

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 636 996**

51 Int. Cl.:

G01S 13/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2008** **E 08172016 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.05.2017** **EP 2199825**

54 Título: **Aparato para estimar la altura a la que un objetivo vuela por encima de una superficie reflectante**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.10.2017

73 Titular/es:

**THALES NEDERLAND B.V. (100.0%)
ZUIDELIJKE HAVENWEG 40
7550 GD HENGEL, NL**

72 Inventor/es:

**DRIESSEN, HANS y
PODT, MARTIN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 636 996 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

Aparato para estimar la altura a la que un objetivo vuela por encima de una superficie reflectante

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un aparato para estimar la altura a la que un objetivo vuela por encima de una superficie reflectante. La invención es particularmente aplicable a los radares de seguimiento. Sin embargo, otros campos potenciales de uso pueden incluir radares de vigilancia y Sistemas de Posicionamiento Global.

Técnica anterior y problema técnico

10 En el pasado se han ensayado varias técnicas en un intento de estimar la altura de un objetivo (o su ángulo de elevación) que volaba por encima de una superficie reflectante. Desafortunadamente, un problema técnico que la gente falló en la solución es cómo evitar grandes errores por trayectoria múltiple. Los errores por trayectoria múltiple son los errores en la altura o elevación estimadas que se producen debido a las interferencias entre una señal directa desde el objetivo al radar y una señal indirecta reflejada en la superficie.

15 Una primera técnica ensayada en el pasado consiste en utilizar una anchura de haz estrecha. Esta técnica se basa en una antena con un haz estrecho. Un haz estrecho reduce el ángulo de elevación del objetivo al que se ilumina la superficie reflectante mediante el radar. En consecuencia, se reduce el ángulo de elevación por debajo del cual se producen errores por trayectoria múltiple graves. Sin embargo, un gran inconveniente de esta técnica es que debido a las limitaciones técnicas, no siempre es factible una anchura de haz estrecha. Además, aunque una anchura de haz estrecha pueda mejorar la estimación de la altura del objetivo de un radar en condiciones de trayectoria múltiple, otras funciones de radar se benefician de una anchura de haz más amplia. Otro inconveniente de utilizar una
20 anchura de haz estrecha es que prácticamente no funciona cuando el objetivo está muy cerca de la superficie reflectante. Dichos errores por trayectoria múltiple al rastrear un objetivo con un radar pueden detectarse para ajustar el funcionamiento del sistema de radar como se desvela en la patente de Reino Unido 2094586 o sus efectos pueden mitigarse reduciendo los errores de medición del ángulo de elevación resultantes de las condiciones de trayectoria múltiple basados en la transmisión de una pluralidad de señales que tienen frecuencias diferentes como se desvela en la patente de Estados Unidos 5 371 503.

25 Otra técnica ensayada en el pasado consiste en tratar de resolver el problema de los grandes errores por trayectoria múltiple en el filtrado de pista. Esta técnica subestima la corrupción en la estimación de ángulo instantáneo y aplica algún tipo de filtrado de pista para mitigar los peores errores. Sin embargo, un gran inconveniente es que es difícil de caracterizar estocásticamente el error en la medición del ángulo de elevación, lo que da lugar a una falta de precisión. Otro inconveniente es que se descuida parte de la información incluida en las mediciones.

30 Otra técnica se conoce comúnmente como el concepto de relación de haz simétrica. El concepto se basa en dos patrones de haz de antena cuya relación es simétrica. Si el punto de simetría se encuentra en la superficie reflectante, las señales directas e indirectas producen la misma salida y se eliminan los errores por trayectoria múltiple. Sin embargo, un gran inconveniente es que, en comparación con un radar de seguimiento clásico, requiere al menos tres haces. Además, el punto de simetría de la relación de haz debe apuntar exactamente entre el objetivo y su imagen reflejada en el modo de trayectoria múltiple, mientras que en el modo de espacio libre se desea que la atena de un radar de seguimiento apunte al objetivo. Esto introduce un problema de conmutación entre los modos de apuntamiento de los haces. Además, esta técnica genera una estimación sesgada del ángulo de elevación, especialmente para relaciones señal-ruido bajas. Este error de sesgo no se puede reducir mediante filtrado de pista.

35 Otras técnicas, normalmente conocidas como técnicas de ángulo complejo, utilizan la relación compleja (la relación de los dos componentes en fase y en cuadratura) de las señales de salida de un radar monopolso en combinación con un modelo de reflexión. En efecto, en el espacio libre la relación de señal monopolso no tiene componente en cuadratura: un componente en cuadratura de la relación de señal monopolso es una indicación de trayectoria múltiple. Sin embargo, un gran inconveniente de estas técnicas es que son sensibles a las desviaciones entre las reflexiones difusas reales en la superficie real y la reflexión especular teórica supuesta, es decir, en una única dirección. Además, requieren un conocimiento previo preciso de los parámetros de reflexión de la superficie reflectante y de su geometría, que generalmente no están disponibles. Otro gran inconveniente de estas técnicas es que, para resolver la ambigüedad en la estimación de la altura, requieren al menos dos mediciones a diferentes frecuencias para un único punto.

Sumario de reivindicaciones

40 La presente invención tiene como objetivo proporcionar un sistema de aparato de radar de acuerdo con la reivindicación 1, que pueda utilizarse para superar al menos algunos de los problemas técnicos descritos anteriormente. Por lo tanto, no se requiere un conocimiento previo de la amplitud del coeficiente de reflexión o del desplazamiento de fase en la superficie reflectante

55

Ventajas

5 Por lo tanto, una ventaja proporcionada por la presente invención en cualquiera de sus aspectos es que permite que la antena del radar apunte al objetivo, tanto en el modo de espacio libre como en el modo de trayectoria múltiple. En consecuencia, no hay ningún problema de conmutación entre los modos de apuntamiento. Además, se trata de una solución rentable, ya que puede implementarse como software en los sistemas existentes, sin necesidad de dispositivos de emisión/recepción dedicados.

Dibujos

A continuación se describen ejemplos de la invención con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- 10 - la figura 1 ilustra esquemáticamente una geometría de propagación por trayectoria múltiple a modo de ejemplo;
- la figura 2 ilustra esquemáticamente estimaciones de altura del objetivo a modo de ejemplo en función de la distancia al suelo del objetivo.

Descripción de la invención haciendo referencia a las figuras

15 La implementación de la invención depende del número N de haces de elevación disponibles en el radar multihaz (N>1). La realización básica puede implementarse en un radar monopulso estándar. El radar monopulso (no ilustrado) comprende una antena de altura h_a, teniendo la antena un solo haz en transmisión. El haz en transmisión describe en qué dirección se concentra la energía. La antena tiene al menos dos haces en recepción. Una haz en recepción describe la ganancia o amplificación en función de la dirección de la energía recibida. Ventajosamente, la frecuencia de emisión puede ser constante, lo que permite mediciones a una frecuencia constante. Sin embargo, pueden implementarse realizaciones mejoradas de la presente invención en sistemas de radar cuya antena tenga más de dos haces en recepción (N>2). Haciendo referencia a la figura 1, la presente invención tiene como objetivo 20 estimar, con respecto a un ángulo e₀ de elevación=0 al que apunta la antena, el ángulo e_t de elevación o la altura h_t por encima de una superficie S reflectante del objetivo T situado a una distancia x_t al suelo desde la antena. Por lo tanto, la señal (1) directa es la energía que se mide por el ángulo e_t de elevación correspondiente a la trayectoria directa entre la antena y el objetivo T y viceversa. La señal (2) indirecta es la energía que se mide para un ángulo e_s de elevación correspondiente a la trayectoria indirecta, que se refleja en la superficie, entre el objetivo T y la antena.

25 Por la geometría de propagación por trayectoria múltiple como se muestra en la figura 1, la salida del sistema de radar basado en dos haces en recepción puede escribirse como en la siguiente ecuación (1):

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1(e_t - e_0) & a_1(e_s - e_0) \\ a_2(e_t - e_0) & a_2(e_s - e_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_t \\ q_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}, (1)$$

donde:

- 30 - z_i (i ∈ {1,2}) representa la salida de señal,
- a_i (i ∈ {1,2}) representa los patrones de haz de radar,
- n_i (i ∈ {1,2}) representa el ruido térmico correspondiente a los dos haces en recepción,
- e_s es el ángulo de elevación de la imagen T' especular del objetivo T,
- 35 - q_t y q_s son las amplitudes complejas de los ecos correspondientes al objetivo T y a su imagen T' especular respectivamente

Las amplitudes complejas del objetivo T y de su imagen T' especular están relacionadas por la siguiente ecuación (2):

$$q_s = \rho_s \exp(j\varphi) q_t \quad (2)$$

donde:

- 40 - ρ_s=|ρ_s|exp(jφ_s) es el coeficiente de reflexión complejo del mar,
- φ es la diferencia de fase entre la señal (1) directa y la señal (2) indirecta debido a la diferencia de longitud de la trayectoria.

La diferencia φ de fase se define por la siguiente ecuación (3):

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\sqrt{x_t^2 + (h_t - h_a)^2} - \sqrt{x_t^2 + (h_t + h_a)^2} \right), \quad (3)$$

donde λ es la longitud de onda del radar. Sustituyendo las ecuaciones anteriores (2) y (3) en la ecuación (1) conduce al siguiente modelo de señal detallado (4):

$$z = (A(e_t, e_0) + A(e_s, e_0)\rho(h_t))q_t + n, \quad (4)$$

5 donde:

$$A(e) = \begin{bmatrix} a_1(e) \\ a_2(e) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\rho(h_t) = \rho_s \exp(j\varphi(h_t))$$

La ecuación (4) puede comprimirse en la siguiente ecuación (6):

$$z = B(h_t)q_t + n \quad (6)$$

donde $B(h_t) = A(e_t, e_0) + A(e_s, e_0)\rho(h_t)$, donde:

$$A(e) = \begin{bmatrix} a_1(e) \\ a_2(e) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\rho(h_t) = \rho_s \exp(j\varphi(h_t))$$

10

La ecuación (4) puede comprimirse en la siguiente ecuación (6):

$$z = B(h_t)q_t + n \quad (6)$$

donde $B(h_t) = A(e_t, e_0) + A(e_s, e_0)\rho(h_t)$

15

Bajo el modelo dado por la ecuación (6) y suponiendo un ruido n de observación gaussiano complejo y un conocimiento previo exacto, con excepción de la altura h_t del objetivo, la distancia x_t al suelo del objetivo y la amplitud $|\rho_s|$ del coeficiente de reflexión, la probabilidad condicional sobre los datos z puede escribirse como en la siguiente ecuación 7:

$$p(z / h_t, q_t, x_t, |\rho_s|) = \frac{1}{|\pi Q_n|} \exp\{-\tilde{z}^H Q_n^{-1} \tilde{z}\} \quad (7)$$

20

donde $\tilde{z} = z - B(h_t)q_t$ y $Q_n = I\sigma_n^2$. En la ecuación (7), la amplitud q_t compleja instantánea del objetivo todavía está presente. Sin embargo, suponiendo que la variable es gaussiana compleja distribuida con varianza σ_t^2 , la función de verosimilitud puede escribirse como en la siguiente ecuación (8):

$$p(z / h_t, \sigma_t^2, x_t, |\rho_s|) = \frac{1}{|\pi Q_z|} \exp\{-z^H Q_z^{-1} z\} \quad (8)$$

donde:

$$Q_z = B(h_t)(B(h_t))^H \sigma_t^2 + I\sigma_n^2 \quad (9)$$

En la presente realización, la función de verosimilitud dada por la ecuación (8) puede implementarse de forma ventajosa en un algoritmo de filtro de partículas tal como

- 5 En la presente realización, la función de verosimilitud dada por la ecuación (8) puede implementarse de forma ventajosa en un algoritmo de filtro de partículas tal como el descrito por B. Ristic y col. en “Beyond the Kalman Filter : Particle filters for tracking applications” (Artech House, Boston, Mass., 2004), lo que permite combinar la información en los datos de medición a medición. El filtro de partículas no solo puede utilizarse para estimar la altura h_t del objetivo, la fuerza del objetivo, la posición del objetivo y la velocidad del objetivo. También puede utilizarse de forma ventajosa para estimar la varianza σ_t^2 del objetivo, la distancia x_t al suelo del objetivo, la amplitud $|\rho_s|$ del coeficiente de reflexión y la diferencia de fase entre la señal (1) directa y la señal (2) indirecta. Los parámetros de reflexión se estiman dinámicamente bajo el supuesto de que estos parámetros varían lentamente en el tiempo. Además, la fase φ_s del coeficiente de reflexión complejo (ecuación 2) puede calcularse mediante un modelo de reflexión tal como el descrito por P. Beckmann y col. en “The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces”(Artech House, Norwood, 1987).
- 10
- 15 La figura 2 ilustra esquemáticamente estimaciones a modo de ejemplo de la altura h_t del objetivo (en metros) en función de la distancia x_t al suelo del objetivo (en metros). La verdadera altura del objetivo es de 5 metros sobre el mar. Los datos de entrada se simulan con una relación señal-ruido de 40 decibelios y una altura h_a de la antena igual a 5 metros. La longitud λ de onda del radar es igual a 0,03 metros.
- 20 Una curva 20 en línea discontinua representa la altura estimada por una estimación monopulso estándar. La curva 20 en línea discontinua muestra grandes errores en las estimaciones monopulso, especialmente para distancias al suelo de 1500 a 2000 metros. Una curva 21 en línea continua representa la altura estimada por la invención. La curva 21 en línea continua muestra estimaciones precisas de la altura del objetivo, sea cual sea la distancia al suelo.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de radar monopolso para estimar la altura h_t a la que un objetivo (T) vuela por encima de una superficie (S) reflectante, comprendiendo dicho sistema de radar una antena, comprendiendo dicha antena un solo haz en transmisión para emitir una señal y al menos dos haces en recepción para recibir señales sometidas a eco por un objetivo (T) iluminado por dichos haces en transmisión, dichas señales recibidas que comprenden:
- o una señal (1) directa procedente directamente del objetivo (T) después de que la señal emitida se haya sometido a eco por el objetivo (T);
 - o una señal (2) indirecta procedente indirectamente del objetivo (T) después de que la señal emitida se haya sometido a eco por el objetivo (T) y se haya reflejado por la superficie (S), la señal (2) indirecta que conduce a una imagen especular del objetivo,

dichas señales directas e indirectas que están modeladas, **caracterizado porque** dicho sistema de radar comprende un filtro de partículas para estimar dinámicamente la altura del objetivo sobre la base de las señales recibidas y de un modelo de reflexión especular, modelando dicho modelo de reflexión especular la relación entre las señales directas e indirectas, las amplitudes de valor complejo del objetivo y de dicha imagen especular que está relacionada por dicho modelo especular, usando dicho filtro de partículas una función de verosimilitud condicional definida por dicho modelo de reflexión especular para estimar la altura h_t del objetivo, siendo dicha función de verosimilitud condicional función de las salidas z de señal y de parámetros desconocidos incluyendo la altura h_t del objetivo, la distancia x_t al suelo del objetivo, la varianza σ_t^2 del objetivo y la amplitud $|\rho_s|$ del coeficiente de reflexión de la superficie reflectante, estando la función de verosimilitud condicional definida como:

$$p(z / h_t, \sigma_t^2, x_t, |\rho_s|) = \frac{1}{|\pi Q_z|} \exp\{-z^H Q_z^{-1} z\}$$

con

$$Q_z = B(h_t)(B(h_t))^H \sigma_t^2 + I \sigma_n^2,$$

σ_n^2 designa la varianza del ruido n , I la matriz de identidad y $B(h_t)$ que se determina a partir de la elevación e_t del objetivo, de los ángulos e_s de elevación de la imagen especular del objetivo, del coeficiente ρ_s de reflexión complejo y de la diferencia $\varphi(h_t)$ de fase entre la señal directa e indirecta, dependiendo la diferencia de fase de la altura h_t del objetivo y de la distancia x_t al suelo del objetivo.

2. El sistema de radar monopolso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho filtro de partículas está configurado además para utilizar dicha función de verosimilitud condicional para estimar: la distancia x_t al suelo del objetivo a la antena, la amplitud $|\rho_s|$ del coeficiente de reflexión y la amplitud compleja q_t del objetivo.

3. El sistema de radar monopolso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho filtro de partículas está configurado además para estimar la diferencia de fase entre la señal (1) directa y la señal (2) indirecta.

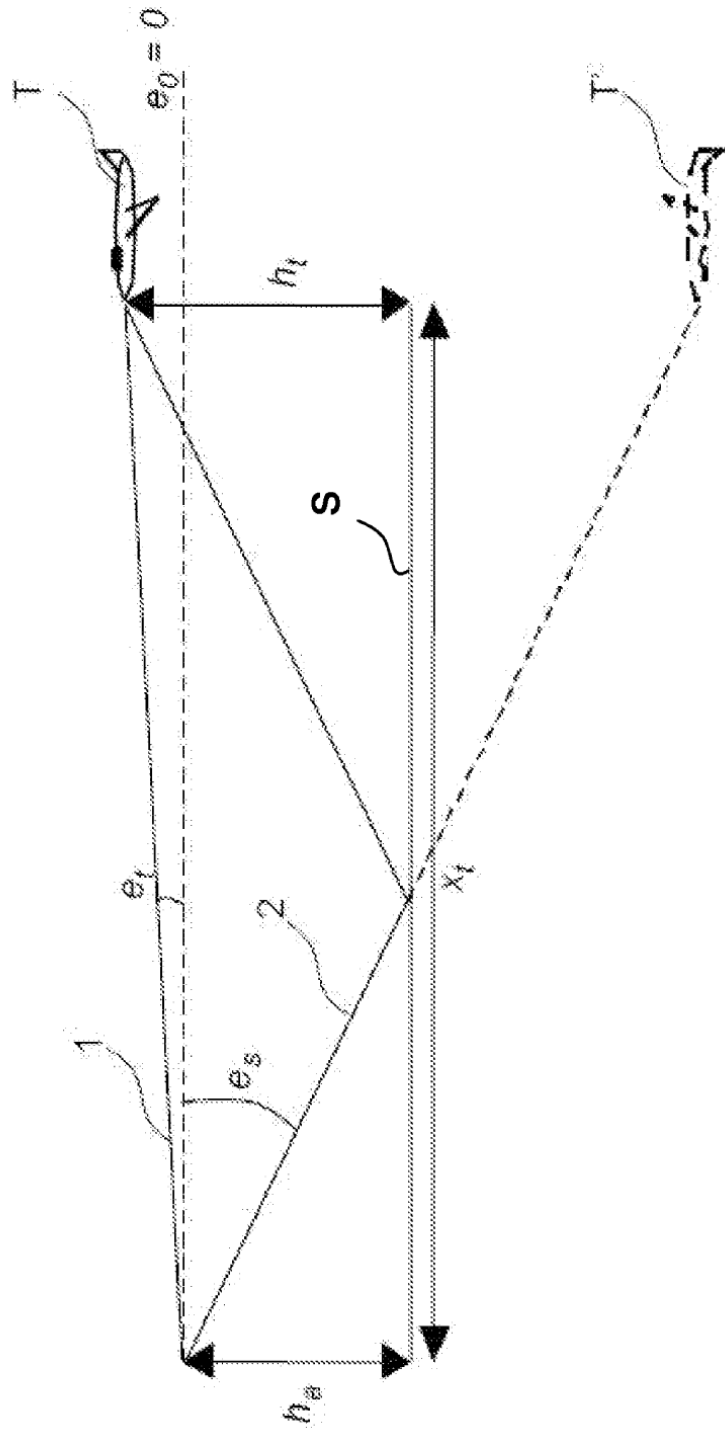


FIG.1

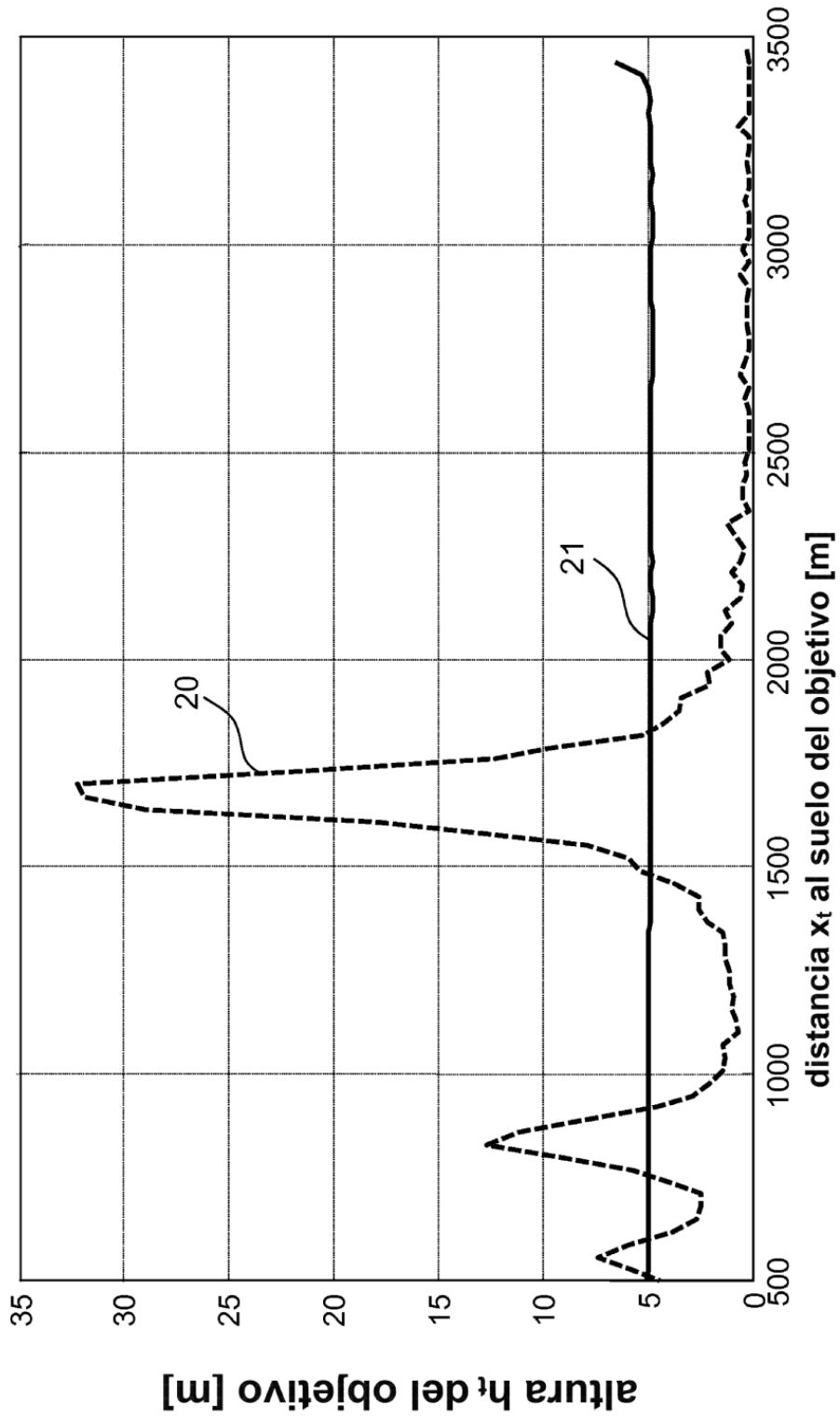


FIG.2