficie o del subsuelo. Las frecuencias se pueden seleccionar de modo que rangos de profundidad particulares o tipos de características, estabildades, niveles de desorden y tamaños de características se enfatizen o disminuyan en los datos. Por lo tanto, la selección de frecuencia puede permitir enfatizar ciertas características de la superficie.

Con referencia ahora a la Figura 5, se muestra un ejemplo de sistema SPR de acuerdo con la presente divulgación. El sistema SPR 500 puede ser un sistema SPR móvil y puede incluir una matriz de antenas SPR 502. Por ejemplo, la matriz de antenas SPR 502 puede fijarse a la parte inferior del vehículo. La matriz de antenas SPR 502 puede incluir uno o más elementos de antena de transmisión y recepción para transmitir y recibir señales de radar. Además, la matriz de antenas SPR 502 puede estar en comunicación con el procesador SPR 504 que puede controlar la matriz de antenas SPR 502. Por ejemplo, el procesador SPR 504 puede controlar las operaciones de transmisión de la matriz de antenas SPR 502 o uno o más de los elementos de antena de transmisión y recepción del mismo. El procesador SPR 504 puede recibir señales de radar de retorno desde la matriz de antenas SPR 502 o uno o más de los elementos de antena del mismo. El sistema SPR 202 de la Figura 2 puede ser igual, similar o una implementación del sistema SPR 500.

En la implementación, el sistema SPR 500 también puede incluir uno o más componentes para realizar operaciones de localización del vehículo. Por ejemplo, el sistema SPR 500 puede incluir un módulo de registro, un módulo de conversión, una interfaz de usuario y/o una fuente de imagen de referencia, como se explica con más detalle en la Patente de Estados Unidos Núm. 10,725,171, mencionada anteriormente. De esta forma, el sistema SPR también puede utilizarse en una aplicación de localización del vehículo (por ejemplo, el vehículo 200).

Haciendo referencia a la Figura 3 y la Figura 4, se muestran vistas frontales e inferiores del vehículo 200. El sistema SPR 202 puede incluir una matriz de antenas SPR 208. La matriz de antenas SPR 208 puede incluir elementos de antena a-l. Si bien la matriz de antenas SPR 208 puede incluir doce elementos de antena del a al l, esta configuración se muestra solo con fines ilustrativos y la matriz de antenas SPR 208 puede incluir otros números de elementos de antena u otras configuraciones. Los elementos de antena del a al l pueden formar once canales (por ejemplo, canales 1-11). Cada canal puede incluir un elemento de transmisión y recepción o un par de transmisión y recepción. Por ejemplo, puede haber doce elementos a lo largo de la matriz de antenas SPR 208 colocados a través del vehículo desde el lado del conductor hasta el lado del pasajero.

En una implementación, el canal 1 puede estar alineado con o cerca del neumático delantero 210 en el lado del conductor del vehículo 200. El canal 11 puede estar alineado con o cerca del neumático delantero 212 en el lado del pasajero del vehículo 200. Una matriz de antenas (por ejemplo, antenas a y b) puede tener aproximadamente 2 pies de largo. Cada antena puede estar orientada entre los neumáticos delantero y trasero del vehículo 200. Una antena (por ejemplo, la antena a) del canal puede transmitir y una antena (por ejemplo, la antena b) puede recibir. Las antenas pueden tener forma de barra y pueden estar separadas cinco pulgadas entre sí. Por ejemplo, la antena a puede estar junto al neumático delantero 210 del lado del conductor y la antena b puede estar cinco pulgadas más cerca del neumático delantero 212 del lado del pasajero. Las antenas c-l adicionales pueden colocarse en espacios de cinco pulgadas hacia el lado del pasajero hasta que la última antena (l) esté cerca del neumático delantero 212 del lado del pasajero. De esta forma, los sistemas SPR descritos en este documento pueden incluir una pluralidad de antenas y canales SPR colocados debajo del vehículo y cada canal puede incluir al menos un elemento de transmisión y al menos un elemento de recepción.

Volviendo a la Figura 1A y también a la Figura 6, la transmisión 102A de al menos una señal de SPR desde al menos un elemento de transmisión de SPR puede incluir la transmisión de la señal de SPR desde el elemento de transmisión 602. El elemento de transmisión 602 puede ser similar a uno de los elementos de antena a-l mostrados en las Figuras 3 y 4 en relación con el vehículo 200. El elemento de transmisión 602 puede ser parte de una matriz 600a que puede ser similar a la matriz de antenas SPR 208 que se muestra en las Figuras 3 y 4 en relación con el vehículo 200. La Figura 6 muestra un pase de mapeo de ejemplo de un vehículo (no mostrado) de acuerdo con la presente divulgación. La matriz 600 puede incluir el elemento de transmisión 602 y los elementos de recepción 604a y 604b pueden usarse para realizar un pase de mapeo cuando un vehículo pasa sobre la superficie 606 y el terreno debajo de la superficie.

Además, el método 100 puede incluir recibir 104B una señal de respuesta a través de al menos dos elementos de recepción de SPR (por ejemplo, elementos de recepción de SPR 604a y 604b). La señal de respuesta puede incluir, al menos en parte, un reflejo (por ejemplo, el reflejo 608) de la señal de SPR de un objeto (por ejemplo, los objetos 610a o 610b). En este ejemplo, el objeto 610a está en una región de interés fuera de la huella de la matriz 600.

Cabe señalar que el término "objeto", como se usa en este documento, puede referirse a cualquier cosa debajo de la superficie que se interroga y que provoca un reflejo o absorción de una señal de SPR. Por ejemplo, el término objeto tal como se usa aquí no se limita a objetos físicos como rocas, sino que también incluye cambios en los tipos de suelo, densidades, objetos, agua, contenido de sal, etc. Las señales pueden viajar a diferentes velocidades a través de diferentes materiales. Cuando una señal cruza los límites, los cambios en la señal pueden incluir inversión, dispersión, atenuación, reflejo, etc. Por lo tanto, la señal de respuesta puede incluir un reflejo del cambio basado en la señal de SPR en los tipos de suelo, densidades, objetos, agua, contenido de sal, etc., y el término objeto tal como se usa en este documento pretende incluirlo.

Con referencia ahora también a la Figura 7, la transmisión 102A de al menos una señal de SPR desde al menos un elemento de transmisión de SPR puede incluir la transmisión de la señal de SPR desde el elemento de transmisión 702. El elemento de transmisión 702 puede ser similar a uno de los elementos de antena a-l mostrados en las Figuras 3 y 4 en relación con el vehículo 200. El elemento de transmisión 702 puede ser parte de una matriz 700a que puede ser similar a la matriz de antenas SPR 208 que se muestra en las Figuras 3 y 4 en relación con el vehículo 200. La Figura 7 muestra un pase de seguimiento de ejemplo de un vehículo (no mostrado) de acuerdo con la presente divulgación. La matriz 700 puede incluir el elemento de transmisión 702 y los elementos de recepción 704a y 704b pueden usarse para realizar un pase de seguimiento cuando un vehículo pasa sobre la superficie 606 y el terreno debajo de la superficie.

Además, el método 100 puede incluir recibir 104A una señal de respuesta a través de al menos dos elementos de recepción de SPR (por ejemplo, elementos de recepción de SPR 704a y 704b). La señal de respuesta puede incluir, al menos en parte, un reflejo (por ejemplo, el reflejo 708) de la señal de SPR de un objeto (por ejemplo, los objetos 610a o 610b). En este ejemplo, el objeto 610a está en una región fuera de la huella de la matriz 700. Cabe señalar que la matriz 600 y la matriz 700 pueden ser la misma matriz en el mismo vehículo que se mueve en direcciones opuestas o pueden ser matrices similares en diferentes vehículos pero dispuestas de manera especular en un vehículo en comparación con otro.

El método 100 también puede incluir determinar 106A que el objeto (por ejemplo, el objeto 610a) está en una región de interés fuera de la huella del sistema SPR en base a una diferencia de fase en la que se recibe la señal de respuesta en los al menos dos elementos de recepción de SPR (por ejemplo, elementos de recepción de SPR 604a y 604b o

elementos de recepción de SPR 704a y 704b). Por ejemplo, con referencia a la Figura 6, mientras que el objeto 610a no está debajo de la matriz 600, el reflejo 608 (correspondiente a la señal de SPR transmitida en 102a) del objeto 610 alcanza los elementos de recepción 604a y 604b de la matriz 600. De manera similar, con referencia a la Figura 7, mientras que el objeto 610a no está debajo de la matriz 700, el reflejo 708 (que corresponde a la señal de SPR transmitida en 102A) alcanza los elementos de recepción 704a y 704b de la matriz 700. La señal de respuesta correspondiente al reflejo (por ejemplo, el reflejo 608 o 708) llegará a los elementos de recepción (por ejemplo, elementos de recepción de SPR 604a y 604b o elementos de recepción de SPR 704a y 704b) y se puede determinar una diferencia de fase en la que se recibe la señal de respuesta en los elementos de recepción. Las mediciones de fase correspondientes a la fase de la señal de respuesta cuando llega a los elementos de recepción (por ejemplo, los elementos de recepción de SPR 604a y 604b o los elementos de recepción de SPR 704a y 704b) pueden usarse para identificar el objeto y su ubicación aproximada. Una diferencia de fase puede ser efectivamente una diferencia en el tiempo que tarda la señal en llegar al receptor desde el transmisor. La medición de la diferencia de temporización se puede realizar en una posición dada.

En conjunto, los pases de mapeo y seguimiento descritos anteriormente se pueden ver en la Figura 8. Como se muestra, mientras que el objeto 610a no está debajo de la matriz 600, el reflejo 608 (que corresponde a la señal de SPR transmitida en 102a) del objeto 610 alcanza los elementos de recepción 604a y 604b de la matriz 600. De manera similar, con referencia a la Figura 7, mientras que el objeto 610a no está debajo de la matriz 700, el reflejo 708 (correspondiente a la señal de SPR transmitida en 102A) alcanza los elementos de recepción 704a y 704b de la matriz 700. La señal de respuesta correspondiente al reflejo (por ejemplo, el reflejo 608, 708) llegará a los elementos de recepción (por ejemplo, elementos de recepción de SPR 604a y 604b o elementos de recepción de SPR 704a y 704b) y se puede determinar una diferencia de fase en la que se recibe la señal de respuesta en los elementos de recepción.

El método 100A también puede incluir realizar 108A la localización de un vehículo usando el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto. Por ejemplo, durante el pase de mapeo, la matriz 600 puede adquirir datos suficientes para identificar el objeto 610a. Posteriormente, en el pase de seguimiento, la matriz 700 puede adquirir datos suficientes para identificar el objeto 610a, y usando las técnicas y características descritas aquí y en uno o más de la Patente de Estados Unidos Núm. 10,725,171 y la Patente de Estados Unidos Núm. 8,949,024 (mencionadas anteriormente), se puede realizar la localización del vehículo.

De esta forma, el método 100A puede incluir la expansión 110A de un mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto (por ejemplo, el objeto 610a). Haciendo referencia a la Figura 8, esto es cierto a pesar de que el pase de mapeo descrito anteriormente nunca pasó realmente sobre la región de interés que tiene el objeto 610a fuera de la huella de la matriz (por ejemplo, la matriz 600) porque el objeto 610a está dentro de los elementos de detección de recepción (o escucha) tanto en el pase de mapeo (por ejemplo, elementos 604a y 604b) como en el pase de seguimiento (por ejemplo, elementos 704a y 704b). De manera similar, el método 100A puede incluir realizar 112A la localización del vehículo cuando un pase de seguimiento solo se superpone parcialmente con una huella de mapa asociada con la realización de la localización con el sistema SPR.

Por lo tanto, usando las técnicas y características descritas en la presente divulgación, el método 100A puede incluir expandir 114A un mapa asociado con realizar la localización con el sistema SPR más allá de un área debajo de la matriz de antenas SPR (por ejemplo, la matriz 600). Debido a que el mapa puede incluir el área más allá de lo que está debajo de la matriz de antenas SPR (por ejemplo, la matriz 600), el método 100A puede incluir realizar 116A menos pases de mapeo del área al expandir el mapa asociado con realizar la localización con el sistema SPR. Además, debido a que el mapa puede incluir el área más allá de lo que está debajo de la matriz de antenas SPR (por ejemplo, la matriz 600), el método 100A puede incluir expandir 118A el área donde se puede realizar la localización al expandir el mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR.

Como se discutió anteriormente, la señal de respuesta correspondiente al reflejo (por ejemplo, el reflejo 608 o 708) llegará a los elementos de recepción (por ejemplo, los elementos de recepción de SPR 604a y 604b o los elementos de recepción de SPR 704a y 704b) y se puede determinar una diferencia de fase en la que la respuesta la señal se recibe en los elementos de recepción. Esta diferencia de fase puede usarse para determinar 120A una distancia desde el objeto (por ejemplo, el objeto 610a) a un elemento SPR del sistema SPR. La distancia también puede determinarse con base en la recepción de la señal de respuesta a través de los al menos dos elementos de recepción de SPR usando otra información o factores.

El uso de dos o más elementos de escucha o recepción de SPR (por ejemplo, elementos de recepción de SPR 604a y 604b o elementos de recepción de SPR 704a y 704b) para recibir una señal de respuesta basada en una transmisión de un elemento de transmisión de SPR y tomar varias determinaciones a partir de ella puede denominarse uso de una matriz de entrada múltiple salida múltiple (MIMO). La técnica MIMO puede usar técnicas de migración biestática para localizar la fuente de los reflejos, incluso justo fuera de la huella de la matriz correspondiente (por ejemplo, la matriz 600 o 700). La medición de una diferencia de fase en la que la señal de respuesta se recibe en dos receptores diferentes (por ejemplo, elementos de recepción de SPR 604a y 604b o elementos de recepción de SPR 704a y 704b) puede permitir determinar qué reflejos están en la región de interés fuera de la huella de la matriz (por ejemplo, reflejos del objeto 610a). Por ejemplo, la distancia al elemento 1 (por ejemplo, el elemento 604a o 704a) y al elemento 2 (por ejemplo, el elemento 604b o 704b) puede determinarse en base a la diferencia de fase y la distancia en cada pase

puede ser diferente si el carácter del subsuelo estaba fuera de la región de interés (objeto 610b). Esto puede permitir técnicas de mapeo y localización en la parte correcta del mapa del subsuelo SPR, que puede estar ubicado fuera de la huella de la matriz. Esta técnica se puede utilizar para ampliar el mapa útil del sistema SPR para la localización, ya que la región de interés permite la localización cuando la huella del pase de seguimiento no se superpone a la huella del mapa. De esta forma, el método 100A puede incluir la migración de datos 122A asociados con la recepción de la señal de respuesta a través de al menos dos elementos de recepción de SPR (por ejemplo, elementos de recepción de SPR 604a y 604b o elementos de recepción de SPR 704a y 704b).

Algunos métodos para la migración a lo largo de la ruta tomada pueden incluir la suma hiperbólica, la suma hiperbólica, la migración de Kirchhoff, la migración por cambio de fase, la migración de Stolt y el enfoque de retroproyección. Los sistemas GPR MIMO pueden tener variantes de estas técnicas, como una migración de Kirchhoff modificada.

Con referencia ahora a la Figura 1B, se muestra un método 100B para ampliar una huella de radar de penetración superficial (SPR) para realizar la localización con un sistema SPR. El método 100B puede describir operaciones algo similares al método 100A, sin embargo, el método 100B puede ser una configuración de entrada única salida múltiple (SIMO). Con referencia ahora también a la Figura 9 se muestra un pase de mapeo de una matriz 900 de un sistema SPR de acuerdo con la presente divulgación. El método 100B puede incluir la transmisión 102B de dos o más señales SPR, cada una desde un elemento de transmisión de SPR diferente (por ejemplo, elementos de transmisión 902A, 902B). El método 100B también puede incluir la recepción 104B de dos o más señales de respuesta a través de un elemento de recepción de SPR (por ejemplo, el elemento 904 de escucha o recepción). Las señales de respuesta pueden incluir, al menos en parte, reflejos de las dos o más señales SPR de un objeto (por ejemplo, el objeto 910a). La matriz 900, los elementos de transmisión 902a y 902b y el elemento de recepción 904 pueden ser iguales o similares a la matriz 208 o los elementos de antena a-l, respectivamente, de la Figura 3 y la Figura 4.

Con referencia ahora también a la Figura 10 se muestra un pase de seguimiento de una matriz 1000 de un sistema SPR de acuerdo con la presente divulgación. El método 100B puede incluir la transmisión 102B de dos o más señales SPR, cada una desde un elemento de transmisión de SPR diferente (por ejemplo, elementos de transmisión 1002A, 1002B). El método 100B también puede incluir la recepción 104B de dos o más señales de respuesta a través de un elemento de recepción de SPR (por ejemplo, el elemento 1004 de escucha o recepción). Las señales de respuesta pueden incluir, al menos en parte, reflejos de las dos o más señales SPR de un objeto (por ejemplo, el objeto 910a). La matriz 1000, los elementos de transmisión 1002a y 1002b y el elemento de recepción 1004 pueden ser iguales o similares a la matriz 208 o los elementos de antena a-l, respectivamente, de la Figura 3 y la Figura 4.

El método 100B puede incluir determinar 106B que el objeto (por ejemplo, el objeto 910a) está en una región de interés fuera de la huella del sistema SPR en base a una diferencia de fase en la que se recibe la señal de respuesta en los al menos dos elementos de recepción de SPR (por ejemplo, elementos de escucha o recepción 904 o 1004). Usar un elemento de escucha o recepción de SPR (por ejemplo, elemento de escucha o recepción 904 o 1004) para recibir una señal de respuesta basada en transmisiones de múltiples elementos de transmisión de SPR (por ejemplo, elementos de transmisión 902a y 902b o elementos de transmisión 1002a y 1002b) y hacer varias determinaciones a partir de ahí puede denominarse uso de una entrada única salida múltiple (SIMO). La técnica SIMO puede utilizar técnicas de migración biestática para localizar la fuente de los reflejos, incluso justo fuera de la huella de la matriz correspondiente (por ejemplo, matriz 900 o 1000). La determinación de la diferencia de fase en la que se recibe la señal de respuesta en los elementos de recepción de SPR (por ejemplo, los elementos de recepción de SPR 904 o 1004) puede permitir determinar qué reflejos se encuentran en la región de interés fuera de la huella de la matriz (por ejemplo, reflejos del objeto 610a). Por ejemplo, la distancia al elemento 1 (por ejemplo, el elemento 904) y al elemento 9 (por ejemplo, el elemento 1004) en cada pase puede ser diferente si el carácter del subsuelo estaba fuera de la región de interés (objeto 910b). Esto puede permitir técnicas de mapeo y localización en la parte correcta del mapa del subsuelo SPR, que puede ubicarse fuera de la huella de la matriz (por ejemplo, matriz 900 o 1000). Esta técnica se puede utilizar para ampliar el mapa útil del sistema SPR para la localización, ya que la región de interés permite la localización cuando la huella del pase de seguimiento no se superpone a la huella del sensor (por ejemplo, directamente debajo del sensor). De esta forma, el método 100B puede incluir la migración de datos 122B asociados con la recepción de las señales de respuesta a través de la recepción SPR (por ejemplo, elementos de recepción de SPR 904 o 1004).

El método 100B también puede incluir realizar la localización 108B de un vehículo usando el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto (por ejemplo, el objeto 910a). Por ejemplo, durante el pase de mapeo, la matriz 900 puede adquirir datos suficientes para identificar el objeto 610a. Posteriormente, en el pase de seguimiento, la matriz 1000 puede adquirir datos suficientes para identificar el objeto 610a, y usando las técnicas y características descritas aquí y en uno o más de la Patente de Estados Unidos Núm. 10,725,171 y la Patente de Estados Unidos Núm. 8,949,024 (mencionadas anteriormente), se puede realizar la localización del vehículo.

De esta forma, el método 100B puede incluir la expansión 110B de un mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto (por ejemplo, el objeto 910a). Haciendo referencia a la Figura 9 y la Figura 10 esto es cierto a pesar del pase de mapeo de la Figura 9 no haya pasado nunca sobre la región de interés que tiene el objeto 910a fuera de la huella de la matriz (por ejemplo, la matriz 900) porque el objeto 910a está dentro de la detección del elemento de recepción (o de escucha) tanto en el pase de mapeo (por

ejemplo, el elemento 904) como el pase de seguimiento (por ejemplo, el elemento 1004). De manera similar, el método 100B puede incluir realizar la localización 112B del vehículo cuando un pase de seguimiento solo se superpone parcialmente con una huella de mapa asociada con la realización de la localización con el sistema SPR.

Por lo tanto, usando las técnicas y características descritas en la presente divulgación, el método 100B puede incluir expandir 114B un mapa asociado con realizar la localización con el sistema SPR más allá de un área debajo de la matriz de antenas SPR (por ejemplo, la matriz 900 o 1000). Debido a que el mapa puede incluir el área más allá de lo que está debajo de la matriz de antenas SPR (por ejemplo, la matriz 900 o 1000), el método 100B puede incluir realizar 116B menos pases de mapeo del área expandiendo el mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR. Además, debido a que el mapa puede incluir el área más allá de lo que está debajo de la matriz de antenas SPR (por ejemplo, la matriz 900 o 1000), el método 100B puede incluir la expansión 118B del área donde se puede realizar la localización al expandir el mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR.

Como se discutió anteriormente, las señales de respuesta correspondientes al reflejo (por ejemplo, el reflejo 908a o 1008) llegarán al elemento de recepción (por ejemplo, el elemento de recepción de SPR 904 o 1004) y puede determinarse una diferencia de fase en la que se recibe la señal de respuesta en los elementos de recepción. Esta diferencia de fase puede usarse para determinar 120B una distancia desde el objeto (por ejemplo, el objeto 910a) hasta un elemento SPR (por ejemplo, el elemento de recepción de SPR 904 o 1004) del sistema SPR. La distancia también puede determinarse basándose en la recepción de las señales de respuesta a través del elemento de recepción de SPR (por ejemplo, el elemento de recepción de SPR 904 o 1004) usando otra información o factores.

Cabe señalar que, si bien el método 100A (por ejemplo, técnica MIMO) y el método 100B (por ejemplo, técnica SIMO) se han descrito por separado en este documento, ambas técnicas pueden usarse juntas para mejorar aún más el reconocimiento de objetos fuera de las huellas de matriz SPR. Por ejemplo, con referencia a la Figura 1C, se muestra un método 100C. El método 100C puede combinar las técnicas MIMO y SIMO descritas anteriormente.

El método 100C puede incluir la transmisión 102C de una primera señal de SPR desde un primer elemento de transmisión de SPR y una segunda señal de SPR desde un segundo elemento de transmisión de SPR. El método 100C puede incluir además recibir 104C una primera señal de respuesta en un primer elemento de recepción de SPR y en un segundo elemento de recepción de SPR. La primera señal de respuesta puede incluir, al menos en parte, un reflejo de la primera señal de SPR de un objeto. El método 100C también puede incluir recibir 106C una segunda señal de respuesta a través de al menos uno del primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR, la segunda señal de respuesta incluye, al menos en parte, un reflejo de la segunda señal de SPR del objeto. El método 100C puede incluir adicionalmente la determinación 108C de que el objeto está en una región de interés fuera de la huella del sistema SPR en base a una diferencia de fase en la que se reciben la primera señal de respuesta en el primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR y una diferencia de fase en la que se reciben la primera señal de respuesta y la segunda señal de respuesta a través del al menos uno del primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR. El método 100C también puede incluir realizar la localización 110C de un vehículo usando el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto.

Cabe señalar que una o más de las operaciones descritas en los métodos 100A, 100B y 100C, incluidas, entre otras, las operaciones de determinar/identificar que un objeto está fuera de una huella, realizar la localización y migrar datos se pueden realizar a través de uno o más procesadores que pueden estar incluidos, en comunicación con, o ser parte de los sistemas SPR descritos en este documento. Por ejemplo, uno o más procesadores pueden ser similares al procesador SPR 504 de la Figura 5, y el sistema SPR 500 puede incluir más de un procesador configurado para realizar las operaciones de uno o más de los métodos 100A, 100B y 100C.

Se puede demostrar que una o más de las técnicas y características descritas en este documento se pueden lograr mediante, en parte, el uso de un modelado electromagnético de una matriz SPR. Se pueden usar uno o más métodos de simulación de momentos de una matriz de dipolos con respaldo de cavidad SPR en un medio espacio infinito. Se puede suponer que el suelo tiene una constante dieléctrica de 6,0 y una conductividad eléctrica igual a 0,01 S/m. A 250 MHz, se puede calcular una constante de atenuación correspondiente de 0,77 nepers/m, lo que puede dar como resultado una atenuación de onda plana de 6,7 dB por metro. El modelo puede suponer una potencia de transmisión de 1 W en un elemento dipolo radiante central y terminales de alimentación de los elementos circundantes terminados en cargas resistivas de 50 ohmios. La intensidad de un campo eléctrico puede calcularse en el suelo y copolarizarse con elementos dipolares.

Con referencia ahora a la Figura 11, el campo eléctrico simulado (E-Plane) de un elemento dipolo radiante central en una matriz 1102 (orientación mostrada) se muestra en el gráfico 1100. La pequeña imagen alrededor de la matriz 1102 muestra el terreno en la simulación y proporciona el marco de coordenadas x, y, z. Las antenas como las descritas en este documento son parte de la matriz 1102, que puede colocarse, por ejemplo, debajo de la parte inferior del carro de un vehículo.

El gráfico 1100 muestra que para diferentes frecuencias emitidas (observando la salida del modelo descrito anteriormente), desde una antena central dentro de la matriz, el potencial del campo eléctrico se muestra dada una

profundidad particular y una posición particular lejos de ese elemento. El potencial se muestra para 1 m de profundidad en la posición x (por ejemplo, para la radiación que va a lo largo del eje x) a más o menos 1,5 m. A 1 m de profundidad, se muestra un rango de amplitudes de campo eléctrico, medidas en dBV/m, para señales enviadas a las diversas frecuencias que se muestran en la parte superior del gráfico 1100.

Con referencia ahora a la Figura 12, en el gráfico 1200 se muestra un campo eléctrico simulado (plano H) en el eje y o en la posición y. El gráfico 1200 muestra un rango de amplitudes de campo eléctrico ortogonal a la matriz 1102. Puede verse que en el rango extendido en el plano H o a lo largo del eje Y, hay energía disponible para proporcionar los reflejos descritos anteriormente.

Con referencia ahora a la Figura 13, en el gráfico 1300 se muestra un campo eléctrico simulado frente a la profundidad del suelo. El gráfico 1300 muestra un rango de amplitudes de campo eléctrico en la posición z (es decir, moviéndose hacia abajo en profundidad, donde el suelo está a la derecha de la línea roja vertical). En otras palabras, se muestra la profundidad debajo de la matriz y la amplitud en base a la profundidad. Por ejemplo, a 400 MHz y aproximadamente -1,2 metros por debajo de la superficie, la amplitud del campo eléctrico es de aproximadamente -3,0 dBV/m.

Con referencia ahora a la Figura 14, en el gráfico 1400 se muestra un campo eléctrico simulado frente a la frecuencia. El gráfico 1400 muestra cuáles son las amplitudes del campo eléctrico en base a las frecuencias. El gráfico 1400 muestra cuál es la intensidad del campo y qué cantidad de energía golpearía un objeto en el terreno.

Los gráficos 1100-1400 se pueden usar para ver los resultados del modelo para determinar la energía y la intensidad del campo en varias profundidades o posiciones. En cierto sentido, puede ser el aspecto de la huella de la matriz y cuánta energía se extiende más allá de la huella de la matriz. La huella puede aumentar a medida que aumenta la profundidad, pero la cantidad de energía disminuye con la profundidad. Por ejemplo, en la posición x (gráfico 1100), el eje de -1,5 m a +1,5 m puede representar una ampliación de la huella de la matriz en la dirección x.

En una implementación, una o más de las técnicas y características descritas en la presente descripción pueden facilitar el control de un vehículo (por ejemplo, el vehículo 200). El control del vehículo puede incluir el control de la velocidad, la aceleración, la orientación, la velocidad angular y/o la aceleración angular del vehículo y el vehículo puede controlarse continuamente a través de uno o más comandos de navegación del vehículo para mantener el vehículo en una posición deseada a lo largo de una ruta de viaje o para mantener la seguridad del vehículo o de cualquier pasajero en el vehículo, basado en parte, por ejemplo, en la localización del vehículo. En una implementación, los comandos generados por un sistema de navegación de vehículos autónomos pueden usar la localización y/o datos relacionados descritos aquí para afectar un cambio de ruta del vehículo para reducir o minimizar las diferencias entre la trayectoria del vehículo y la ruta de viaje. Por ejemplo, la velocidad del vehículo puede modificarse a lo largo de los segmentos de la ruta de viaje para mantener una operación segura, adaptarse a los límites de velocidad y lograr un tiempo de finalización deseado para atravesar la ruta de viaje.

En una implementación, la dirección, la orientación, la velocidad, la colocación y la aceleración/desaceleración pueden controlarse de manera que se mantenga la seguridad del vehículo o sus pasajeros en base a la característica de la superficie o los datos de condición descritos en este documento. Por ejemplo, el sistema de control del vehículo puede incluir o cooperar con dispositivos eléctricos, mecánicos y neumáticos en el vehículo para lograr el control de la dirección y la velocidad. En otras realizaciones que tienen varios tipos de mecanismos de propulsión y control, un sistema de control del vehículo también puede incluir o cooperar con uno o más sistemas o dispositivos hidráulicos, de turbina, de hélice, de superficie de control, de cambio de forma y químicos.

Varias realizaciones descritas anteriormente se refieren a la navegación sobre redes de carreteras y, por lo tanto, en lo que generalmente se puede denominar un entorno de superficie al aire libre. Alternativamente, un vehículo puede controlarse en un entorno interior tal como dentro de un edificio o dentro de un complejo de edificios. El vehículo puede navegar por pasillos, almacenes, áreas de fabricación y similares. En otras alternativas, un vehículo puede controlarse dentro de estructuras en regiones que pueden ser peligrosas para los humanos, tal como en instalaciones de energía nuclear y en hospitales e instalaciones de investigación donde pueden existir riesgos biológicos. En varias realizaciones, se usa un SPR para obtener imágenes SPR que incluyen regiones del subsuelo en y/o detrás de pisos, techos o paredes. Así, el sistema SPR móvil puede orientarse para transmitir señales de radar y recibir señales de radar en una dirección preferida.

Otro entorno alternativo es un entorno subterráneo que puede incluir, a modo de ejemplo, un túnel subterráneo o un pasadizo de mina. Por lo tanto, un vehículo de minería se puede configurar con una matriz de antenas SPR configurado para transmitir y recibir en cualquier dirección ortogonal a la dirección de desplazamiento del vehículo para el cual se encuentran disponibles imágenes de referencia SPR adquiridas previamente. Opcionalmente, el vehículo de minería puede inspeccionar la estructura del túnel o pasaje en busca de cambios o contenido determinando las diferencias en las imágenes SPR adquiridas por el vehículo después del registro en las imágenes de referencia SPR correspondientes.

REIVINDICACIONES

1. Un método (100A) para ampliar una huella de radar de penetración en la superficie, SPR, para realizar la localización de un vehículo equipado con un sistema SPR, el método que comprende:
 - transmitir (102A) al menos una señal de SPR desde al menos un elemento de transmisión de SPR;
 - recibir (104A) una señal de respuesta a través de al menos dos elementos de recepción de SPR, la señal de respuesta que incluye, al menos en parte, un reflejo de la señal de SPR de un objeto;
 - determinar (106A) que el objeto está en una región de interés y no debajo de una matriz de antenas SPR, incluida la determinación de una distancia desde el objeto en base a una diferencia de fase en la que se recibe la señal de respuesta en los al menos dos elementos de recepción de SPR; y
 - crear o expandir un mapa del subsuelo asociado con la realización (108A) de la localización del vehículo usando el sistema SPR en base a al menos en parte en el objeto.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
 - determinar (120A) una distancia desde el objeto hasta un elemento SPR del sistema SPR con base en la recepción de la señal de respuesta a través de los al menos dos elementos de recepción de SPR.
3. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
 - realizar un método de migración (122A) sobre datos asociados con la recepción de la señal de respuesta a través de los al menos dos elementos de recepción de SPR.
4. El método (100B) de la reivindicación 1, en donde:
 - la transmisión comprende transmitir (102B) dos o más señales SPR, cada una desde un elemento de transmisión de SPR diferente; y
 - la recepción comprende recibir (104B) dos o más señales de respuesta a través de un elemento de recepción de SPR, las señales de respuesta incluyen, al menos en parte, reflejos de las dos o más señales SPR del objeto.
5. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 4, que comprende además:
 - realizar (112A, 112B) la localización del vehículo cuando un pase del vehículo solo se superpone parcialmente con la huella del mapa asociada con la realización de la localización con el sistema SPR.
6. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 4, en donde el objeto no está debajo de una matriz de antenas SPR del sistema SPR.
7. El método de la reivindicación 6, que comprende además:
 - expandir (114A, 114B) el mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR más allá de un área por debajo de la matriz de antenas SPR correspondiente.
8. El método de la reivindicación 7, que comprende además:
 - realizar (116A, 116B) menos pases de un área por parte del vehículo mediante la expansión del mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR.
9. El método de la reivindicación 7, que comprende además:
 - expandir (118A, 118B) un área donde se puede realizar la localización expandiendo el mapa asociado con la realización de la localización con el sistema SPR.
10. El método de la reivindicación 4, que comprende además:
 - determinar (120B) una distancia desde el objeto hasta el elemento SPR del sistema SPR con base en la recepción de las dos o más señales de respuesta a través del elemento de recepción de SPR.
11. El método de la reivindicación 4, que comprende además:
 - realizar un método de migración (122B) de datos asociados con la recepción de la señal de respuesta a través del elemento de recepción de SPR.
12. El método de la reivindicación 1, en donde:
 - la transmisión comprende transmitir (102C) una primera señal de SPR desde un primer elemento de transmisión de SPR y una segunda señal de SPR desde un segundo elemento de transmisión de SPR;
 - la recepción comprende recibir (104C) una primera señal de respuesta en un primer elemento de recepción de SPR y en un segundo elemento de recepción de SPR, la primera señal de respuesta incluye, al menos en parte, un reflejo de la primera señal de SPR de un objeto y recibir (106C) una segunda señal de respuesta a través de al menos uno del primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR, la segunda señal de respuesta incluye, al menos en parte, un reflejo de la segunda señal de SPR del objeto; y

la determinación se basa en una diferencia de fase en la que la primera señal de respuesta se recibe en el primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR y una diferencia de fase en la que la primera señal de respuesta y la segunda señal de respuesta se reciben a través del al menos uno del primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento de recepción de SPR.

5 13. Un sistema (500) para realizar la localización de un vehículo equipado con un radar de penetración superficial, SPR, el sistema que comprende:

10 un primer elemento de transmisión de SPR configurado para transmitir una primera señal de SPR;
un segundo elemento de transmisión de SPR configurado para transmitir una segunda señal de SPR;
un primer elemento de recepción de SPR configurado para recibir una primera señal de respuesta, la primera
señal de respuesta incluye, al menos en parte, un reflejo de la primera señal de SPR de un objeto;
un segundo elemento de recepción de SPR configurado para recibir la primera señal de respuesta, en donde
15 al menos uno del primer y segundo elementos de recepción de SPR se configuran para recibir una segunda
señal de respuesta, la segunda señal de respuesta incluye, al menos en parte, un reflejo de la segunda señal
de SPR del objeto; y
uno o más procesadores (504) en comunicación con el primer y segundo elementos de recepción de SPR, el
uno o más procesadores configurados para:
20 determinar (108C) que el objeto está en una región de interés y no está debajo de la matriz de antenas
SPR, incluida la determinación de una distancia desde el objeto en base a una diferencia de fase en la que
se recibe la primera señal de respuesta en el primer elemento de recepción de SPR y el segundo elemento
de recepción de SPR y una diferencia de fase en la que la primera señal de respuesta y la segunda señal
de respuesta se reciben a través del al menos uno del primer elemento de recepción de SPR y el segundo
25 elemento de recepción de SPR; y
generar y expandir un mapa del subsuelo asociado con la realización (110C) de la localización de un
vehículo con base, al menos en parte, en el objeto.

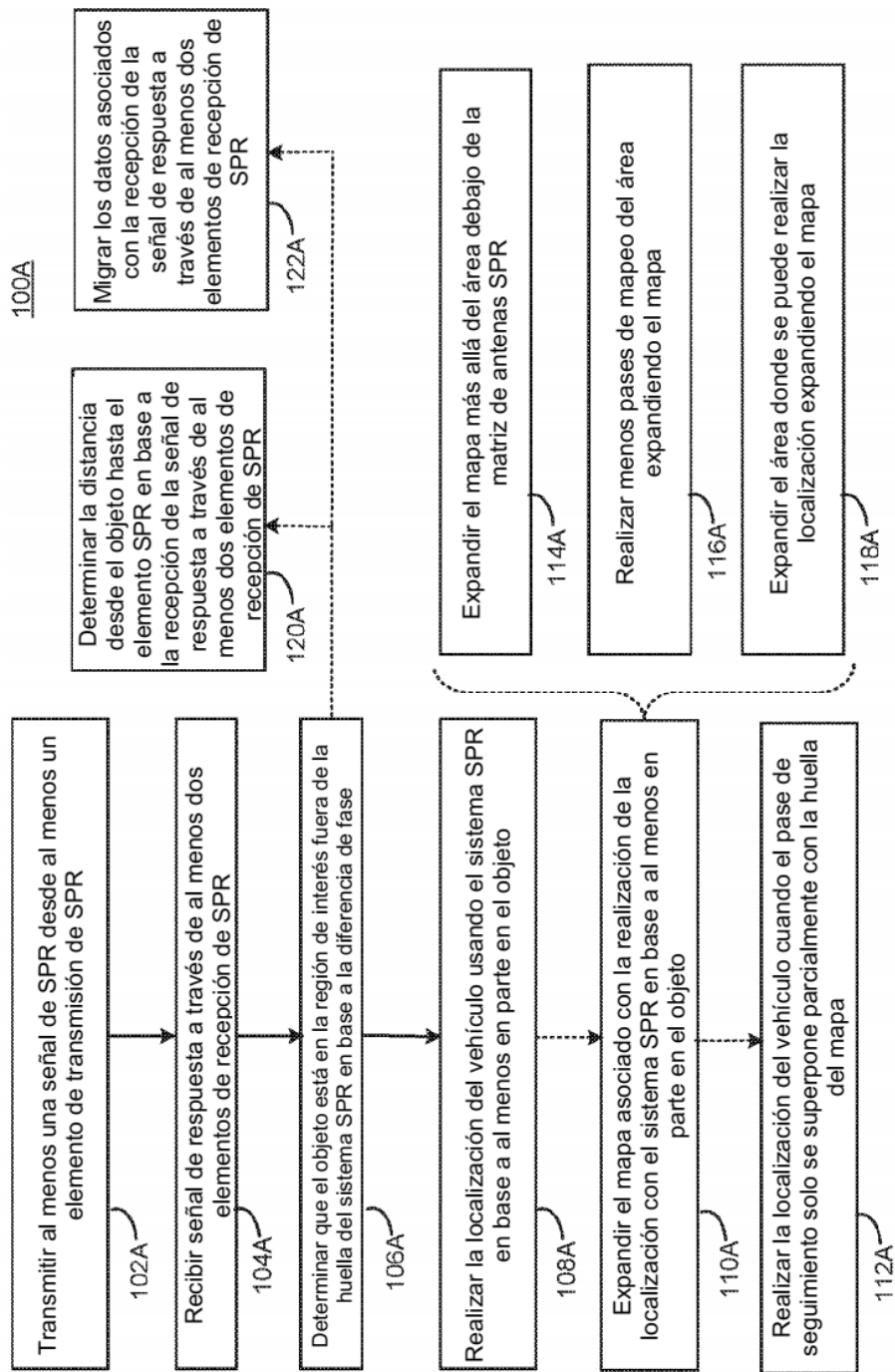


Figura 1A

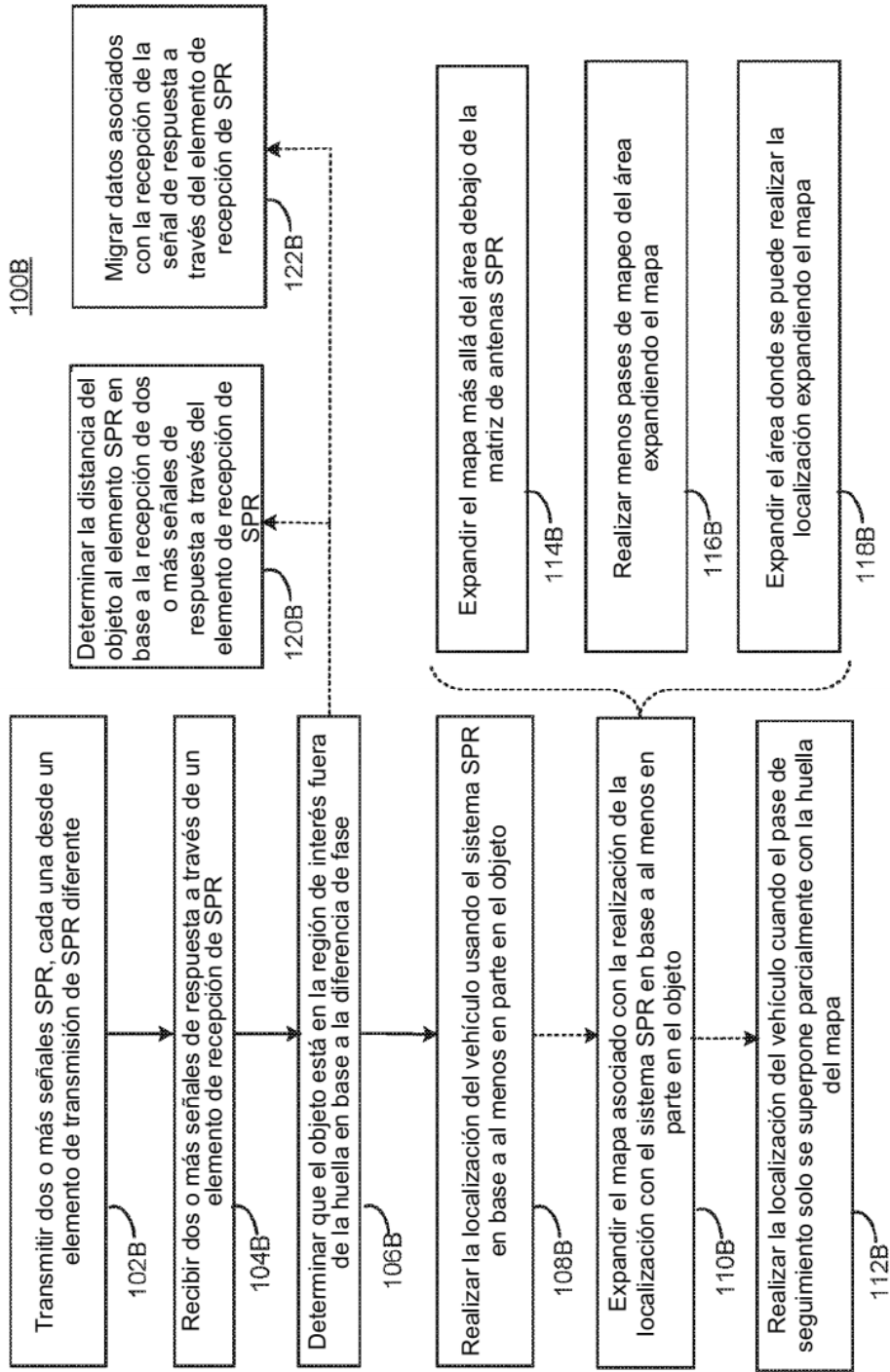


Figura 1B

100C

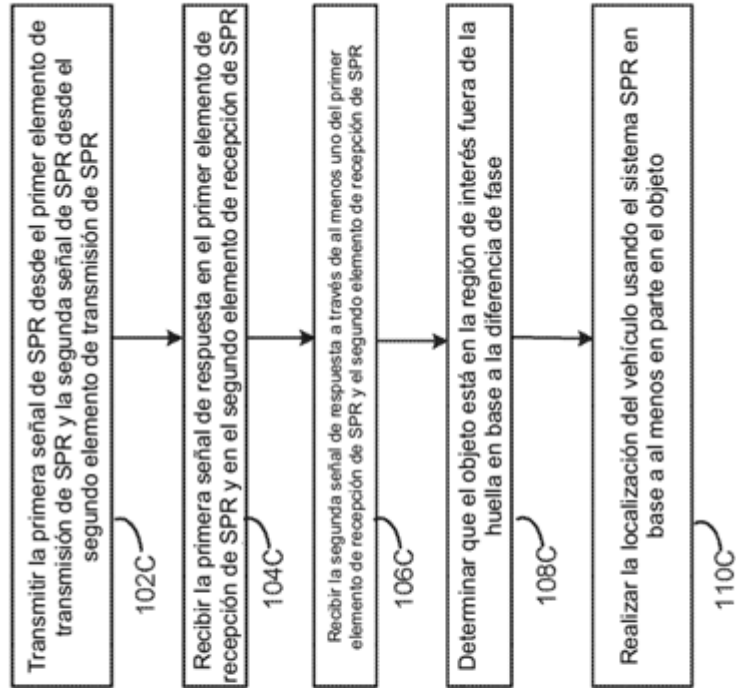


Figura 1C

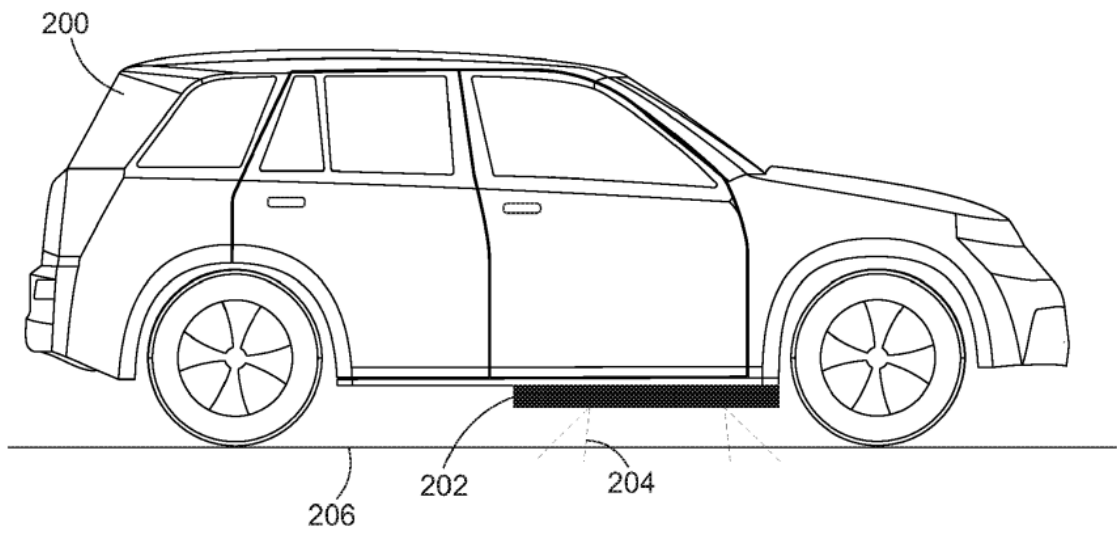


Figura 2

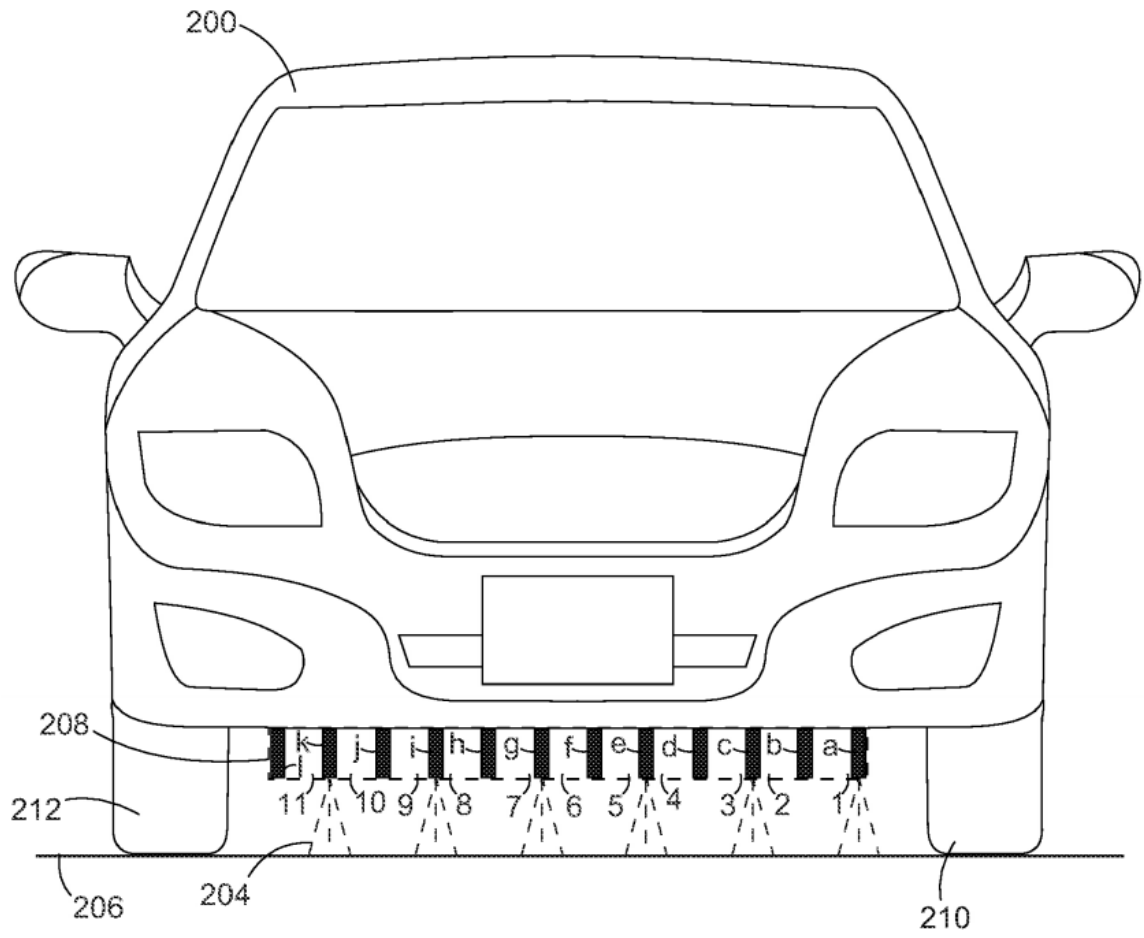


Figura 3

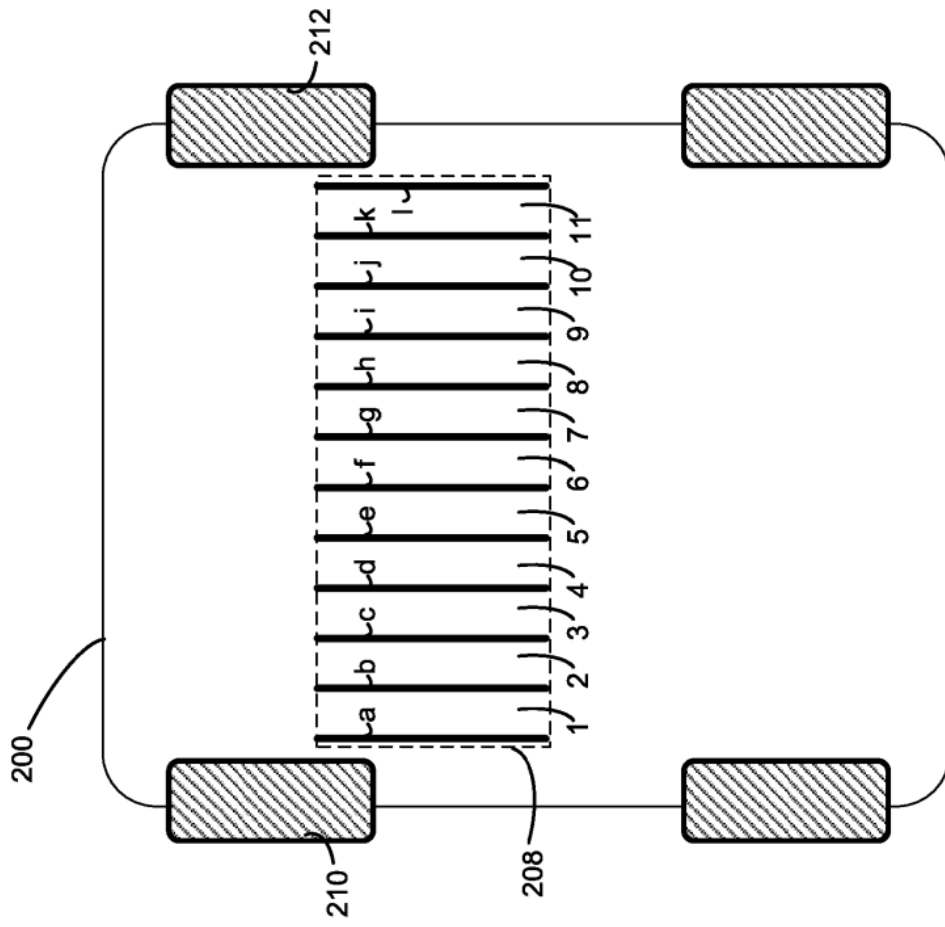


Figura 4

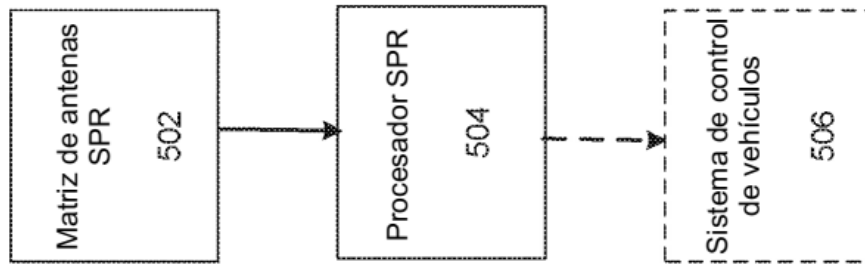


Figura 5

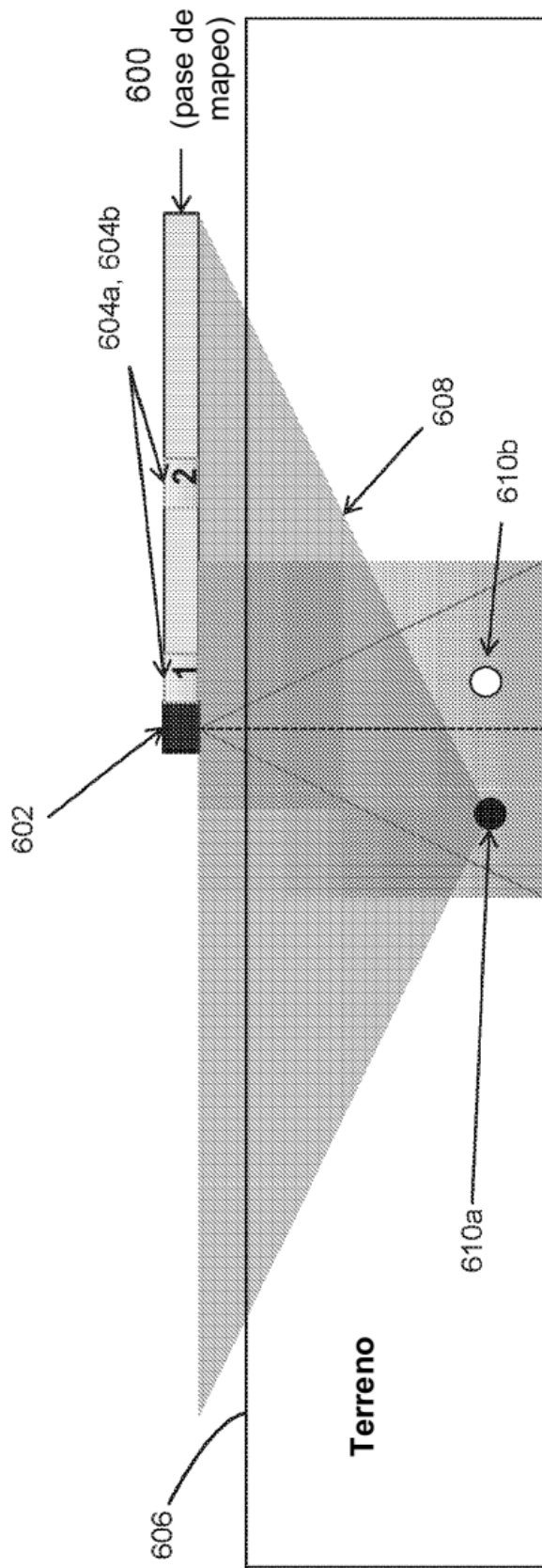


Figura 6

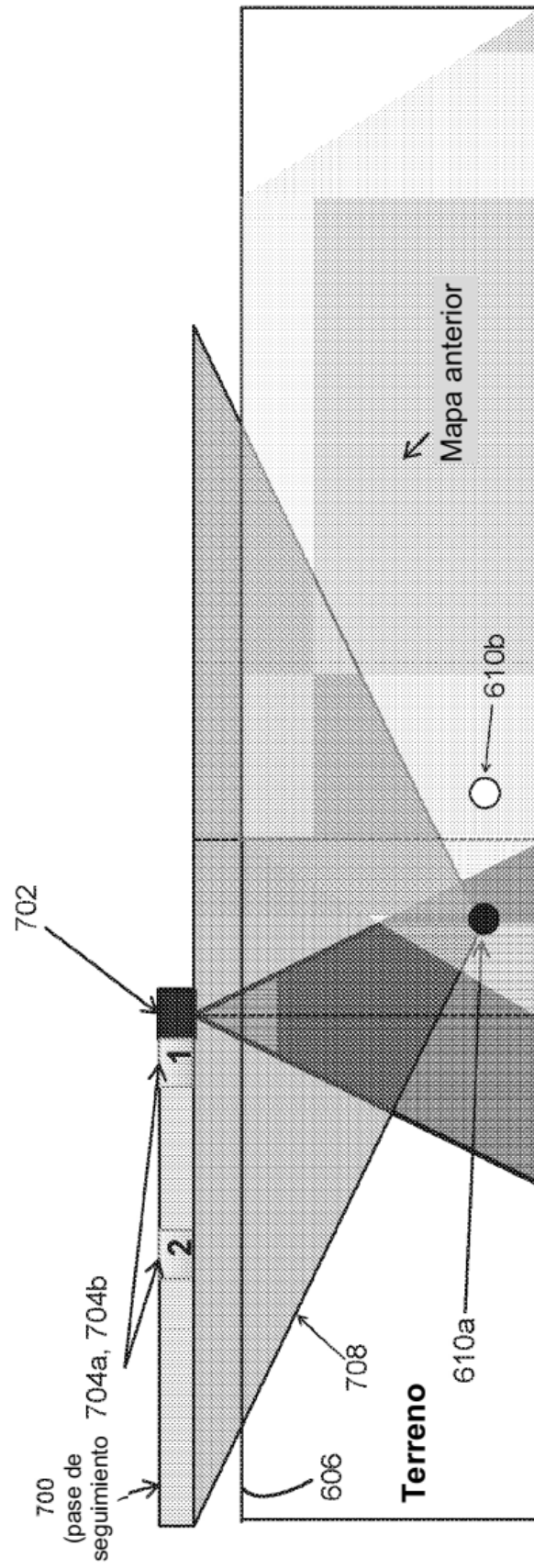


Figura 7

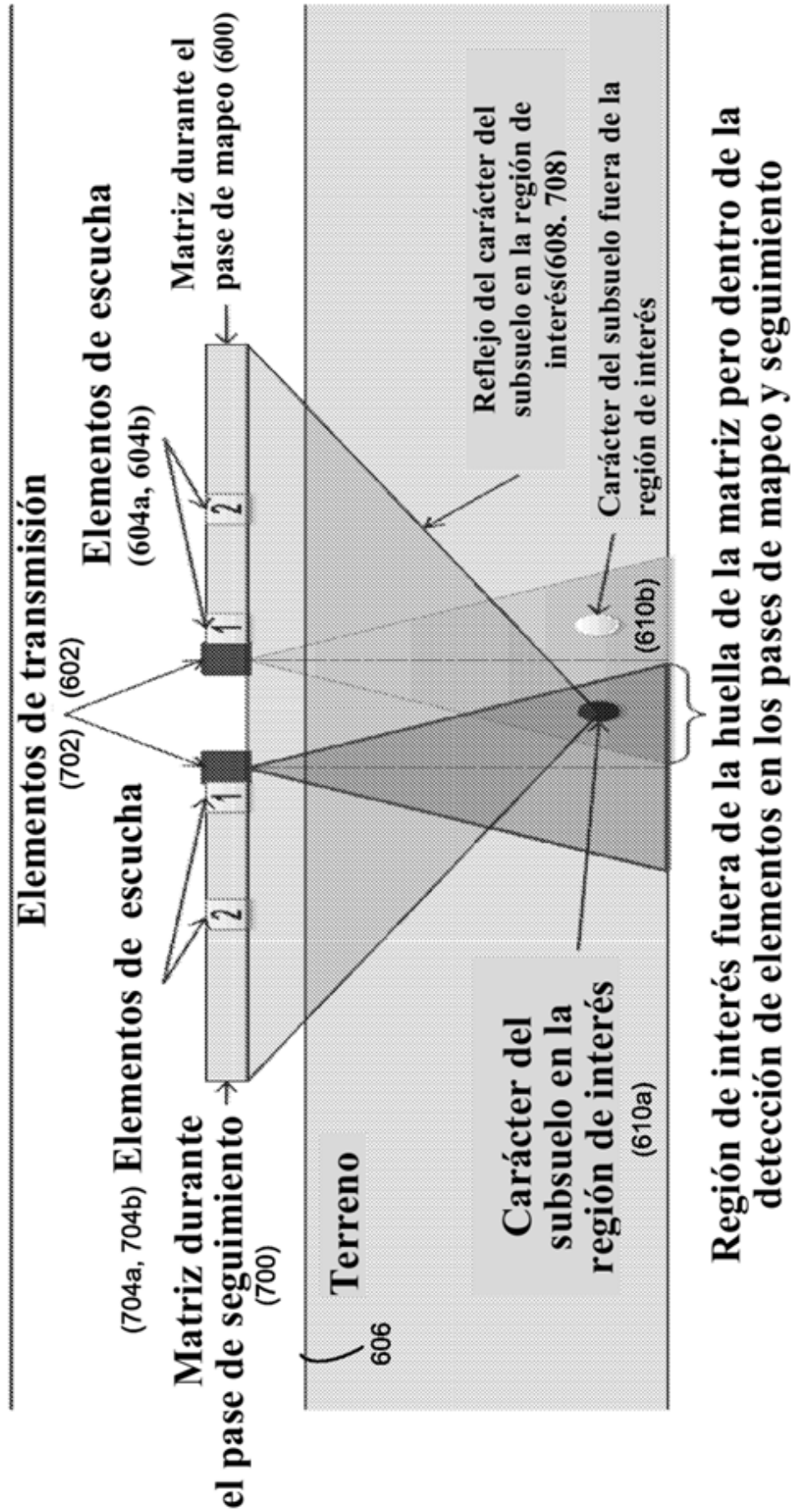


Figura 8

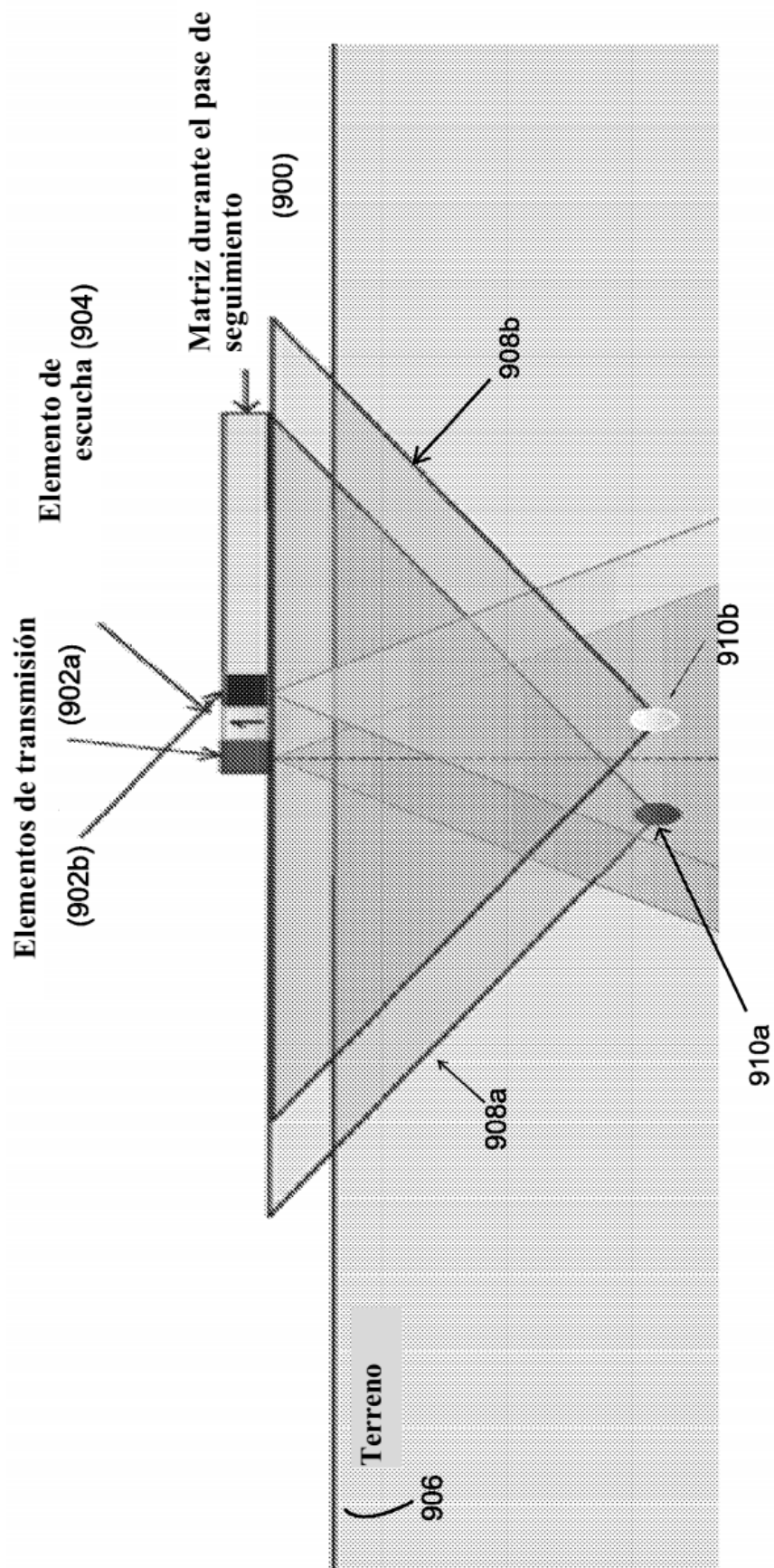


Figura 9

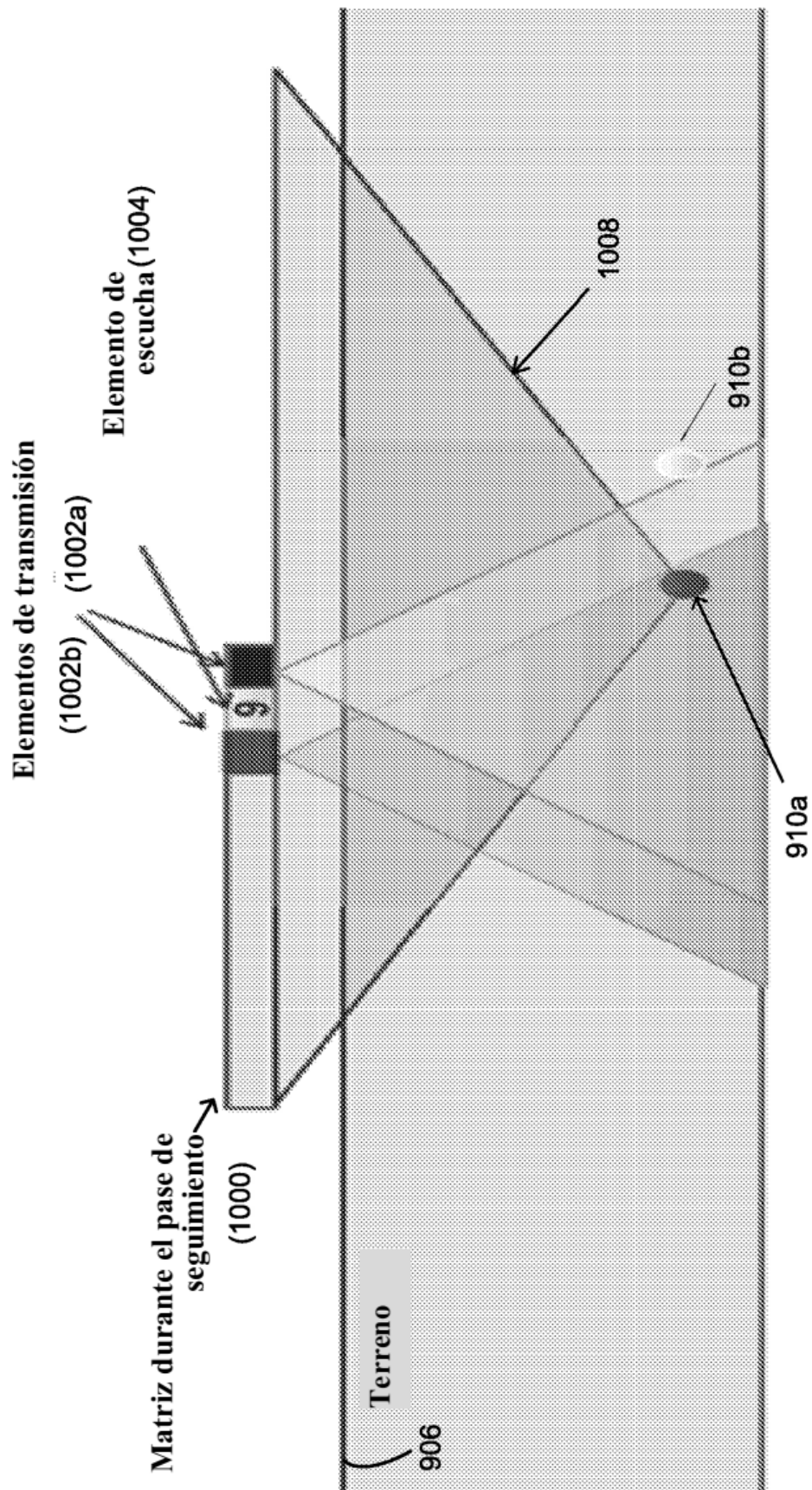


Figura 10

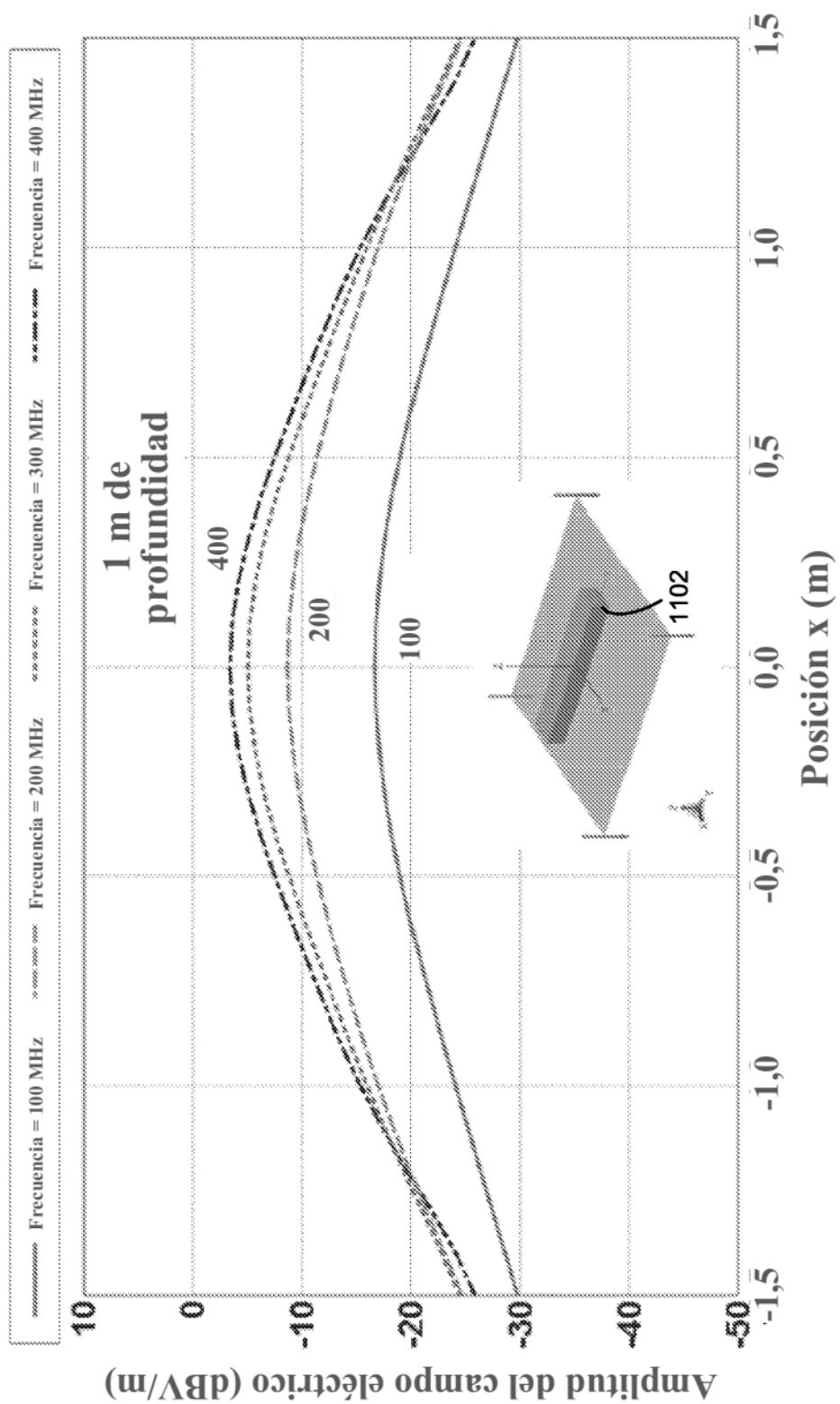


Figura 11

1100

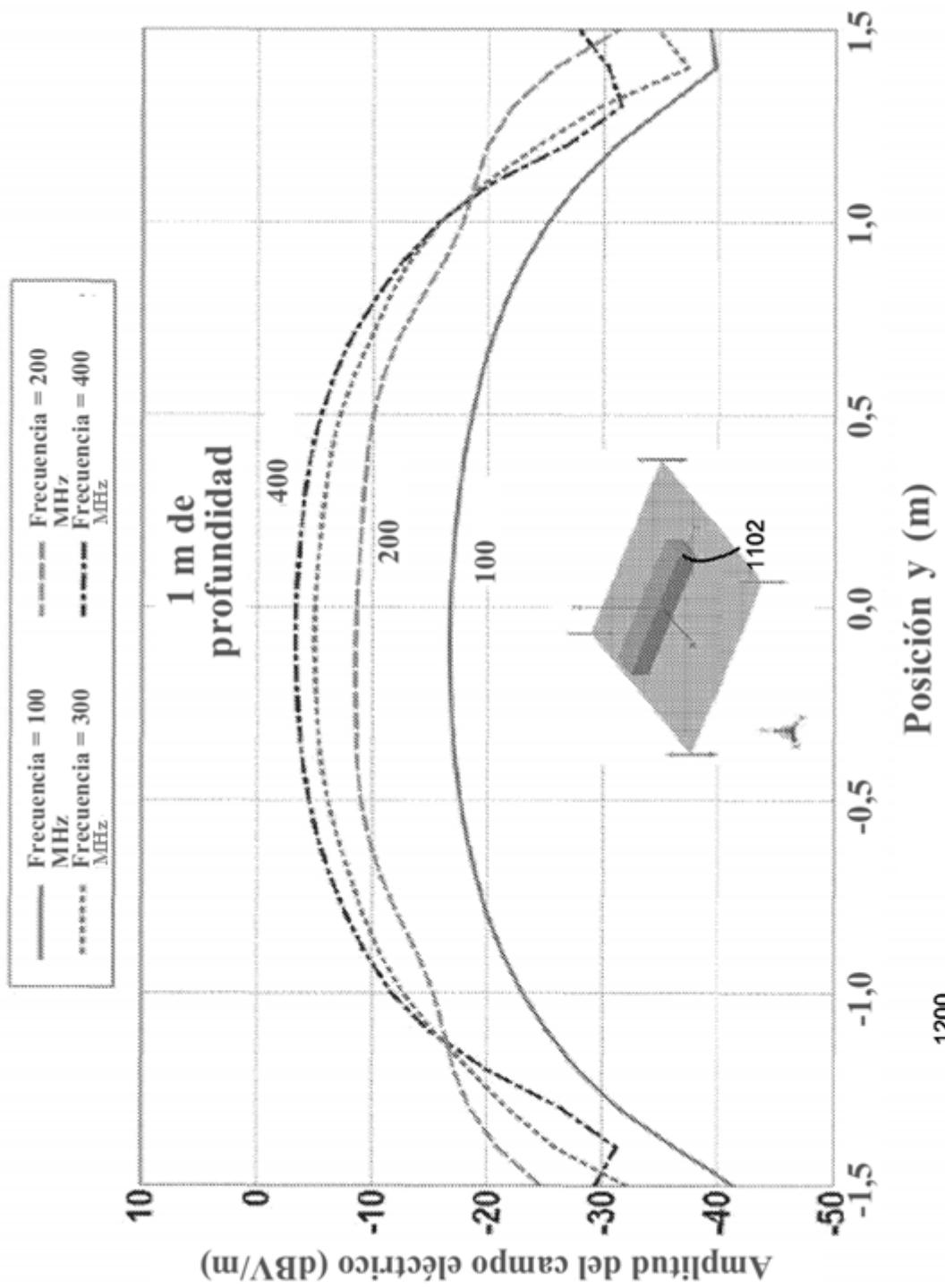
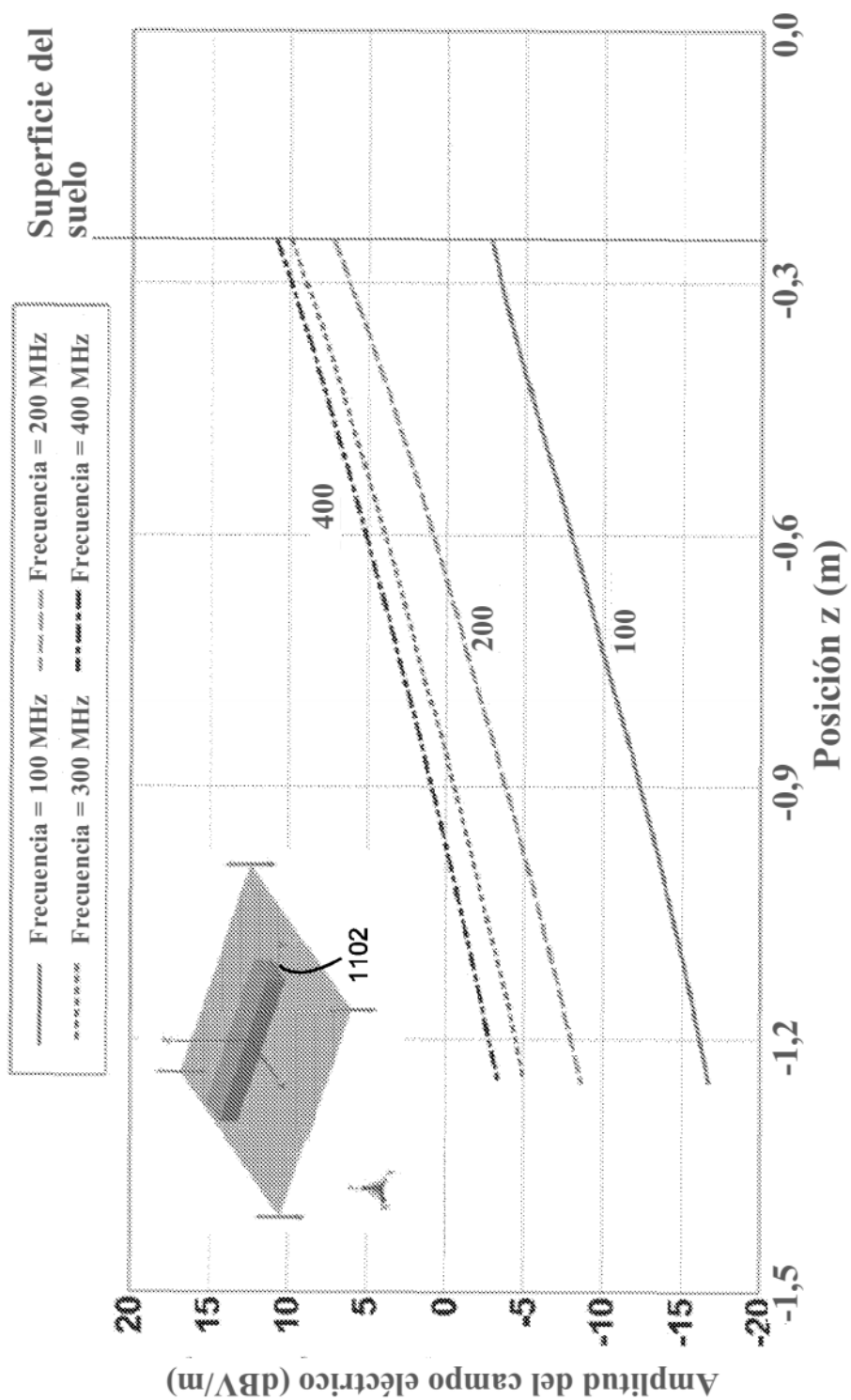


Figura 12



1300

Figura 13

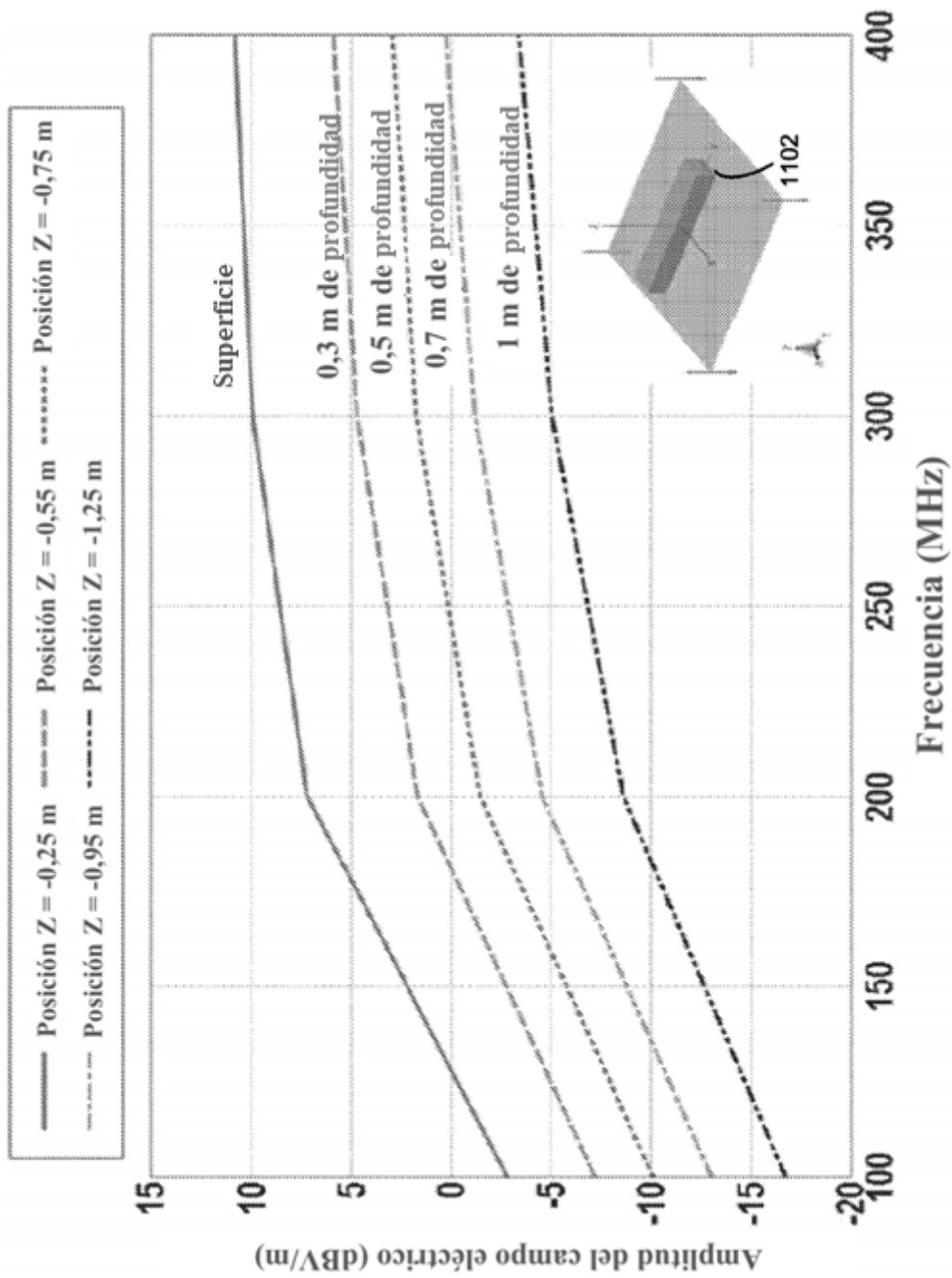


Figura 14

1400