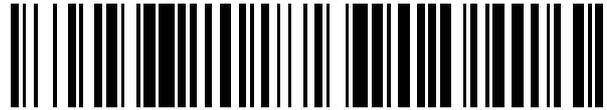


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 809 711**

51 Int. Cl.:

G01S 13/931 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2017** **E 17181276 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020** **EP 3279690**

54 Título: **Procedimiento de medida de la altura de un objetivo con respecto al suelo por un radar en movimiento, y radar que implementa dicho procedimiento**

30 Prioridad:

02.08.2016 FR 1601191

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

05.03.2021

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**CORNIC, PASCAL;
AUDIC, YVES y
KEMKEMIAN, STÉPHANE**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 809 711 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de medida de la altura de un objetivo con respecto al suelo por un radar en movimiento, y radar que implementa dicho procedimiento

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de medida de la altura de un objetivo con respecto al suelo por un radar en movimiento, en especial, por un radar que equipa un automóvil. Se refiere igualmente a un radar que implementa dicho procedimiento.

La invención se aplica, en especial, al campo de los radares para vehículos automóviles, por ejemplo para detectar alturas de tableros de puentes.

10 Los radares para automóviles han sido introducidos para funciones de ayuda a la conducción, más bien orientados hacia el confort, como por ejemplo la adaptación a la velocidad de cruce para la utilización en autopista, denominada función ACC (*Adaptive Cruise Control*) o el "Stop and Go" en conducción urbana. Los mismos utilizan ondas milimétricas, en particular de la banda 76-81 GHz

15 Gracias a la evolución de las tecnologías, las aplicaciones actuales tienen por objetivo igualmente funciones de seguridad de tipo anticolidión, incluso se contempla a relativamente corto plazo lograr que el vehículo sea completamente autónomo, siendo asegurada la percepción del entorno por la asociación de un cierto número de sensores, que se basan en diferentes tecnologías: radar, video, infrarrojo, en especial.

20 Debido a sus capacidades para cualquier tiempo, el radar sigue siendo el sensor preponderante en este contexto y sus capacidades de detección y de discriminación deben ampliarse para garantizar la fiabilidad global del sistema. En lo que concierne a la anticolidión, el sensor de radar debe en particular ser capaz de distinguir entre los objetos fijos que detecta, los cuales corresponden a elementos de la infraestructura de carretera, de los que corresponden a vehículos inmovilizados sobre la vía que constituyen potencialmente un riesgo de colisión. En este contexto, es en especial fundamental que no se generen falsas alarmas que puedan conllevar a un frenado o a una maniobra de evitación de urgencia, sin causa real, en particular cuando el vehículo se desplaza a gran velocidad. Esto impone una sensibilidad y capacidades de discriminación precisas que permitan aprender de la situación por delante del

25 vehículo desde una gran distancia, típicamente superior a 200 m, con, en particular, la capacidad de estimar la altura de los objetos detectados para diferenciarlos.

30 Una configuración particularmente delicada es la de la detección de tableros de puente por delante de los vehículos, que no deben ser confundidos con vehículos parados sobre las vías de circulación. Por otro lado, para permitir la integración en los vehículos, las dimensiones de la antena de radar deben ser inferiores típicamente a 10cm en horizontal por 10cm en vertical. Esta condición limita la resolución angular desde el principio a un valor del orden de 2,5° para un radar que funciona a 76 GHz, lo que es insuficiente para estimar la altura de objetos fijos a gran distancia.

35 Un problema técnico a resolver es obtener capacidades de discriminación de elevación suficientes para tratar las situaciones complejas como la detección de puentes a gran distancia, a pesar de las dimensiones reducidas de la antena.

40 Actualmente, este problema no se ha resuelto. Soluciones prevén dotar a los radares de nueva generación de al menos dos vías de recepción en el plano vertical con el objetivo de obtener una capacidad de medida de la altura de los objetos detectados por un tratamiento de tipo de error angular. No obstante, esta técnica no presenta una discriminación suficiente para estimar la altura de obstáculos a larga distancia, debido a las dimensiones restrictivas de la antena. Además, no se adapta muy bien a la medida de la altura de los objetos que se extienden en el plano vertical y la medida puede ser perturbada por las reflexiones sobre el suelo. Pueden implementarse tratamientos adaptativos de alta resolución para mejorar el poder separador natural de la antena pero estos tratamientos no son eficaces en presencia de reflexiones sobre el suelo, debido a la coherencia de las señales directas y reflejadas.

45 Un documento DE 10 2010 007415 A1 divulga un procedimiento de medida de la altura de un objetivo con respecto al suelo, por un radar en movimiento.

Un documento US 6 377 205 B1 y un documento US 2008/111733 A1 divulgan, del mismo modo, métodos de radar para estimar la altura de un objeto con respecto al suelo.

50 Un objetivo de la invención es, en particular, resolver el problema citado anteriormente. A este efecto, la invención tiene por objeto un procedimiento de medida de la altura de un objetivo con respecto al suelo por un radar en movimiento que emite una señal de detección hacia dicho objetivo, estando equipado dicho radar con una red de antenas de emisión y una red de antenas de recepción, siendo obtenida la medida de la altura h_2 por la estimación de la frecuencia de al menos una modulación de amplitud función del tiempo producida sobre dichas redes de antena de recepción, siendo generada dicha modulación por la interferencia de las señales recibidas directamente de dicho objetivo y las señales recibidas después de la reflexión sobre el suelo, a partir de señales emitidas por

55 dicha red de antenas de emisión.

La medida de dicha altura h_2 de objetivo se obtiene, para una modulación función del tiempo dado, según la relación siguiente:

$$h_2 = \frac{\lambda d_0^2 \hat{f}}{h_1 V}$$

Siendo h_2 la altura estimada;

- 5 Siendo \hat{f} la frecuencia estimada de dicha modulación de amplitud función del tiempo;
 Siendo h_1 dicha misma altura;
 Siendo d_0 la distancia de dicho radar al objetivo;
 Siendo V la velocidad de aproximación de dicho radar hacia el objetivo;
 Siendo λ la longitud de onda de dicho radar.

- 10 En un modo de implementación posible, dicha red de antenas de recepción está compuesta de una o varias subredes de recepción y dicha red de antenas de emisión que está compuesta de una o varias subredes de emisión, al generar cada señal emitida por una subred de emisión una modulación de amplitud función del tiempo sobre cada subred de recepción, se efectúa una medida de dicha altura h_2 de objetivo por la estimación de la frecuencia de la modulación de amplitud función del tiempo producida sobre una subred de recepción por una subred de emisión
 15 situada a la misma altura.

La estimación (\hat{f}) de la frecuencia de modulación es por ejemplo efectuada con la ayuda de una función de correlación adaptada a dos dimensiones, que tiene en cuenta la frecuencia de la fase en el origen de dicha modulación, siendo igual la estimación de frecuencia a la frecuencia f_k del par frecuencia-fase (f_k, φ_k) que da la máxima correlación.

- 20 En un modo de implementación posible, dicha red de antenas de recepción que está compuesta de una o varias subredes de recepción y dicha red de antenas de emisión que está compuesta de una o varias subredes de emisión, al generar cada señal emitida por una subred de emisión una modulación de amplitud función del tiempo sobre cada subred de recepción, se efectúa una medida de dicha altura h_2 de objetivo por la estimación de frecuencia de la modulación de amplitud función del tiempo producida sobre una subred de recepción por una subred de emisión
 25 situada a una altura diferente, siendo dicha modulación el producto de una modulación correspondiente al trayecto de ida y de una modulación correspondiente al trayecto de vuelta de la onda emitida por dichas subred de emisión, siendo una medida de dicha altura la estimación \hat{f}_e de la frecuencia de modulación debida al trayecto de ida o de la estimación \hat{f}_r de la frecuencia de modulación debido al trayecto de vuelta. Dicha medida es por ejemplo tomada igual a una combinación de la estimación \hat{f}_e de la frecuencia de modulación debida al trayecto de ida y de la
 30 estimación \hat{f}_r de la frecuencia de modulación debida al trayecto de vuelta, esta combinación efectúa por ejemplo la media de las dos estimaciones \hat{f}_e y \hat{f}_r .

La estimación de dichas frecuencias de modulación, debidas al trayecto de ida y al trayecto de vuelta, es por ejemplo efectuada con la ayuda de una función de correlación que toma en cuenta la frecuencia de modulación debida al trayecto de ida y la frecuencia de modulación debida al trayecto de vuelta, siendo dichas frecuencias \hat{f}_e, \hat{f}_r

- 35 estimadas las que dan la máxima correlación.

Dicha estimación de frecuencia con la cual dicha medida de altura es por ejemplo obtenida es una combinación de las estimaciones de frecuencias de modulación de amplitud es función del tiempo obtenidas para diferentes pares de subredes de emisión y de recepción.

- 40 En un modo de implementación posible, dicha red de antenas de recepción que comprende varias subredes de recepción, recibiendo cada subred de recepción al menos una señal de interferencia que proviene de una señal emitida por dicha red de antenas de emisión, siendo modulada dicha señal de interferencia en amplitud en función del tiempo:

- se capta la velocidad de al menos una modulación de amplitud espacial producida sobre dicha red de antenas de recepción en un instante dado;
- 45 - se calcula una estimación \hat{f} de la frecuencia de modulación de amplitud en función del tiempo por medio de una función de correlación espaciotemporal que toma en cuenta la frecuencia de modulación de amplitud en función del tiempo y de la frecuencia de dicha al menos modulación de amplitud espacial, correspondiendo la frecuencia f_k al máximo de correlación de dicha correlación espaciotemporal siendo la frecuencia \hat{f} estimada, siendo calculada la medida de dicha altura de objetivo a partir de esta frecuencia estimada.

En un modo de implementación posible, dicha red de antenas de emisión que comprende varias subredes de emisión, se capta la velocidad de la modulación de amplitud espacial producida sobre dicha red de antenas de recepción correspondiente a cada señal emitida por una subred de emisión, se calcula para cada señal emitida una estimación \hat{f} de la frecuencia de modulación de amplitud en función del tiempo por medio de una función de correlación espaciotemporal que toma en cuenta la frecuencia de modulación de amplitud en función del tiempo y la frecuencia de dicha al menos una modulación de amplitud espacial, correspondiendo la frecuencia f_k al máximo de correlación de dicha correlación espaciotemporal siendo la frecuencia \hat{f} estimada de modulación de amplitud función del tiempo generada por dicha señal emitida, siendo calculada una medida de dicha altura (h_2) a partir de al menos una frecuencias estimada correspondiente a una señal emitida entre dichas subredes de emisión. La medida de dicha altura h_2 de objetivo es por ejemplo una combinación de las medidas de altura correspondiente a cada señal emitida, siendo por ejemplo esta combinación una media.

La invención tiene igualmente por objeto un radar adecuado para implementar un procedimiento tal y como el descrito anteriormente, pudiendo, ventajosamente, dicho radar equipar un vehículo automóvil.

Otras características y ventajas de la invención aparecerán con la ayuda de la descripción siguiente, hecha a la vista de los dibujos adjuntos que representan:

- La figura 1, una ilustración de un vehículo equipado de un radar que se dirige hacia un puente cuya altura se va a estimar;
- La figura 2, la modulación de amplitud teórica de la señal recibida en función de la distancia d del radar al obstáculo que viene;
- La figura 3, por una vista frontal, una antena de recepción y una antena de emisión colocadas a una misma altura h_1 con respecto al suelo;
- La figura 4, la velocidad teórica de la función de modulación en función del tiempo para dos alturas diferentes de la subred de recepción del radar;
- La figura 5, por una vista frontal, un ejemplo de arquitectura de antena de un radar según la invención con tres pares de subredes de emisión y de recepción que se extienden en el sentido de la altura;
- La figura 6, por una vista frontal, una antena de recepción y una antena de emisión colocadas a alturas diferentes con respecto al suelo;
- La figura 7, una configuración de antena del tipo de la de la figura 5 con redes de antenas de emisión y de recepción, pero con alturas de subredes diferentes en emisión y en recepción;
- La figura 8, la velocidad de la función de modulación espacial sobre la red de antenas de recepción compuesta de las subredes de recepción separadas regularmente;
- La figura 9, la velocidad teórica de las modulaciones temporales observadas en el transcurso del tiempo en el caso de subredes de recepción separadas regularmente.

La figura 1 presenta un vehículo 1, equipado de un radar 2, que se dirige hacia un puente cuyo tablero 3 se representa. Se considera de una manera generar un radar 2 de automóvil montados sobre un vehículo cuyo haz está orientado hacia la parte delantera del mismo.

En un vehículo de turismo, este radar está generalmente instalado a nivel de la rejilla, por detrás del logotipo de la marca, a una altura h_1 del orden de 40 centímetros con respecto a la calzada. Un objeto fijo, iluminado por el haz del radar y situado a una altura h_2 con respecto a la carretera, genera por reflexión una señal compuesta a nivel del radar, resultante del trayecto 4 directo y del trayecto 5, 5' reflejado de la onda electromagnética sobre el suelo. Esto es cierto para el trayecto de ida y para el trayecto de vuelta. Esto resulta en una modulación de la amplitud de la señal recibida sobre la antena de radar en función de la distancia d del objetivo, de la altura h_1 del radar, y de la altura h_2 del objetivo. Este fenómeno es bien conocido para el experto en la técnica. Se describe por ejemplo por Daricau (capítulo 11 §3.1).

La figura 1 proporciona una ilustración aplicada al radar automóvil, en el caso de un objeto aislado del suelo, como el tablero 3 de puente. La imagen 3' del puente se representa igualmente, esta imagen simétrica con respecto a la superficie 10 de la calzada reenvía de forma ficticia el rayo 5' reflejado por la calzada y recibido por el radar.

Es posible otra configuración, correspondiente a una estructura continua vertical colocada sobre el suelo, como por ejemplo un vehículo, un panel de señalización, o un pilar de puente. En este caso, es la posición del baricentro de los puntos brillantes o la posición de la superficie equivalente de radar (SER) media la que determina la altura aparente del objeto. La invención se aplica, del mismo modo, para estas configuraciones, proporcionando por tanto la altura aparente del objeto, y no la altura verdadera.

Por tanto, para un emisor y un receptor de radar situados ambos a la altura h_1 , el coeficiente de modulación de ida-vuelta se puede:

$$I^2(\Theta) = (1 + \rho^2 + 2\rho\cos(\frac{4\pi h_1 \sin(\Theta)}{\lambda} + \varphi))^2 \quad (A)$$

donde:

- 5 - θ es el ángulo de elevación del objetivo con respecto al suelo en el pie del radar;
- λ es la longitud de onda;
- ρ es la amplitud del coeficiente de reflexión;
- φ es la fase del coeficiente de reflexión, es decir el desfase inducido por la reflexión.

10 Denominando h_2 a la altura aparente y d la distancia del objeto objetivo, para pequeños ángulos, se obtiene igualmente:

$$\text{sen}(\Theta) = \frac{h_2}{d}$$

Para pequeños ángulos θ , por ejemplo $\theta < 5^\circ$, los que son de interés para la invención, $\Theta = \frac{h_2}{d}$.

En este caso, la relación (A) se convierte en:

$$I^2(\Theta) = (1 + \rho^2 + 2\rho\cos(\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d} + \varphi))^2 \quad (A')$$

15 Para dichos ángulos, la amplitud del coeficiente ρ de reflexión sobre la calzada de la carretera está comprendida entre 0,7 y 1 y su fase φ está cercana a π , lo que conduce a la nueva relación siguiente:

$$I^2(\Theta) = (1 + \rho^2 - 2\rho\cos(\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d}))^2 \quad (1)$$

Para el caso particular en el que $\rho=1$, se obtiene:

$$I^2(\Theta) = 16\text{sen}^4(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}) \quad (2)$$

20 La figura 2 presenta, para $\rho=1$, la modulación de amplitud $I^2(\theta)$ teórica de la señal recibida en función de la distancia d del radar obstáculo, para una antena de radar compuesta de una primera subred a la altura h_1 y de una segunda subred a una altura h_1 diferente, para una altura h_2 de obstáculo igual a 4,6m. La emisión y la recepción se efectúan a la misma altura. Una primera curva 21 representa la modulación de amplitud para la altura $h_1= 40$ cm y una segunda curva 22 representa la modulación de amplitud para una altura $h_1 = 43$ cm.

25 En el caso en el que el coeficiente ρ de reflexión no sea igual a 1 pero sin embargo este próximo a 1, siendo $1 + \rho^2$ prácticamente igual a 2ρ . La relación (1) se convierte por tanto en:

$$I^2(\Theta) = 4\rho^2(1 - \cos(\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d}))^2$$

y finalmente

$$I^2(\Theta) = 16\rho^2\text{sen}^4(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}) \quad (3)$$

30 Se encuentra en este caso una modulación de forma idéntica a la anterior, definida por la relación (2), cerca de ρ^2 , es decir con una profundidad más reducida.

En el caso en el que la antena (o la subred de antena) de emisión y la antena (o la subred de antena) de recepción se coloquen a dos altura diferentes, respectivamente h_{1e} y h_{1r} (de forma más precisa h_{1e} y h_{1r} corresponden respectivamente a la altura del centro de fase en la emisión y del centro de fase en la recepción), la modulación de amplitud es diferente en la emisión ($I_e(\theta)$) y en la recepción ($I_r(\theta)$), y se puede escribir para el trayecto de ida-vuelta:

$$I_e(\Theta)I_r(\Theta) = 16\rho^2\text{sen}^2(\frac{2\pi h_{1e} h_2}{\lambda d})\text{sen}^2(\frac{2\pi h_{1r} h_2}{\lambda d}) \quad (4)$$

El método según la invención propone estimar la altura h_2 del objetivo a partir de la modulación $I^2(\theta)$ o $I_e(\theta)I_r(\theta)$ según el caso, siendo conocidas las alturas h_{1e} y h_{1r} , siendo también conocida la longitud λ de onda. La distancia d

es por otro lado medida por el radar. Cuando las alturas de los centros de fases son idénticas en la emisión y en la recepción, se observa $h_{1e} = h_{1e}, h_{1r}$.

5 Según la invención, la estimación se efectúa por una medida dinámica, de forma más precisa midiendo una o varias modulaciones de amplitud sobre la antena en el transcurso del tiempo, sobre una antena de recepción o varias subredes de una antena de recepción, para una posición única de antena de emisión o para varias posiciones de subredes de antena de emisión colocadas a alturas diferentes.

Se describe ahora un primer modo de implementación de la invención, que aprovecha una medida dinámica de la función de modulación en función del tiempo.

10 La figura 3 representa, por una vista frontal, una antena 31 de recepción y una antena 32 de emisión colocadas a una misma altura h_1 con respecto al suelo. En esta configuración, las antenas de emisión y de recepción pueden comprender varias subredes siempre que los centros de las fases de los pares de las subredes de emisión y de recepción estén a una misma altura con respecto al suelo.

En un instante t correspondiente al final de un ciclo de detección de radar de duración ΔT de rango i tal que $t=i\Delta T$, la señal recibida por el radar desde un objetivo situado a una distancia d_i y a la altura h_2 es proporcional a:

15
$$I^2(\Theta_i) = (1 + \rho^2 - 2\rho \cos(\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d_i}))^2$$

según la relación (1) y para valores reducidos de θ_i

La señal recibida es también proporcional a:

$$I^2(\Theta_i) = 16\rho^2 \text{sen}^4(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d_i})$$

20 Para los coeficientes ρ de reflexión vecinos de 1 y donde $\Theta_i = \frac{h_2}{d_i}$, siendo d_i la distancia del objetivo detectado en $t=i\Delta T$.

Por otro lado, a partir de un ejemplo inicial de detección d_0 , la distancia de detección en el instante $t=i\Delta T$ se puede escribir:

$$d_i = d_0 - V i \Delta T,$$

donde V es la velocidad de aproximación del vehículo con respecto al objetivo.

25 Si la distancia d_i de detección es grande delante del desplazamiento realizado entre dos detecciones sucesivas, se puede escribir:

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_0 - V i \Delta T} \approx \frac{1}{d_0} \left(1 + \frac{V i \Delta T}{d_0}\right),$$

que corresponde a, por multiplicación por h_2 :

$$\Theta_i = \Theta_0 \left(1 + \frac{V i \Delta T}{d_0}\right)$$

30 y como resultado:

$$I^2(\Theta_i) = (1 + \rho^2 - 2\rho \cos(\frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d_0} (1 + \frac{V i \Delta T}{d_0})))^2$$

$I^2(\Theta_i) = 16\rho^2 \text{sen}^4(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d_0} (1 + \frac{V i \Delta T}{d_0}))$ en el caso en el que ρ está próximo a 1.

Esta última relación puede entonces escribirse:

$$I^2(\Theta_i) = 16\rho^2 \text{sen}^4(2\pi f i \Delta T + \varphi_0) \quad (5)$$

35 donde f representa a la frecuencia de modulación de las franjas de interferencias en el campo temporal:

$$f = \frac{h_1 h_2 V}{\lambda d_0^2}$$

y φ_0 representa la fase en el origen de la función de modulación:

$$\varphi_0 = \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d_0}$$

que puede escribirse además:

$$\varphi_0 = \frac{2\pi f d_0}{V}$$

5

La medida de la frecuencia f de modulación de acceso a una estimación de la medida de la altura del objetivo por la relación: $h_2 = \frac{\lambda d_0^2 f}{h_1 V}$, siendo la longitud λ de onda, la distancia d_0 inicial de detección, la altura h_1 inicial conocidas y siendo medida la velocidad V por otro lado por el radar.

10

Para medir la frecuencia de modulación, se puede por ejemplo calcular la raíz cuadrada de la amplitud de la señal recibida que es proporcional a la función $I^2(\theta)$ de modulación, para deducir en el instante $t=i\Delta T$, una función de amplitud $x_i = K|\text{sen}(2\pi f i \Delta T + \varphi_0)|$, según la relación (5).

La figura 4 posterior muestra la velocidad teórica de la función x_i de modulación en función del tiempo para dos alturas diferentes de la subred de recepción, para un objetivo situado a 4,60m de altura, una distancia inicial de detección de 300 metros, un coeficiente de reflexión $\rho = 0,7$ y una velocidad de aproximación de 100km/h.

15

Cada subred recibe una señal cuya amplitud varía con una frecuencia f en función del tiempo ($i\Delta T$) y que depende de la altura a calcular y de la distancia. Una primera curva 41 representa la modulación temporal recibida por la subred en la altura h_1 y una segunda curva 42 representa la modulación temporal recibida por la subred en la altura h_2 . El eje de abscisas representa el tiempo $t=i\Delta T$, correspondiendo el tiempo $t=0$ a la distancia d_0 igual a 300m.

20

Repetiendo la operación sobre un tiempo total $N\Delta T$, es decir sobre N ciclos de detección de radar, se obtiene una serie de N muestreos que caracterizan la modulación de amplitud en el transcurso del tiempo. Estas N muestras de muestreo proporcionan las curvas 41, 42 de modulación temporales.

En la práctica, se obtiene la altura h_2 (altura a calcular) midiendo la modulación de amplitud sobre la antena en el transcurso del tiempo, siendo muestreadas las medidas. Una vez se obtiene la ley de modulación por muestreo, hace falta extraer la frecuencia f que da la altura h_2 . Para ello, son posibles varias soluciones.

25

Para estimar esta frecuencia f , se puede utilizar, por ejemplo, una función de correlación utilizando el método descrito en la solicitud de patente FR 2 913 774, en especial con respecto a las relaciones (8) a (11). Discretizando por ejemplo el espacio de las frecuencias en M valores posibles entre 0 y F_{\max} tales que para k varían de 0 a $M-1$, $k = \frac{F_{\max}}{M}$.

La función x_i puede muestrearse poniendo:

30

$$s_{i,k} = \left| \text{sen}\left(2\pi \frac{ikF_{\max}\Delta T}{M} + 2\pi \frac{kF_{\max}d_0}{MV}\right) \right|$$

o incluso:

$$s_{i,k} = \left| \text{sen}\left(2\pi i f_k \Delta T + 2\pi \frac{f_k d_0}{V}\right) \right|$$

Se calcula por tanto la función de correlación siguiente:

$$\text{Correl}_k = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} x_i * s_{i,k}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} x_i^2} \sqrt{\sum_{k=0}^{N-1} s_{i,k}^2}}$$

El valor de k , para el cual la función $Correl_k$ presenta un máximo, da una estimación de la frecuencia $\hat{f} = f_k = \frac{kFmax}{M}$ de modulación de la cual se deduce:

$$h_2 = \frac{\lambda d_0^2 \hat{f}}{h_1 V}$$

5 El número N de puntos se elige lo más grande posible, en el límite de la validez de la hipótesis en la que el desplazamiento $N\Delta T$ total es muy inferior a la distancia d_0 inicial de detección. Una sola de las dos curvas 41, 42 puede ser suficiente para extraer la frecuencia. La señal de interferencia generada a partir de la señal emitida en la altura $h_1 = 40\text{cm}$ produce una modulación 41 cuya frecuencia estimada permite obtener la altura h_2 , en sí misma estimada. Del mismo modo, la señal de interferencia generada a partir de la señal emitida en la altura $h_1 = 43\text{cm}$ produce una modulación 42 que da una segunda estimación de frecuencia. No obstante, se pueden, ventajosamente, combinar las dos estimaciones para mejorar la medida por la media de las dos frecuencias estimadas o por cualquier otra combinación.

En un variante de realización, se puede utilizar otra función de correlación para hacer la estimación más robusta. En particular, se puede señalar que el correlacionador $Correl_k$ relaciona de forma explícita la fase con el origen

$$\varphi_k = 2\pi \frac{kFmaxd_0}{MV} \text{ a la frecuencia } f_k \text{ por la relación } \varphi_k = 2\pi \frac{f_k d_0}{V}.$$

15 Sin embargo, el resultado de la correlación depende en gran medida de esta fase φ_k que es en sí misma sensible a un error de estimación de la altura h_1 , de la distancia d_0 inicial y de la velocidad V .

Por ejemplo, para $h_1=40\text{cm}$, $h_2=4,60\text{m}$, $V=27\text{m/s}$, $\lambda=3,9\text{mm}$ y $d_0=300\text{m}$, se tiene $f=0,14\text{ Hz}$ y $\varphi_0= 1,57 \times 2 \times \pi$.

20 Un aumento de 3cm de h_1 , que da $h_1=43\text{cm}$, es decir una variación de menos de un 10%, se traduce en un nuevo valor de fase $\varphi_0= 1,68 \times 2 \times \pi$, correspondiente a una diferencia de 40° con respecto al valor inicial, mientras que la frecuencia f sólo es modificada de 0,01 Hz de 0,14 Hz a 0,15 Hz, lo que es muy reducido. Este efecto es visible en la figura 4 que muestra el desfase del origen entre las dos curvas correspondientes a estas dos alturas.

Para evitar una sensibilidad demasiado fuerte del correlacionador con respecto a la fase de origen, es preferible elegir una función $s_{i,k,k'}$, tal que:

$$s_{i,k,k'} = \left| \text{sen}\left(2\pi \frac{ikFmax\Delta T}{M} + \varphi_{k'}\right) \right|$$

25 discretizando el espacio de las frecuencias en M valores posibles entre 0 y F_{max} tales que para k varían de 0 a M-1, $f_k = k \frac{Fmax}{M}$, y discretizando el espacio de las fases en M' valores posibles entre 0 y $2\pi/M'$ tales que para k varían de 0 a M-1, $\varphi_{k'} = k' \frac{2\pi}{M'}$, se calcula por tanto la función de correlación en dos dimensiones:

$$Correl_{k,k'} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} x_i * s_{i,k,k'}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} x_i^2} \sqrt{\sum_{k=0}^{N-1} s_{i,k,k'}^2}}$$

30 Los valores de k y k' para los cuales la función $Correl_{k,k'}$ presenta un máximo que da una estimación de la frecuencia de modulación:

$$\hat{f} = f_k = \frac{kFmax}{M}$$

de la cual se deduce
$$h_2 = \frac{\lambda d_0^2 \hat{f}}{h_1 V}$$

35 La medida puede reiterarse a medida que se produce la aproximación hacia el objetivo, de manera que se mejora la calidad de la estimación. La medida puede, del mismo modo, efectuarse sobre dos o varios pares de emisores/receptores cuyas subredes de antenas están situadas a la misma altura con respecto al suelo de acuerdo por ejemplo con la figura 5.

La figura 5 representa una arquitectura de antena correspondiente a una red MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*). De forma más precisa, presenta la antena de radar vista de frente con tres pares de subredes 51, 52, 53 de emisión y de recepción que se extienden en el sentido de la altura, estando una subred de emisión y una subred de recepción de un mismo par a la misma altura. La arquitectura de antena de la figura 5 puede, del mismo modo, verse comprendiendo una red 501 de antenas de recepción y una red 502 de antenas de emisión. Esta arquitectura aumenta el ejemplo de la figura 3 en el que las redes de antena se reducen a una sola subred, formada por la antena de recepción o por la antena de emisión.

En esta configuración, cada par 51, 52, 53 de emisor/receptor de la misma altura da una estimación de la medida de la altura h_2 , y estas estimaciones obtenidas de manera independiente pueden ser ponderadas para afinar la medida, siendo posible otra combinación distinta a la media.

Las emisiones en las diferentes subredes de antenas pueden realizarse secuencialmente o simultáneamente a condición de emitir señales ortogonales sobre las diferentes subredes.

La figura 6 presenta una configuración de antena en la que la antena o la subred 61 de recepción está a una altura h_{1r} diferente de la altura h_{1e} del antena o de la subred 62 de emisión. En este caso, es del mismo modo posible obtener una estimación de la altura del objetivo. Las modulaciones de amplitudes correspondientes al trayecto de ida y al trayecto de vuelta de la onda electromagnética son diferentes. La modulación compuesta se obtiene por la relación (4), indicando el índice e y el índice r a partir de ahora respectivamente la conexión con la emisión y con la recepción:

$$I_e(\Theta)I_r(\Theta) = 16\rho^2 \text{sen}^2\left(\frac{2\pi h_{1e}h_2}{\lambda d}\right) \text{sen}^2\left(\frac{2\pi h_{1r}h_2}{\lambda d}\right)$$

Tomando la raíz cuadrada de la amplitud de la señal recibida, se obtiene la función x_i de modulación temporal:

$$x_i = K|\text{sen}(2\pi f_e i\Delta T + \varphi_{e0})||\text{sen}(2\pi f_r i\Delta T + \varphi_{r0})|$$

Con las mismas notaciones que anteriormente:

$$f_e = \frac{h_{1e}h_2V}{\lambda d_0^2}$$

$$f_r = \frac{h_{1r}h_2V}{\lambda d_0^2}$$

$$\varphi_{0e} = \frac{2\pi h_{1e}h_2}{\lambda d_0} = \frac{2\pi f_e d_0}{V}$$

$$\varphi_{0r} = \frac{2\pi h_{1r}h_2}{\lambda d_0} = \frac{2\pi f_r d_0}{V}$$

Las medidas muestreadas de la modulación temporal son siempre efectuadas a nivel de la recepción 61.

Se puede utilizar una función de correlación para estimar las frecuencias de modulación en la emisión f_e y en la recepción f_r , poniendo por ejemplo:

$$s_{i,k,k'} = \left| \text{sen}\left(2\pi \frac{ikFmax}{M} + \varphi_{k'}\right) \right|$$

para k variando de 0 a M-1 y k' variando de 0 a M'-1;

y:

$$s_{i,l,l'} = \left| \text{sen}\left(2\pi \frac{ilFmax}{M} + \varphi_{l'}\right) \right|$$

para l variando de 0 a M-1 y l' variando de 0 a M'-1.

Se calcula la función de correlación:

$$Correl_{k,k',l,l'} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} x_i * S_{i,k,k'} * S_{i,l,l'}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} x_i^2} \sqrt{\sum_{k=0}^{N-1} S_{i,k,k'}^2} \sqrt{\sum_{l=0}^{N-1} S_{i,l,l'}^2}}$$

Los valores de k, k', l, l' , para los cuales la función $Correl_{k,k',l,l'}$ presenta un máximo, dan una estimación de las frecuencias de modulación:

$$\hat{f}_e = \frac{kFmax}{M} \quad y \quad \hat{f}_r = \frac{lFmax}{M'}$$

5 que corresponde a dos estimaciones de la altura h_2 , con las cuales se puede hacer la media.

Los principios de estimación descritos más arriba pueden generalizarse en todas las combinaciones posibles de pares de subredes de emisión y de recepción de una misma antena.

10 La figura 7 representa una configuración de antena del tipo de la de la figura 5 con redes de antenas de emisión 702 y de recepción 701, pero con alturas de subredes diferentes en emisión y en recepción. De forma más precisa, las subredes de emisión y las subredes de recepción ya no están dispuestas a la misma altura. En particular, las subredes de los pares 72, 73 no tienen la misma altura en emisión y en recepción.

15 Como en el ejemplo de la figura 5, la configuración de la figura 7 permite obtener nuevas combinaciones de pares, que dan nuevas estimaciones diferentes de h_2 , con las cuales se puede hacer la media para afinar incluso de forma más precisa la medida. Estas estimaciones diferentes son útiles para hacer fiables las medidas, en especial, cuando la calzada no es plana, pudiendo las imperfecciones de la calzada por tanto introducir desviaciones en los cálculos.

Después de haber descrito una medida dinámica de la función de modulación en función del tiempo (medida de modulación temporal) se describe ahora una medida de modulación de amplitud instantánea sobre la antena (medida de modulación espacial), medida que se puede combinar, de forma ventajosa, con la medida dinámica.

20 Esta medida estática necesita varias posiciones de subredes de recepción y de emisión de una misma antena dispuestas a lo largo de un eje vertical.

Se pueden utilizar Q subredes de antenas de recepción cuyos centros de fases estén separados sobre el eje vertical, y al menos una subred de emisión, según la configuración de las figuras 5 o 7 por ejemplo. Las subredes colocadas a alturas diferentes pueden, del mismo modo, estar desplazadas sobre el eje horizontal, como por ejemplo en la figura 7.

25 De una manera general, la modulación de amplitud para la subred de emisión colocada a la altura h_{1ep} y la subred de recepción colocada a la altura h_{1rq} , a la distancia d del objetivo, se escribe:

$$I_{ep}(\Theta)I_{rq}(\Theta) = 16\rho^2 sen^2\left(\frac{2\pi h_{1ep}h_2}{\lambda d}\right) sen^2\left(\frac{2\pi h_{1rq}h_2}{\lambda d}\right)$$

En un instante dado y para una altura h_{1ep} de subred de antenas de emisión de índice p, la amplitud de la señal recibida sobre la subred del antena de índice q situada a la altura de altura h_{1rq} es proporcional a:

$$30 \quad sen^2\left(\frac{2\pi h_{1rq}h_2}{\lambda d}\right)$$

Se puede calcular, por ejemplo, la raíz cuadrada de la amplitud de la señal recibida para deducir una señal:

$$y_{p,q} = K_p \left| sen\left(\frac{2\pi h_{1rq}h_2}{\lambda d}\right) \right|$$

donde K_p es una constante función de la altura de la subred de emisión de rango p.

35 Repitiendo la operación sobre las Q posiciones en la altura de las subredes de recepción, se obtiene una serie de Q valores de $y_{p,q}$ a partir de los cuales es posible estimar h_2 , de acuerdo con los principios descritos, en especial, en las solicitudes de patentes FR 2 913 774 y FR 2 901 613.

40 La figura 8 representa, por una curva 81, la velocidad de la función de modulación correspondiente sobre una antena compuesta de cinco subredes de recepción separadas entre sí 2cm, estando la más baja a 40cm por encima del suelo, para un objetivo situado a 4,60m, a una distancia de 300m. La curva 81 representa la modulación a lo largo de la antena en función de la altura a partir de la altura más baja, 40cm. La modulación 81 describe una fracción de

valor absoluto de senoide. A partir de esta fracción de senoide, se sabe medir la frecuencia de la modulación como se describe a continuación.

Observando la diferencia de altura entre la subred de recepción de rango q y la subred de recepción más baja: $\Delta h_{1rq} = h_{1rq} - h_{1r0}$, se obtiene una función de modulación:

5
$$y_{p,q} = K_p \left| \text{sen}\left(\frac{2\pi\Delta h_{1rq}h_2}{\lambda d} + \frac{2\pi h_{1r0}h_2}{\lambda d}\right) \right|$$

Eligiendo con preferencia una separación regular entre las subredes de recepción, la altura de las subredes evoluciona según la serie aritmética siguiente:

$$h_{1rq} = h_{1r0} + q\Delta h_1$$

y:

10
$$y_{p,q} = K_p \left| \text{sen}\left(\frac{2\pi h_2 q \Delta h_1}{\lambda d} + \frac{2\pi h_{1r0} h_2}{\lambda d}\right) \right|$$

Esta relación se puede escribir como sigue:

$$y_{p,q} = K_p \left| \text{sen}(2\pi f_s q \Delta h_1 + \varphi_{s0}) \right|$$

con:

$$f_s = \frac{h_2}{\lambda d}$$

15 y

$$\varphi_{s0} = \frac{2\pi h_{1r0} h_2}{\lambda d} = 2\pi h_{1r0} f_s$$

Se discretiza el espacio de las frecuencias R valores posibles entre 0 y F_{max} tales que para r variando de 0 a R-1;

$$f_s = r \frac{F_{smax}}{R},$$

y se discretiza el espacio de las fases en R' valores posibles para r' variando de 0 a R'-1, tales que:

20
$$\psi_{r'} = r' \frac{2\pi}{R'}$$

y después se pone:

$$u_{p,q,r,r'} = \left| \text{sen}\left(2\pi \frac{qr F_{smax} \Delta h_1}{R} + \psi_{r'}\right) \right|$$

Se calcula por tanto la función de correlación:

$$\text{Correl}_{p,q,r,r'} = \frac{\sum_{q=0}^{Q-1} y_{p,q} * u_{p,q,r,r'}}{\sqrt{\sum_{q=0}^{Q-1} y_{p,q}^2} \sqrt{\sum_{q=0}^{Q-1} u_{p,q,r,r'}^2}}$$

25 Los valores de r y de r', para los cuales la función $\text{Correl}_{p,q,r,r'}$ presenta un máximo, dan una estimación de la frecuencia de modulación:

$$\hat{f}_s = r \frac{F_{smax}}{R}$$

de donde se deduce la altura h_2 buscada:

$$h_2 = \hat{f}_s \lambda d$$

De forma simétrica, es del mismo modo posible utilizar varias subredes de emisión colocadas a alturas diferentes, emitiendo estas subredes ondas ortogonales, para observar la modulación resultante sobre una subred de recepción dada, y deducir la altura del objetivo.

5 Finalmente, es posible combinar varias subredes de emisión y varias subredes de recepción para afinar la estimación.

En resumen, se puede medir la modulación de amplitud instantánea (espacial) sobre la antena en un instante dado:

- en varias subredes de antena de recepción colocadas a alturas diferentes, para una antena de emisión única;
- o sobre una antena de recepción única, para varias posiciones de subredes de antena de emisión colocadas a alturas diferentes;
- o sobre varias subredes de antenas de recepción colocadas a alturas diferentes, para varias posiciones de subredes de antenas de emisión colocadas a alturas diferentes.

15 En un modo de implementación ventajoso de la invención, se puede combinar el aprovechamiento de la medida de modulación espacial y el aprovechamiento de la medida temporal. Se puede por tanto reforzar la calidad de la estimación de la altura. Esta combinación puede realizarse utilizando por ejemplo una función de autocorrelación espaciotemporal que utiliza la vez la diversidad de muestreo espacial sobre las subredes de antena y la diversidad de muestreo temporal. Se describe un ejemplo a continuación.

20 Por razones de simplicidad de escritura, nos limitamos como anteriormente al caso en el que la emisión se realiza a partir de una subred situada a la altura h_{1e0} , y se consideran Q subredes de antenas de recepción cuyos centros de fases están separados regularmente sobre el eje vertical un intervalo Δh_1 , tal que la subred de recepción de rango q está situada a la altura $h_{1rq} = h_{1e0} + q\Delta h_1$.

En el instante $t = i\Delta T$, la amplitud de la señal de modulación sobre la subred de rango q se puede escribir:

$$y_{p,i,q} = K_p \left| \text{sen}\left(\frac{2\pi h_2 (h_{1r0} + q\Delta h_1)}{\lambda d_i}\right) \right|$$

con:

$$25 \frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_0 - Vi\Delta T} \approx \frac{1}{d_0} \left(1 + \frac{Vi\Delta T}{d_0}\right)$$

Se escribe:

$$y_{p,i,q} = K_p \left| \text{sen}\left(\frac{2\pi h_2 (h_{1r0} + q\Delta h_1)}{\lambda d_0}\right) \left(1 + \frac{Vi\Delta T}{d_0}\right) \right|$$

Poniendo como anteriormente:

$$f = \frac{h_{1r0} h_2 V}{\lambda d_0^2} \quad \text{y} \quad \varphi_0 = \frac{2\pi f d_0}{V} = \frac{2\pi h_{1r0} h_2}{\lambda d_0}$$

30 la señal de modulación espaciotemporal puede escribirse:

$$y_{p,i,q} = K_p \left| \text{sen}\left(2\pi f \left(1 + \frac{q\Delta h_1}{h_{1r0}}\right) i\Delta T + \varphi_0 \left(1 + \frac{q\Delta h_1}{h_{1r0}}\right)\right) \right|$$

35 La figura 9 representa la velocidad teórica de las modulaciones temporales observadas en el transcurso del tiempo en el caso de cinco subredes de recepción separadas regularmente 3cm en el plano vertical, para una distancia inicial de 300m, una velocidad de aproximación de 100km/h, un coeficiente de reflexión de 0,7, y una altura de objetivo de 4,6m.

Cinco curvas 91, 92, 93, 94, 95 representan las modificaciones temporales, en función del tiempo, sobre las subredes de alturas respectivas de 40cm, 43cm, 46cm, 49cm y 52cm. Se obtiene una modulación espacial en un instante dado muestreando los valores de amplitud en este instante. Esta modulación espacial se ilustra en la figura 9 por la intersección de la recta 90 con las curvas, correspondiendo las intersecciones a los valores muestreados.

De forma más general, cualquier sección vertical permite obtener una modulación espacial en el instante correspondiente. La figura 9 ilustra por tanto la variedad de muestreos que permite esta solución.

Para extraer la frecuencia de modulación, que da acceso a la altura h_2 , se puede utilizar una función de correlación de dos dimensiones, una dimensión temporal y una dimensión espacial.

- 5 Con este fin, se discretiza el espacio de las frecuencias temporales en M valores posibles entre 0 y F_{max} tales que:

para k variando de 0 a M-1, $f_k = k \frac{F_{max}}{M}$ y se discretiza el espacio de las fases espaciales que en M' valores posibles entre 0 y $2\pi/M'$ tales que:

para k variando de 0 a M'-1, $\varphi_{k'} = k' \frac{2\pi}{M'}$, se tiene:

$$w_{i,q,k,k'} = \left| \text{sen} \left(2\pi \frac{ikF_{max} \left(1 + \frac{q\Delta h_1}{h_{1r0}} \right) \Delta T}{M} + \varphi_{k'} \left(1 + \frac{q\Delta h_1}{h_{1r0}} \right) \right) \right|$$

- 10 Y se calcula por tanto la función de correlación en dos dimensiones:

$$\text{Correl}_{k,k'} = \frac{\sum_{q=0}^{Q-1} \sum_{i=0}^{N-1} y_{p,i,q} * w_{i,q,k,k'}}{\sqrt{\sum_{q=0}^{Q-1} \sum_{i=0}^{N-1} y_{p,i,q}^2} \sqrt{\sum_{q=0}^{Q-1} \sum_{k=0}^{N-1} w_{i,q,k,k'}^2}}$$

Los valores de k y k', para los cuales la función $\text{Correl}_{k,k'}$ presenta un máximo, dan una estimación de la frecuencia de modulación:

$$\hat{f} = f_k = \frac{kF_{max}}{M}$$

$$h_2 = \frac{\lambda d_0^2 \hat{f}}{h_1 V}$$

- 15 de la cual se deduce

Es del mismo modo posible estimar la altura h_2 a partir de las estimaciones dinámicas (modulación temporal) y estáticas (modulación espacial descritas anteriormente, y efectuar una media ponderada o no de las dos estimaciones obtenidas.

- 20 La invención permite, de forma ventajosa, obtener una discretización suficiente sin aumentar las dimensiones de la antena de radar. Permite, en particular, a gran distancia, hacer una clara distinción entre un tablero de puente y uno o varios vehículos inmovilizados sobre la calzada. Se puede aplicar a objetos puntuales o que se extienden según el eje vertical. No aumenta el volumen de la electrónica ni la complejidad del radar y su aplicación es simple de implementar.

- 25 La estimación de la altura puede ser, de forma ventajosa, combinada con otros parámetros discriminantes como la superficie equivalente estimada, la distancia, la extensión de distancia, la posición lateral estimada y sus fluctuaciones para deducir una firma que permite caracterizar la naturaleza del objeto detectado.

- 30 La invención se aplica para medir la altura verdadera de objetos dispuestos sobre el suelo, como un tablero de puente por ejemplo. Como esto ha sido indicado anteriormente, se aplica igualmente para medidas de alturas de objetos continuos dispuestos sobre el suelo. En este caso, la altura h_2 de objetivo corresponde a la altura aparente del punto brillante medio.

La invención ha sido descrita para medir la altura de un objetivo fijo, por ejemplo un puente. Sin embargo puede aplicarse a objetos móviles y permitir, de forma ventajosa, hacer la clasificación de vehículos por ejemplo, por la detección de la altura de los vehículos. En este caso, la velocidad V de aproximación del radar hacia el objetivo (otro vehículo por ejemplo) es finalmente la velocidad relativa del radar con respecto a este objetivo.

- 35

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de medida de la altura de un objetivo con respecto al suelo por un radar en movimiento que emite una señal de detección hacia dicho objetivo, estando equipado dicho radar de una red (32, 502, 62, 702) de antenas de emisión y de una red (31, 501, 61, 701) de antenas de recepción y porque la medida de dicha altura (h_2) se obtiene por la estimación de la frecuencia de al menos una modulación de amplitud función del tiempo (41, 42, 91, 92, 93, 94, 95) producida sobre dicha red de antenas de recepción, estando generada dicha modulación por la interferencia de las señales recibidas directamente (4) de dicho objetivo y de las señales recibidas después de la reflexión (5) sobre el suelo, a partir de las señales emitidas por dicha red de antenas de emisión, **caracterizado porque** la medida de dicha altura (h_2) de objetivo es obtenida, para una modulación función del tiempo dada, según la relación siguiente:

$$h_2 = \frac{\lambda d_0^2 \hat{f}}{h_1 V}$$

Siendo h_2 la altura estimada;
 Siendo \hat{f} la frecuencia estimada de dicha modulación de amplitud función del tiempo;
 Siendo h_1 la altura a la cual es emitida dicha señal de detección;
 Siendo d_0 la distancia de dicho radar al objetivo;
 Siendo V la velocidad de aproximación de dicho radar hacia el objetivo;
 Siendo λ la longitud de onda de dicho radar.

2. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado porque** dicha red (501) de antenas de recepción que está compuesta de una o varias subredes (31, 501', 61, 701') de recepción y dicha red (502) de antenas de emisión que está compuesta de una o varias subredes (32, 502', 62, 702') de emisión, al generar cada señal emitida por una subred de emisión una modulación de amplitud función del tiempo sobre cada subred de recepción, se efectúa una medida de dicha altura (h_2) de objetivo por la estimación de la frecuencia de modulación de amplitud función del tiempo producida sobre una subred (31) de recepción por una subred (32, 51, 52, 53) de emisión situada a la misma altura.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la estimación (I) de la frecuencia de modulación se efectúa con la ayuda de una función de correlación adaptada a dos dimensiones, que tiene en cuenta la frecuencia y la fase en el origen de dicha modulación, siendo la estimación de la frecuencia igual a la frecuencia f_k del par frecuencia-fase (f_k, φ_k) que da el máximo de correlación.

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dicha red (501) de antenas de recepción que está compuesta de una o varias subredes (31, 501', 61, 701') de recepción y dicha red (502) de antenas de emisión que está compuesta de una o varias subredes (32, 502', 62, 702') de emisión, al generar cada señal emitida por una subred de emisión una modulación de amplitud función del tiempo sobre cada subred de recepción, se efectúa una medida de dicha altura (h_2) de objetivo efectuada por la estimación de frecuencia de la modulación de amplitud función del tiempo producida sobre una subred (61) de recepción por una subred de emisión situada a una altura (62, 71, 72, 73) diferente, siendo dicha modulación el producto de una modulación correspondiente al trayecto de ida y de una modulación correspondiente al trayecto de vuelta de la onda emitida por dicha subred de emisión, siendo una medida de dicha altura la estimación \hat{f}_e de la frecuencia de modulación debida al trayecto de ida o de la estimación \hat{f}_r de la frecuencia de modulación debida al trayecto de vuelta.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** dicha medida se toma igual a una combinación de la estimación \hat{f}_e de la frecuencia de modulación debida al trayecto de ida y de la estimación \hat{f}_r de la frecuencia de modulación debida al trayecto de vuelta.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** dicha combinación efectúa la media de las dos estimaciones \hat{f}_e y \hat{f}_r .

7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, **caracterizado porque** la estimación de dichas frecuencias de modulación, debidas al trayecto de ida y al trayecto de vuelta, se efectúa con la ayuda de una función de correlación que tiene en cuenta la frecuencia de modulación debida al trayecto de ida y la frecuencia de modulación debida al trayecto de vuelta, siendo dichas frecuencias \hat{f}_e, \hat{f}_r estimadas aquellas que dan el máximo de correlación.

8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dicha estimación de frecuencia con la cual se obtiene dicha medida de altura es una combinación de estimaciones de frecuencia de modulación de amplitud función del tiempo obtenidas para diferentes pares de subredes de emisión y recepción (51, 52, 53, 71, 72, 73).

9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha red (501) de antenas de recepción que comprende varias subredes de recepción, recibiendo cada subredes dentro de recepción al menos una señal de interferencia que proviene de una señal emitida por dicha Red (502) de antenas de emisión, siendo modulada dicha red de interferencia en amplitud en función del tiempo:

- 5 - se capta la velocidad de al menos una modulación de amplitud (81) espacial producida a lo largo de dicha red de antenas de recepción en un instante (90) dado en función de la altura de dichas subredes;
- se calcula una estimación \hat{f} de la frecuencia de modulación de amplitud en función del tiempo por medio de una función de correlación espaciotemporal que toma en cuenta la frecuencia de modulación de amplitud en función del tiempo y de la frecuencia de dicha al menos modulación de amplitud espacial, correspondiendo la frecuencia
- 10 f_k al máximo de correlación de dicha correlación espaciotemporal siendo la frecuencia \hat{f} estimada, siendo calculada la medida de dicha altura de objetivo a partir de esta frecuencia estimada.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado porque** dicha Red (502) de antenas de emisión que comprende varias subredes de emisión, se capta la velocidad de la modulación de amplitud espacial producida sobre dicha red de antenas de recepción correspondiente a cada señal emitida por una subred de emisión, se

- 15 calcula para cada señal emitida una estimación \hat{f} de la frecuencia de modulación de amplitud en función del tiempo por medio de una función de correlación espaciotemporal que toma en cuenta la frecuencia de modulación de amplitud en función del tiempo y la frecuencia de dicha al menos modulación de amplitud espacial, correspondiendo la frecuencia f_k al máximo de correlación de dicha correlación espaciotemporal siendo la frecuencia \hat{f} estimada de la modulación de amplitud función del tiempo generada por dicha señal emitida, siendo calculada una medida de dicha altura (h_2) de objetivo a partir de al menos una frecuencia estimada correspondiente a una señal emitida entre dichas subredes de emisión.
- 20

11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** la medida de dicha altura (h_2) de objetivo es una combinación de las medidas de altura correspondientes a cada señal emitida.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado porque** dicha combinación es una media.

- 25 13. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dicho objetivo es un tablero de puente.

14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado porque** dicha altura (h_2) de objetivo corresponde a la altura aparente del punto brillante medio de un objeto contenido colocado sobre el suelo.

- 30 15. Radar, **caracterizado porque** es adecuado para implementar el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

16. Radar según la reivindicación 15, **caracterizado porque** es adecuado para equipar un vehículo automóvil.

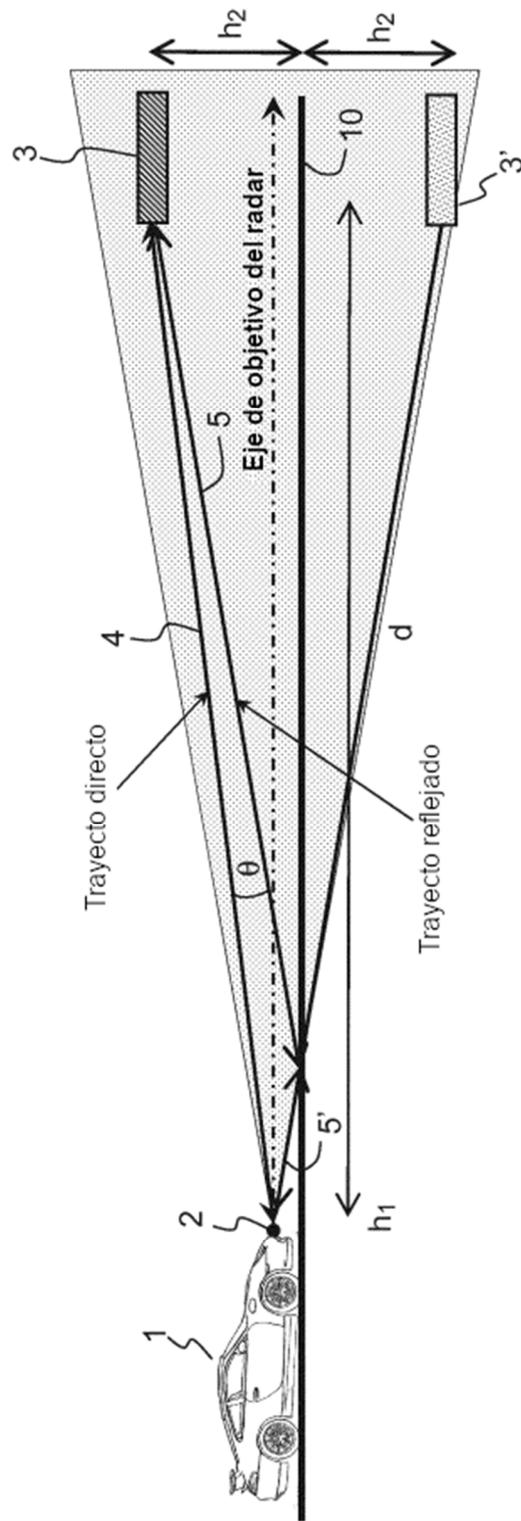


FIG.1

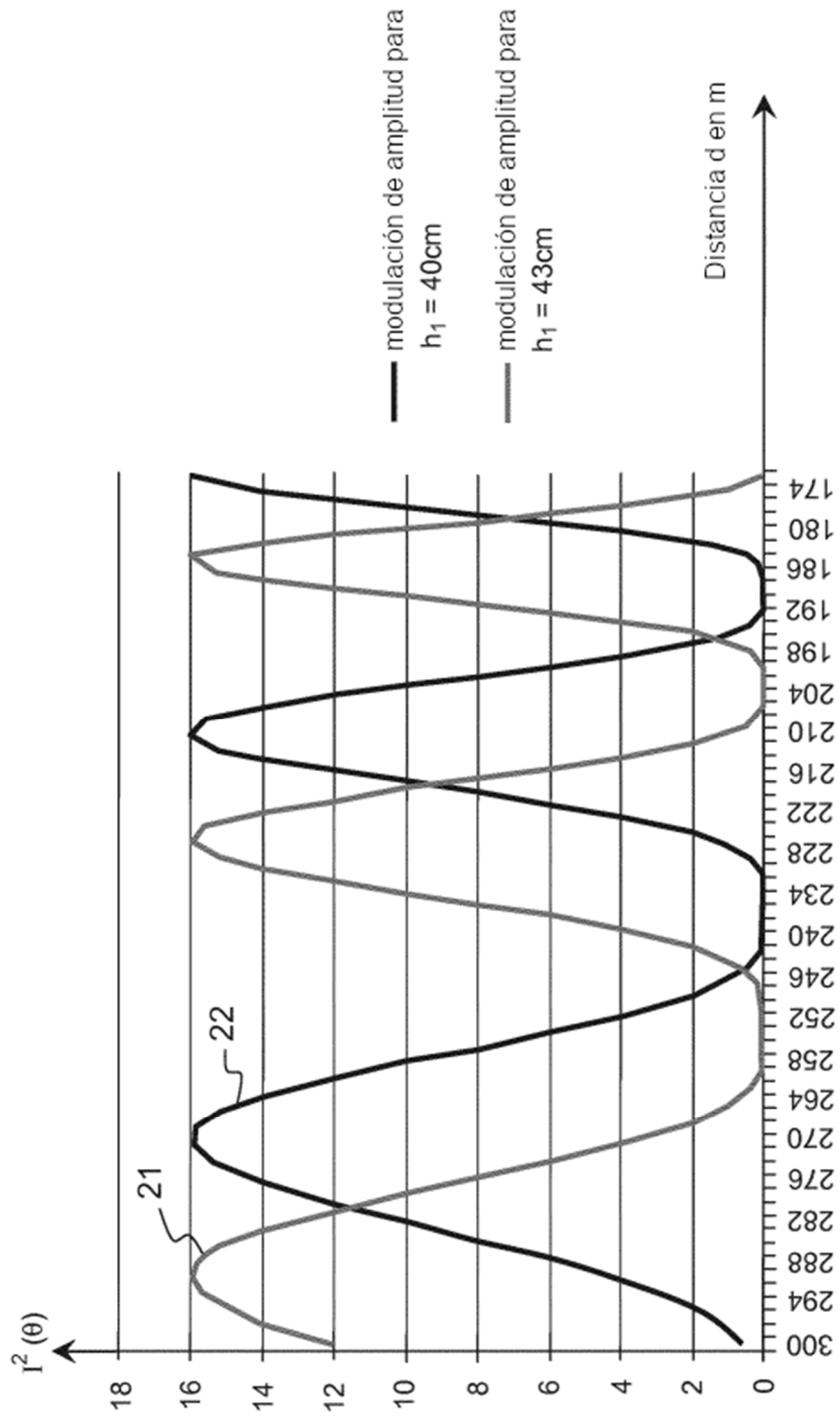
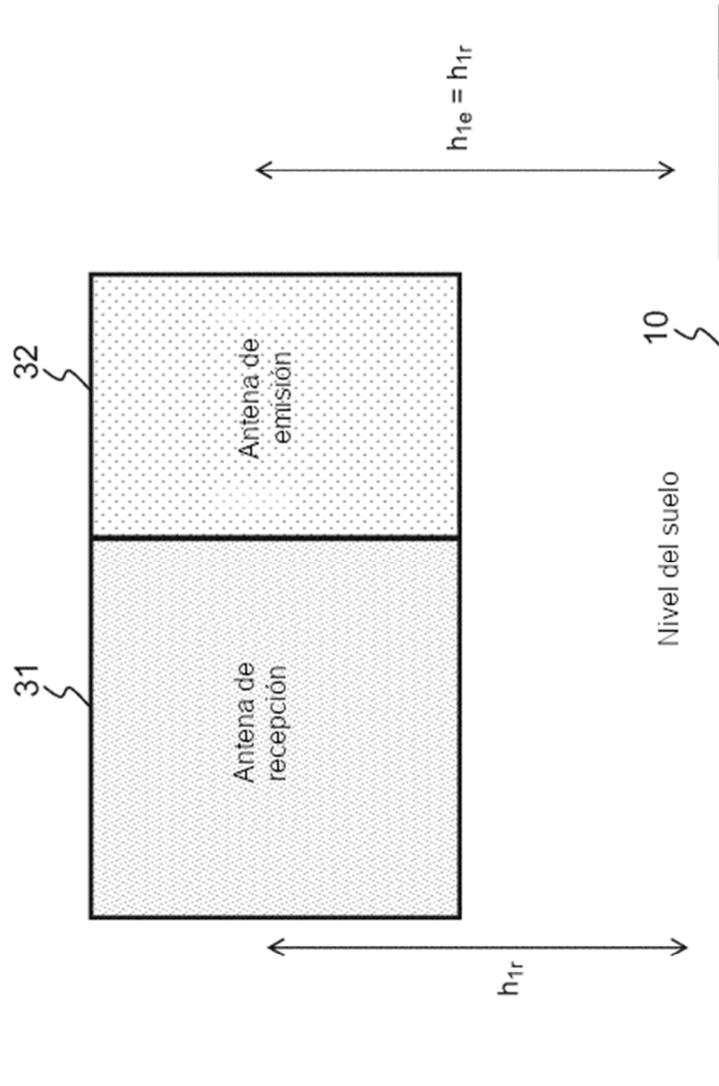


FIG.2



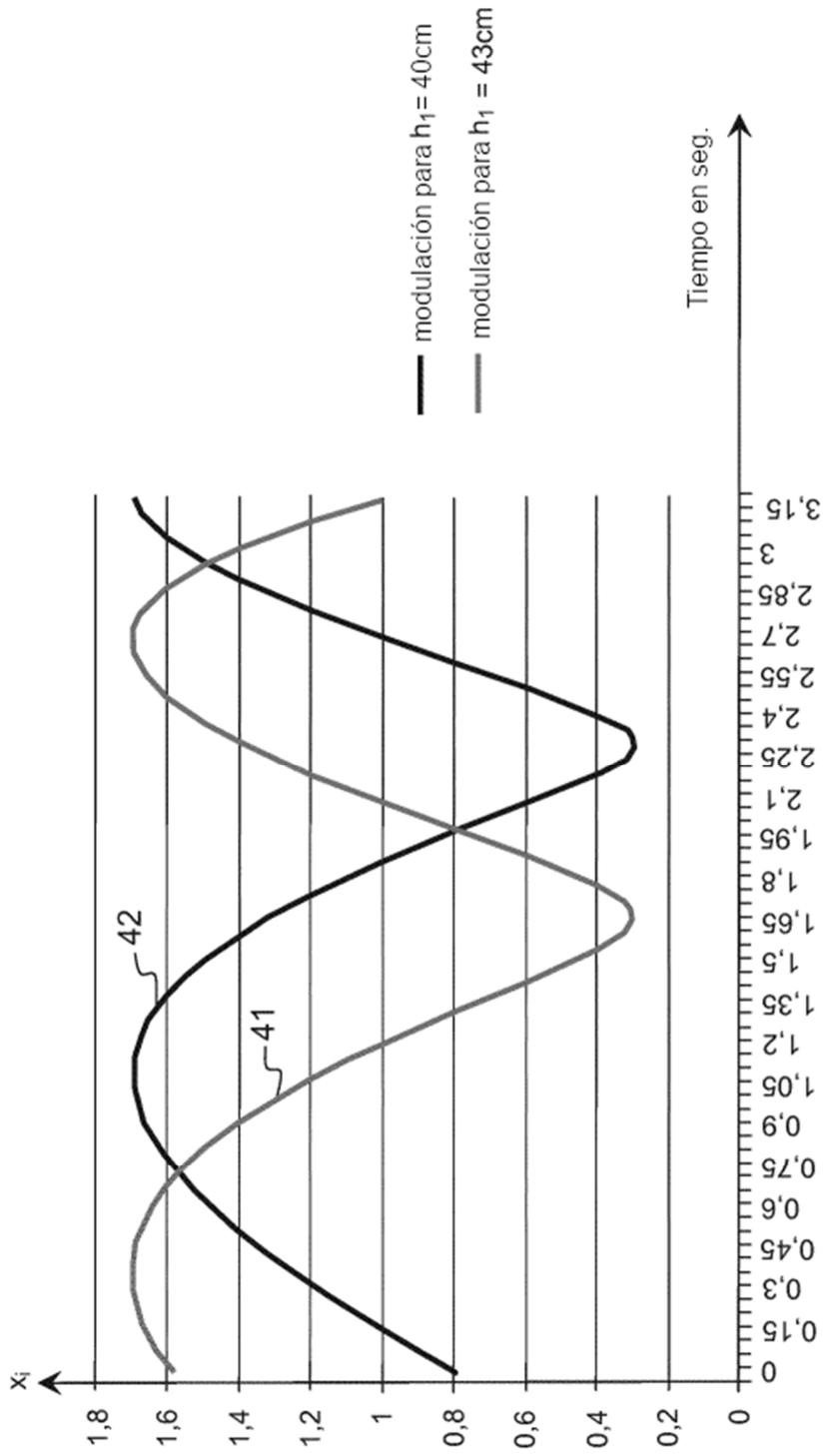


FIG.4

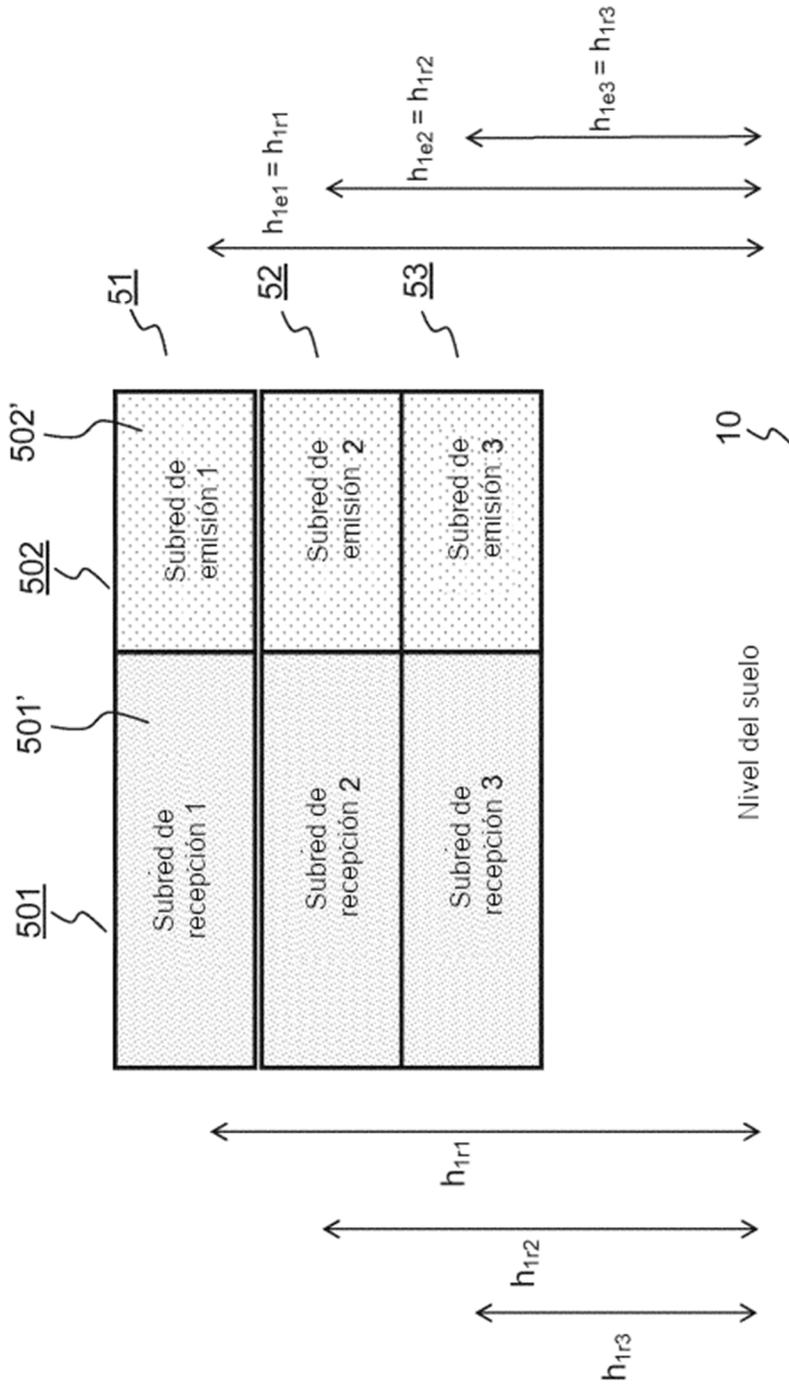


FIG.5

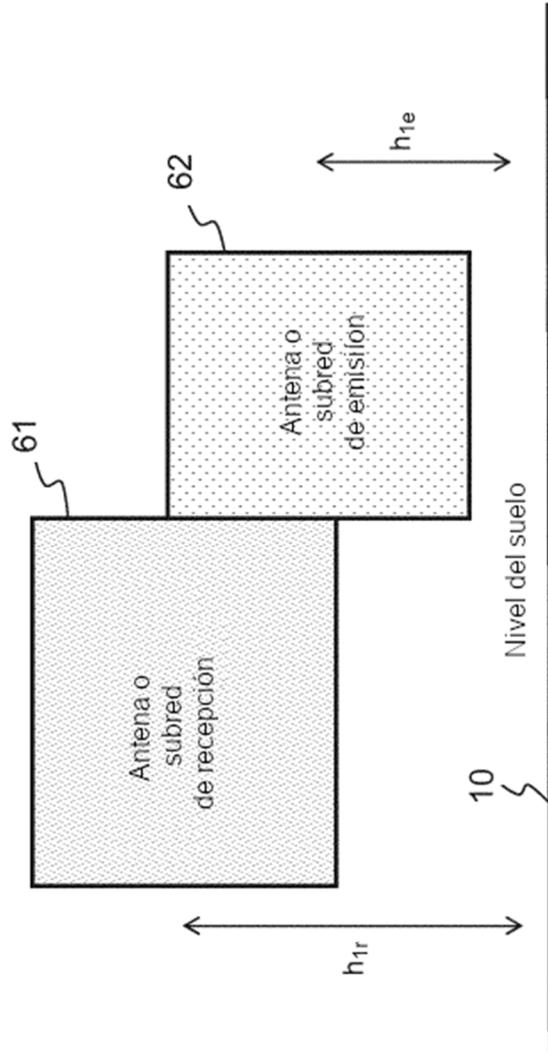


FIG.6

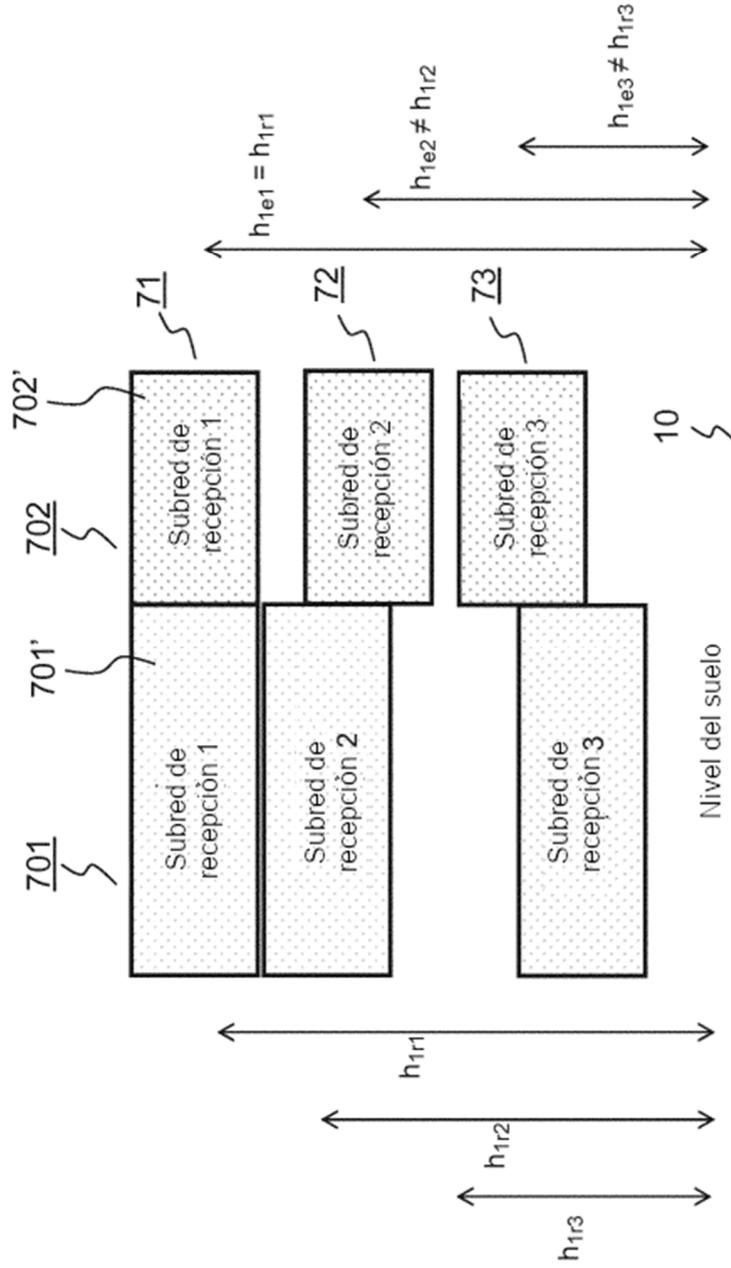


FIG.7

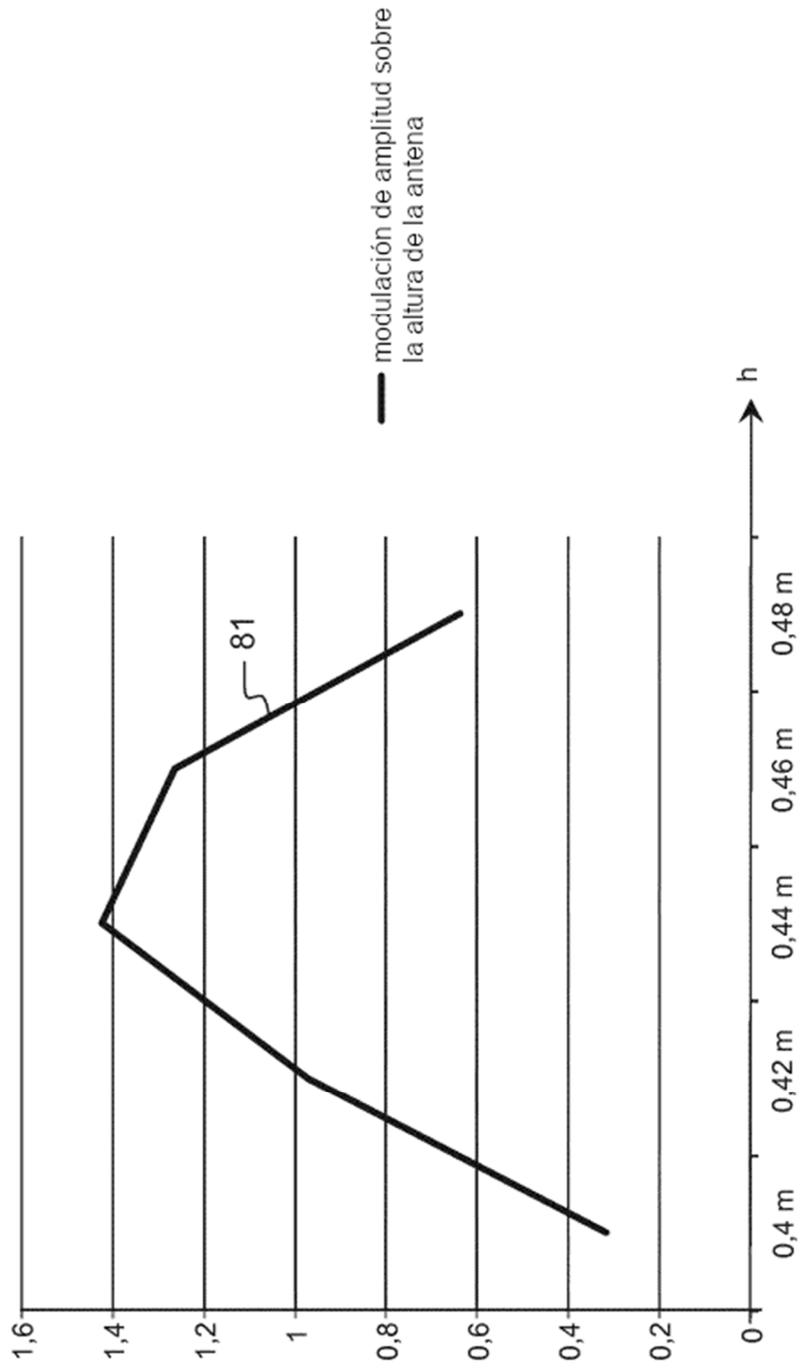


FIG.8

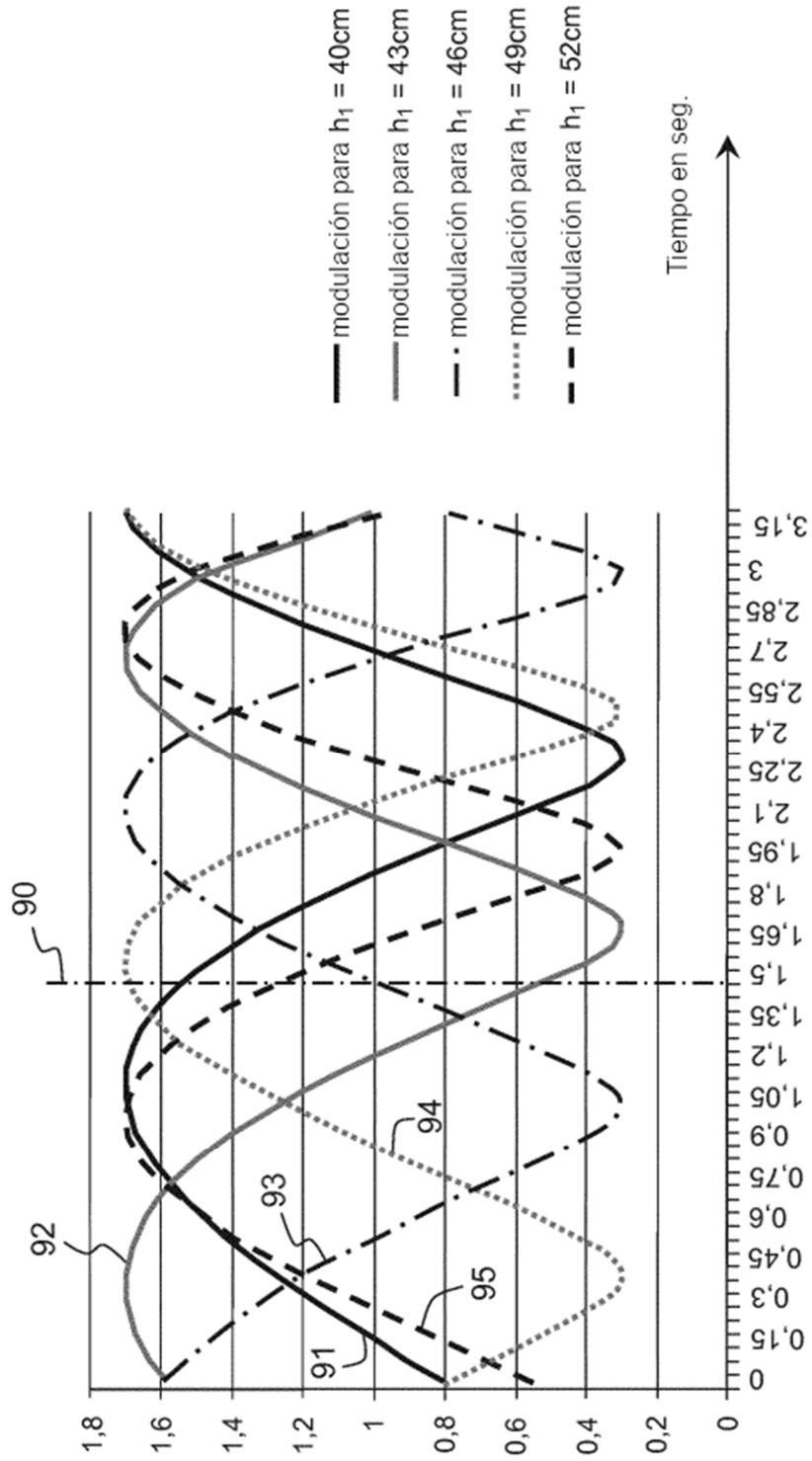


FIG.9