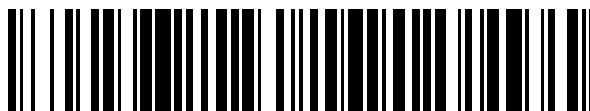


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 374 141**

51 Int. Cl.:
G01S 13/90 (2006.01)
G01S 13/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09170233 .2**
96 Fecha de presentación: **14.09.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2169428**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **31.03.2010**

54 Título: **MÉTODO PARA PROCESAR UNA SEÑAL DE ECO DE RADAR, QUE ES PROPORCIONADA POR UN OBJETIVO, PARA COMPENSAR EFECTOS DE DEGRADACIÓN EN DICHA SEÑAL DEBIDOS AL MOVIMIENTO DEL OBJETIVO.**

30 Prioridad:
26.09.2008 IT RM20080511

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.02.2012

73 Titular/es:
**MBDA ITALIA S.P.A.
VIA TIBURTINA KM 12.400
00131 ROMA, IT**

72 Inventor/es:
Battisti, Nicola

74 Agente: **Linage González, Rafael**

ES 2 374 141 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

Método para procesar una señal de eco de radar, que es proporcionada por un objetivo, para compensar efectos de degradación en dicha señal debidos al movimiento del objetivo.

5 La presente invención se refiere al campo técnico de sistemas de detección de radar y en particular se refiere a un método para procesar una señal de eco de radar, que es proporcionada por un objetivo, para compensar efectos de degradación en dicha señal debido al movimiento del objetivo. Un método de procesamiento de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 es divulgado en *Performance analysis of an ISAR contrast-based autofocusing algorithm using real data*, Martorella et al., Proceedings of the International Radar Conference 2003, Adelaida, Australia.

10 Es conocido que en los sistemas de radar el movimiento relativo entre el detector de radar y el objetivo es de tal manera que introduce efectos de degradación en la señal de eco de radar recibida (o "perfil de alcance"). De hecho, es conocido que tal movimiento relativo introduce borrosidad (una reducción del nivel de pico y un incremento del tamaño de los lóbulos laterales en el perfil de alcance). En particular, esto es debido al hecho de que el movimiento relativo entre el dispositivo de radar y el objetivo introduce tanto un desplazamiento Doppler como una modulación de fase residual en el perfil de alcance.

15 Los efectos de degradación descritos anteriormente tienen un impacto negativo (particularmente pero no exclusivamente) en el rendimiento o en los sistemas de radar de alta resolución, o en los sistemas de radar HRR (*High Range Resolution*), y más en particular el rendimiento de los llamados sistemas de radar de banda sintética. En este tipo particular de sistemas, obtener un perfil de alcance bien centrado y mantener la resolución deseable del perfil de alcance es de vital importancia.

20 La compensación de los efectos de degradación del perfil de alcance mencionados anteriormente por medio de técnicas de procesamiento basadas en maximizar la medida de contraste es conocida en la técnica anterior. Un ejemplo del método mencionado anteriormente está descrito por ejemplo en *Focusing of two-dimensional ISAR images by contrast maximization*, de F. Berizzi y G. Corsini, IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, 3 de julio de 1996.

25 El objeto de la presente invención es proveer de un método de compensación capaz de ofrecer rendimiento mejorado con respecto a los métodos de compensación de la técnica anterior, en particular con respecto a los métodos que usan la técnica de medidas de contraste de optimización.

30 Tal objeto se alcanza a través de un método de procesamiento para la compensación de efectos de degradación debido al movimiento de objetivo como se define en la reivindicación 1 adjunta en su realización más general y en las reivindicaciones dependientes en sus realizaciones detalladas.

35 También un detector de radar como se define en la reivindicación 9 adjunta forma un objeto de la presente invención.

Características y ventajas adicionales de la presente invención quedarán claras a partir de la descripción de sus realizaciones preferidas y no limitativas proporcionadas a continuación, en las que:

40 - la figura 1 representa un organigrama simplificado de un método de compensación, o método de centrado;

- la figura 2 representa un diagrama de bloque funcional de un dispositivo de radar que comprende un módulo para procesar la señal para compensar efectos de degradación debido al movimiento de objetivo;

45 - la figura 3 representa un detalle adicional de una parte del diagrama funcional del módulo para procesar la señal de la figura 1;

- la figura 4 representa algunos gráficos con relación a un perfil de alcance compensado que tiene un grado de centrado relativamente bajo;

50 - la figura 5 representa algunos gráficos con relación a un perfil de alcance compensado que tiene un grado de centrado mayor con respecto al perfil de alcance de la figura 4;

55 - la figura 6 representa un gráfico que perfila el desarrollo del módulo máximo de las derivadas de una señal de eco de radar compensada en función de diferentes valores de prueba seleccionados para la velocidad radial de objetivo que produjo la señal de eco de radar, bajo condiciones de relación señal/ruido relativamente altas;

60 - la figura 7 representa un gráfico que perfila el desarrollo del módulo máximo de las derivadas de una señal de eco de radar compensada en función de diferentes valores de prueba seleccionados para la velocidad radial de objetivo que produjo la señal de eco de radar, bajo condiciones de relación señal/ruido relativamente altas; y

65

- las figuras 8 y 9 muestran gráficos con relación a resultados experimentales en los que los rendimientos de un método de acuerdo con la presente invención son comparados con respecto a métodos de compensación basados en el método de maximización de contraste.

5 Elementos o partes de elementos en común entre las realizaciones descritas en lo sucesivo serán indicados usando los mismos números de referencia.

10 En referencia a las figuras mencionadas anteriormente, un método para procesar una señal de eco de radar, en lo sucesivo referido como "perfil de alcance", para compensar efectos de degradación, introducidos en dicha señal mediante movimiento de objetivo es indicado en su totalidad con 100. Para mayor brevedad, el método 100 de procesamiento mencionado anteriormente también será indicado en la presente descripción como un método 100 de compensación o método 100 de centrado.

15 Debería observarse que de acuerdo con la presente descripción el término "movimiento de objetivo" será usado generalmente para indicar un movimiento relativo entre el dispositivo de radar y un objetivo impactado por una señal de eco de radar transmitida por el dispositivo de radar. Tal movimiento puede ser debido, así, al movimiento de objetivo móvil con respecto a un dispositivo de radar fijo, debido al movimiento de un dispositivo de radar móvil con respecto a un objetivo fijo, así como debido al movimiento relativo entre un dispositivo de radar y un objetivo, siendo
20 ambos móviles.

En una realización particularmente ventajosa pero no limitativa, el método 100 de compensación comprende un paso 101 para reconstruir un perfil de alcance para ser compensado empezando a partir de una pluralidad de señales de eco de radar recibidas desde el dispositivo de radar, en respuesta a una pluralidad de señales transmitidas por el dispositivo de radar al objetivo de acuerdo con la llamada técnica de "paso de frecuencia". Es conocido que a través de este tipo de técnica es posible obtener un perfil de alcance de alta resolución, o perfil de alcance HRR (*High Range Resolution*), transmitiendo (a través del dispositivo de radar) una secuencia de pulsaciones en diferentes frecuencias de soporte y procesando adecuadamente las señales de eco de radar recibidas para combinarlas juntas con el fin de obtener una banda sintética ancha. Esta técnica tiene la ventaja de proveer perfiles de alcance de alta resolución que requieren una banda instantánea relativamente baja y, así, una frecuencia de muestra relativamente baja. La técnica de reconstrucción de perfil de alcance de alta resolución de acuerdo con el método de paso de frecuencia ya ha sido largamente considerada como parte del conocimiento técnico de un hombre experto en la técnica y, así, no será tratada adicionalmente en detalle en la presente descripción. Tal técnica es descrita por ejemplo en *Stepped frequency processing by reconstruction of target reflectivity spectrum*, de R. T. Lord y M. R. Ingss, Proceedings of the IEEE South Africa Symposium on Communication and Signal Processing Conference, 9-10 de septiembre de 1997.

40 Antes de profundizar en la descripción del método 100 de la figura 1, se considera adecuado tratar unas pocas cuestiones con relación al modelo usado para señales de radar transmitidas por un detector de radar y las señales reflejadas por un objetivo y recibidas por el detector de radar.

La señal transmitida, en la forma de envolvente compleja, por un detector de radar hacia un objetivo en caso de transmisión de acuerdo con el método de paso de frecuencia es una secuencia de N pulsaciones espaciadas en frecuencia y puede ser escrita en la forma:

$$s_T(t)_i = p(t) \cdot e^{j2\pi f_i t} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

en la que:

$$p(t) = A \cdot e^{j\pi k t^2} \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \quad (2)$$

50 y:

$$kT = B \quad (3)$$

55 en la que T representa la duración de tiempo de la pulsación y B representa el ancho de banda instantáneo de la pulsación.

Con relación a la descripción del problema referido a la compensación de los efectos de degradación introducidos mediante movimiento de objetivo en la señal de eco de radar recibido, analizando la señal de eco de radar devuelta desde una única pulsación se considera suficiente aquí y (para mayor simplicidad de la descripción) el índice i será

omitido de la expresión de la pulsación.

La señal de eco de radar reflejada por un objetivo y recibida en el detector de radar puede ser expresada como:

$$s_R(t) = s_T(t) \otimes \zeta(t) \quad (4)$$

5 en la que $\zeta(t)$ es la función de reflectividad del objetivo que expresa las propiedades de difusión del objetivo a una distancia R trazada en el dominio de tiempo $t=2R/c$.

Si el objetivo es comparable a un reflector único a distancia R desde el detector de radar se observa que:

$$10 \quad \zeta(t) = \sigma \cdot \delta\left(t - 2\frac{R}{c}\right) \quad (5)$$

por consiguiente:

$$s_R(t) = s_T(t) \otimes \zeta(t) = s(t)_T \otimes \left\{ \sigma \cdot \delta\left(t - 2\frac{R}{c}\right) \right\} = \sigma \cdot s\left(t - 2\frac{R}{c}\right)_T \quad (6)$$

15 Así puede observarse que la señal recibida $s_R(t)$ es una copia retrasada de la señal transmitida y su amplitud depende de las características de difusión del objetivo a través del coeficiente complejo σ .

En las llamadas técnicas de alta resolución, o técnicas HRR, el objetivo puede estar caracterizado como una pluralidad de puntos de difusión, por consiguiente el modelo discreto de la señal de eco de radar recibida en caso de puntos de difusión NR es:

$$20 \quad \zeta(t) = \sum_{i=1}^{NR} \sigma_i \cdot \delta\left(t - 2\frac{R_i}{c}\right) \quad (7)$$

Para mayor simplicidad el problema con respecto a la compensación de movimiento en caso de un único reflector será tratado adicionalmente en lo sucesivo.

25 La ley cinemática de dispositivo/objetivo de radar puede ser expresada, cuando la duración de la pulsación recibida es relativamente breve, por medio de un polinomio de segundo orden:

$$R(t) = R0 + VR \cdot t + \frac{1}{2} \cdot AR \cdot t^2 \quad (8)$$

30 en el que R0 es la distancia inicial entre objetivo y dispositivo de radar, VR es la velocidad radial de objetivo con respecto al dispositivo de radar y AR es la aceleración radial del objetivo con respecto al dispositivo de radar. El retraso asociado a la señal de eco de radar recibida por el detector de radar puede ser expresado como:

$$\frac{c}{2} \tau(t) = R(t) \Rightarrow \tau(t) = \frac{2}{c} R(t) = \frac{2}{c} R0 + \frac{2}{c} VR \cdot t + \frac{1}{c} AR \cdot t^2. \quad (9)$$

35 En anotación compacta, la señal transmitida puede ser expresada como:

$$s_T(t) = e^{j\varphi(t)} \cdot e^{j\psi(t)} \cdot w(t)$$

$$\varphi(t) = 2\pi f_0 t$$

$$\psi(t) = \pi k t^2 \quad (10)$$

$$w(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right)$$

por consiguiente la señal de eco de radar devuelta desde el objetivo puede ser expresada como:

$$s_R(t) = s(t - \tau(t))_T = \sigma \cdot e^{j\varphi(t-\tau(t))} \cdot e^{j\psi(t-\tau(t))} \cdot w(t - \tau(t)). \quad (11)$$

- 5 Después de unos pocos pasos matemáticos, ignorando los términos t de tercer y cuarto orden en la función $\psi(t-\tau(t))$, se observa que:

$$\psi(t - \tau(t)) \cong \pi k (t - \tau_0)^2 + \pi k \left(\left(\frac{4}{c^2} R0 \cdot AR - \frac{4}{c} VR \right) \cdot t^2 + \frac{8}{c^2} R0 \cdot VR \cdot t \right)$$

$$\varphi(t - \tau(t)) = 2\pi f_0 (t - \tau_0) - \frac{4}{c} \cdot \pi f_0 VR t - \frac{2}{c} \cdot \pi f_0 AR t^2 \quad (12)$$

$$\tau_0 = \frac{2}{c} R0$$

Definiendo la función $\alpha(t, R0, VR, AR)$ dependiendo de los parámetros R0, VR, AR como:

$$10 \quad \alpha(t, R0, VR, AR) = -\frac{4}{c} \cdot \pi f_0 VR t - \frac{2}{c} \cdot \pi f_0 AR t^2 + \pi k \left(\left(\frac{4}{c^2} R0 \cdot AR - \frac{4}{c} VR \right) \cdot t^2 + \frac{8}{c^2} R0 \cdot VR \cdot t \right) \quad (13)$$

La señal recibida puede ser expresada como:

$$s(t)_R \cong A \cdot e^{j\varphi(t-\tau_0)} \cdot e^{j\psi(t-\tau_0)} \cdot e^{j\alpha(t, R0, VR, AR)} \cdot w(t - \tau_0) = A \cdot p(t - \tau_0) \cdot e^{j\alpha(t, R0, VR, AR)} \quad (14)$$

- 15 Por consiguiente usando la definición de la función $\zeta(t)$ de reflectividad de objetivo se observa que:

$$s(t)_R \cong [p(t) \otimes \zeta(t)] \cdot e^{j\alpha(t, R0, VR, AR)}$$

$$\zeta(t) = A \cdot \delta\left(t - \frac{2R0}{c}\right) \quad (15)$$

$$\tau_0 = \frac{2R0}{c}$$

- 20 La expresión previa muestra que el movimiento con respecto al dispositivo de radar de un objetivo comparable a un único reflector introduce tanto un eje Doppler, lineal con respecto al tiempo, como una modulación de fase cuadrática con respecto al tiempo. Los efectos de degradación introducidos por movimiento de objetivo son representados por el término $e^{j\alpha(t, R0, VR, AR)}$, o factor de degradación, que depende (a través de la función $\alpha(t, R0, VR, AR)$, o coeficiente de degradación) de los parámetros R0, VR, AR de movimiento desconocidos del objetivo.

Un método de compensación tendrá, así, que cancelar el factor de degradación desde la señal de eco de radar, o perfil de alcance, recibido. Sin embargo, con el fin de cancelar tal efecto, se requiere una estimación del coeficiente de degradación $\alpha(t, R0, VR, AR)$ y, así, el valor de los parámetros $R0, VR, AR$ de movimiento de objetivo desconocidos.

En aras de la simplicidad, el método 100 de compensación (que será descrito en lo sucesivo) se referirá particularmente, y sin introducir en absoluto limitaciones, a la compensación del perfil de alcance recibido llevado a cabo de acuerdo con sólo un parámetro de movimiento de objetivo, y en particular de acuerdo con la velocidad radial VR. Debería sin embargo tenerse en cuenta que las divulgaciones de la presente descripción pueden ser extendidas fácilmente por un experto en la técnica a métodos de compensación que consideran varios o todos los parámetros de movimiento de objetivo incluso aunque se ha observado que la aceleración radial AR del objetivo introduce típicamente en la función $\alpha(t, R0, VR, AR)$ una contribución que podría ser ignorada en la mayoría de las aplicaciones prácticas. Así, en tales casos, la compensación de los efectos introducidos por la aceleración radial AR del objetivo puede ser superflua.

Además, debería observarse que en un perfil de alcance de alta resolución, o perfil de alcance HRR, cada punto de difusión del objetivo tiene su propio conjunto de parámetros $R0, VR, AR$ pero (en la práctica) la compensación de movimiento basada en el movimiento del baricentro del objetivo puede ser suficiente, dado que las variaciones VR y AR en el objetivo son insignificantes.

En lo sucesivo, se hará referencia, sin ninguna limitación introductoria en absoluto, al caso en el que el método 100 es concebido para compensar los efectos de degradación introducidos en el perfil de alcance por sólo un parámetro de movimiento de objetivo, tal como por ejemplo la velocidad radial VR.

En referencia a la figura 1, el método 100 comprende los pasos de:

- determinar 102-106 el valor de al menos un parámetro de movimiento de objetivo seleccionando, de entre una pluralidad de valores de prueba posibles, un valor que maximiza un funcional definido sobre la señal de eco de radar;

- realizar una corrección 107 de dicha señal de eco de radar basada en el valor que es determinado por al menos un parámetro de movimiento.

En particular, el funcional usado en el método 100 de compensación en el paso determinante 102-106 mencionado anteriormente es la derivada de tiempo de dicha señal de eco de radar o una función dependiente de dicha derivada.

Antes de profundizar en la descripción del método 100 de compensación, se considera adecuado señalar que la elección particular del funcional mencionada anteriormente es debida al hecho de que el solicitante observó que una señal de eco de radar o perfil de alcance bien compensada, es decir bien centrada, tiene una derivada con mayor amplitud, en términos de módulo, con respecto a la derivada de la misma señal de eco de radar cuando la última es compensada de manera no ideal. En otras palabras, el solicitante observó que la derivada de tiempo del perfil de alcance contiene información sobre el grado de centrado del perfil de alcance.

La figura 4 muestra un perfil 400 de alcance compensado (de acuerdo con un VR solo) con un valor de velocidad radial diferente de la velocidad radial real VR del objetivo. El eje de la abscisa representa el eje de los tiempos normalizado en la distancia. En el ejemplo, el perfil 400 de alcance considera un objetivo que tiene dos puntos de difusión, cada uno dispuesto a una distancia de 1,5 m del baricentro de objetivo, una velocidad radial real VR de 500 m/s, una aceleración radial real AR de $9,8 \text{ m/s}^2$ y una distancia radial real R0 desde el dispositivo de radar equivalente a 1276,5 m. La compensación fue llevada a cabo asumiendo que la velocidad radial de objetivo es equivalente a 481 m/s. En la figura 4 fue usada la referencia 402 para indicar el gráfico de la derivada de tiempo del perfil 400 de alcance y la referencia 401 fue usada para indicar el gráfico del módulo de la derivada 402 de tiempo.

La figura 5 en cambio muestra un perfil 500 de alcance compensado (de acuerdo con el VR solo) con un valor de velocidad radial equivalente a la velocidad radial real VR del objetivo. En el ejemplo, el perfil 500 de alcance considera un objetivo que tiene dos puntos de difusión, una velocidad radial real VR de 500 m/s, una aceleración radial real AR de $9,8 \text{ m/s}^2$ y una distancia radial inicial R0 desde el dispositivo de radar equivalente a 1276,5 m. La compensación fue llevada a cabo estableciendo (en el algoritmo de compensación) una velocidad radial VR del objetivo equivalente a 500 m/s. En la figura 5, la referencia 502 fue usada para indicar un gráfico de la derivada de tiempo del perfil 500 de alcance y la referencia 501 fue usada para indicar el gráfico del módulo de la derivada 502 de tiempo.

Comparando las figuras 4 y 5 se puede observar cómo la amplitud máxima, en términos de módulo, de la derivada de tiempo del perfil de alcance bien compensada, es decir bien centrada, es considerablemente mayor con respecto a la amplitud máxima, en términos de módulo, de la derivada de tiempo del perfil de alcance pobremente compensado.

Comparando las figuras 4 y 5 también se puede observar que los dos picos correspondientes a los dos reflectores son claramente distinguibles en el caso del perfil de alcance de la figura 5.

5 En referencia a la figura 1, en una realización particularmente ventajosa, la fase 102-106 mencionada anteriormente de determinar el valor de al menos un parámetro de movimiento (en este ejemplo, sin introducir ninguna limitación, el valor de la velocidad radial VR) comprende los pasos de:

10 - corregir (102) la señal de eco de radar basada en cada uno de los valores VR_1, \dots, VR_N de prueba que pertenece a dicha pluralidad de valores VR_1, \dots, VR_N de prueba para obtener una pluralidad de señales correctas correspondientes, cada una estando asociada a un valor VR_1, \dots, VR_N de prueba;

- computar (103) la derivada de tiempo, o una función de dicha derivada, de cada una de dichas señales corregidas;

15 - computar (104) para cada una de dichas derivadas, o cada una de dichas funciones de la derivada, el módulo máximo respectivo obteniendo, así, una pluralidad de módulos máximos, cada uno de estos estando asociado a un valor VR_1, \dots, VR_N de prueba respectivo de al menos dicho parámetro de movimiento;

20 - seleccionar (106) de entre dichos valores VR_1, \dots, VR_N de prueba el valor de prueba al que está asociado el módulo de dicha pluralidad de módulos máximos que tiene valor máximo.

La figura 6 muestra un gráfico 600, en función de las diferentes velocidades radiales VR_1, \dots, VR_N de prueba para las que el paso 102 de corrección, de los diferentes módulos máximos de las derivadas obtenidas siguiendo los pasos 102, 103, 104, fue llevado a cabo aplicando el método de compensación a un perfil de alcance con respecto a un único punto de difusión en el objetivo, en el que el parámetro de prueba que representa el movimiento de alcance es la velocidad radial VR. El ejemplo se refiere al caso en el que la velocidad radial de objetivo real es equivalente a 500 m/s y en el que la relación ruido/señal del perfil de alcance recibida es relativamente alta, en el ejemplo equivalente a 10 dB. En el paso 106 de selección el valor de prueba VR en el que la curva de la figura 6 tiene su valor máximo es seleccionado de entre una pluralidad de los diferentes valores VR_1, \dots, VR_N de prueba. Tal valor es usado para la corrección final en el perfil de alcance reconstruido en el paso 101 realizado en el paso 107 del método 100, dirigido a cancelar los efectos del factor de degradación sujeto a la fórmula (10).

En el gráfico de la figura 7 está representada una curva 700 análoga al gráfico de la figura 6, obtenida bajo las mismas condiciones y usando el mismo método del gráfico de la figura 6 excepto por el hecho de que en este caso se asumió una relación señal/ruido relativamente baja, equivalente a -5db en el ejemplo.

Como se puede observar, mientras que la determinación del máximo del gráfico 600 de la figura 6 es una estimación que puede ser llevada a cabo con una variación relativamente baja, en condiciones de relación señal/ruido relativamente baja, la determinación del máximo de la curva 700 es una estimación caracterizada por una variación alta.

En referencia a la figura 1, en una realización particularmente ventajosa, está preferentemente provisto en el método 100 de centrado, un paso adicional 105, llevado a cabo después de los pasos 103-104 (cálculo de las derivadas de perfiles de alcance corregidas en función de los diferentes valores VR_1, \dots, VR_N de prueba del parámetro de movimiento y la obtención de los módulos máximos de dichas derivadas) y antes del paso 106 (selección del valor de prueba que maximiza el módulo máximo), de interpolar (o "encajar") la pluralidad de módulos máximos, obteniendo una pluralidad de módulos máximos interpolados estando asociado cada uno de ellos a un valor VR_1, \dots, VR_N de prueba respectivo de dicho parámetro de movimiento. En este caso, el paso 106 de selección es llevado a cabo de tal manera que selecciona (de entre los valores VR_1, \dots, VR_N de prueba posibles) el valor de prueba al que está asociado el módulo de dicha pluralidad de módulos máximos interpolados que tienen valor máximo. En la figura 7 la línea punteada 701 se usa para indicar una curva que interpola los valores de la curva 700. En la práctica, en esta realización, se selecciona en el paso 106 el valor VR de prueba en el que la curva de los módulos máximos interpolados 701 tiene su máximo.

55 Observando la figura 7 está claro que la curva interpolada 701 de los módulos máximos tiene un valor máximo más fácil de localizar con respecto al máximo de curva 700 y que está más cerca del valor real de la velocidad radial real de objetivo (en el ejemplo equivalente a 500 m/s).

60 Preferentemente, la interpolación llevada a cabo en el paso 105 es llevada a cabo por medio de un polinomio, de acuerdo con el método de cuadrado mínimo. Más preferentemente, el polinomio de interpolación es un polinomio de segundo orden. Sin embargo, en el caso de perfiles de alcance que tienen un desarrollo más complejo es posible usar polinomios que tienen un grado mayor que el segundo orden.

65 Para probar el rendimiento del método 100 de compensación del tipo descrito antes, el solicitante llevó a cabo simulaciones Monte-Carlo para evaluar la derivación estándar en la estimación de la velocidad radial VR en el caso de un reflector único o un reflector doble, en variación de la relación señal/sonido del perfil de alcance recibida en el

detector de radar. Los resultados obtenidos fueron comparados con los resultados obtenidos en las mismas condiciones por un método de compensación primero y segundo en el que los funcionales que han de ser maximizados para centrar el perfil de alcance son respectivamente una medida de contraste primera y segunda, diferentes una de otra.

5 Los gráficos con relación a las simulaciones en el caso del reflector único y reflector doble están respectivamente indicados en las figuras 8 y 9, perfilados en lo que es la desviación estándar (eje de ordenadas) en la estimación del parámetro de movimiento desconocido (velocidad radial V_r) en variación de la relación señal/ruido (eje de abscisa) en la pulsación única para:

10 - un método 100 de compensación del tipo descrito antes, en el que no se lleva a cabo el paso 106 de módulos máximos de interpolación (curva 801, curva 901);

15 - un método de compensación del tipo descrito antes 100, en el que se lleva a cabo el paso 106 de módulos máximos de interpolación (curva 802, curva 902);

- un método de compensación de la técnica anterior basado en la maximización de una medida de contraste primera (curva 803, curva 904);

20 - un método de compensación de la técnica anterior basado en la maximización de una medida de contraste segunda (curva 804, curva 903);

Como se observa de los resultados del experimento de los gráficos en las figuras 8 y 9, un método 100 de compensación del tipo descrito antes permite plenamente alcanzar los objetos presentes.

25 En referencia a las figuras 2 y 3 seguida está la descripción de una realización particular actualmente preferida, pero no limitativa, de un detector 200 de radar, o (brevemente) dispositivo 200 de radar, adaptada para implantar un método 100 de compensación del tipo descrito antes. Tal dispositivo puede ser usado en aplicaciones civiles o militares sin distinción.

30 En referencia a la figura 2, el dispositivo 200 de radar incluye un sintetizador 201 de señal adaptado para proporcionar (a la salida) que la señal de radar sea transmitida S_t , y adaptado para proporcionar (a la salida) dos señales OL1, OL2 de oscilador local respectivamente para la conversión de la señal S_{rx} de eco de radar recibida en frecuencia intermedia y para la conversión coherente de la señal de eco de radar convertida en frecuencia intermedia en banda de base, con la extracción del componente en fase I y el componente en cuadratura Q, es decir para desmodulación coherente.

35 El dispositivo 200 de radar comprende además un módulo 202 de transmisión de frecuencia de radio adaptado para recibir (a la entrada) la señal S_t que viene del sintetizador 201 de señal para proporcionar (a la salida) una señal S_{tx} de frecuencia de radio que se transmite hacia un objetivo. El dispositivo 200 de radar comprende además un circulador 203 y una antena 204 adaptados para recibir (a la entrada) la señal S_{tx} de frecuencia de radio para irradiar tal señal en el espacio libre.

45 La rama superior de la figura 2 represente esquemáticamente la cadena de recepción de las señales de eco de radar reflejadas por un objetivo y recibida por el dispositivo 200 de radar a través de la antena 204.

50 En la rama superior, a través del circulador 203, la antena 203 está conectada a un amplificador 204, preferentemente del tipo de ruido bajo, y un filtro 205 de paso de banda primero. En la figura 2 la parte del diagrama encerrado en el cuadrado 210 representa la porción de frecuencia de radio de la cadena de recepción.

55 La salida de señal de eco de radar desde la porción 210 de frecuencia de radio se convierte en una señal de frecuencia intermedia, por medio de la señal de reloj del oscilador local OL1. En el dispositivo 200 de radar está provisto adicionalmente un segundo filtro 206 de paso de banda adaptado para recibir (a la entrada) la señal de eco de radar convertida en frecuencia intermedia y un desmodulador 212 para desmodulación coherente de tal señal, es decir para extraer desde la salida de señal del filtro 206 de paso de banda el componente en fase I y el componente en cuadratura Q, usando respectivamente el oscilador local OL2 proporcionado a la salida del sintetizador 201 de señal y una versión cambiada de la señal OL2 cambiada por medio de un cambiador 207 de fase. Los bloques 208 representan dos filtros de paso de banda, uno para filtrar el componente en fase I y el otro para filtrar el componente en cuadratura Q. También están provistos en el dispositivo 200 dos convertidores análogo/digital 209 para el muestreo y cuantización de la salida de señales desde los filtros 208 de paso de banda.

60 Todavía en referencia a la figura 2 el dispositivo 200 de radar también comprende un procesador 300 de señal digital adaptado para recibir la salida de muestras digitales desde los convertidores analógico/digital 209, que representan la señal de eco de radar recibida, soportado en la banda de base y digitalizado. El procesador digital 300 de señal se obtiene en la práctica por medio de una combinación adecuada de componentes de equipo físico informático y equipo lógico informático. Por ejemplo, se puede obtener por medio de un DSP, un FPGA o por medio de otros

medios de equipo físico informático/equipo lógico informático de procesador digital de señal.

El procesador digital 300 de señal es de tal manera que procesa la señal de eco de radar digitalizada con el fin de extraer información útil para localizar y/o identificar el objetivo.

5 El diagrama funcional de la porción del procesador digital 300 de señal concebido para implantar el método 100 de compensación descrito previamente en referencia a la figura 1 se representa en la figura 3. En tal figura, el módulo 301 de procesamiento es un módulo opcional que representa el módulo destinado a reconstruir la banda sintética y es de tal manera que lleva a cabo el paso 101 de procesamiento, opcional, ya descrito previamente en referencia a la figura 1.

15 El procesador digital 300 de señal comprende además un módulo 302 de corrección, adaptado para cancelar desde la señal de eco de radar recibida los efectos del factor de degradación, dependiendo del coeficiente de degradación α , sujeto a la fórmula (15). En el ejemplo se asume (para mayor simplicidad) que tal corrección se lleva a cabo sólo haciendo referencia a la velocidad radial VR. Por esta razón, se corrige la señal de eco de radar digitalizada (esto corresponde al paso 102 del método 100, ya descrito en referencia a la figura 1) con una pluralidad de valores VR_1, \dots, VR_N para obtener una pluralidad de señales de eco de radar corregidas, recibidas desde un módulo 303 para determinar la derivada de tiempo de cada uno de tales señales de eco de radar corregidas. En el procesador 300, el módulo 304 se concibe para identificar el módulo máximo de cada una de tales derivadas. Preferentemente, está provisto adicionalmente un módulo 305 de interpolación hecho para interpolar (correspondiendo al paso 105 del método 100, ya descrito en referencia a la figura 1) los módulos máximos producidos a la salida del módulo 304 de procesamiento. Está provisto adicionalmente un módulo 306 de procesamiento adecuado para seleccionar de entre diferentes valores VR_1, \dots, VR_N de prueba de la velocidad radial, el valor al que corresponde, es decir al que está asociado, el máximo de los módulos máximos a la salida del módulo 304 de procesamiento (módulos máximos no interpolados) o el máximo de los módulos máximos a la salida del módulo 305 de interpolación (módulos máximos interpolados).

20 Por último, se envía el valor VR seleccionado por el módulo 306 de procesamiento al módulo 302 de corrección, para la compensación final de la señal de eco de radar, como se muestra mediante el trayecto 307, 302, 308 con el fin de proporcionar (a la salida) una señal de eco de radar Sf centrada, o perfil de alcance.

35 Aunque se han descrito algunos ejemplos específicos, un experto en la técnica, con el objetivo de alcanzar requerimientos contingentes y específicos, puede realizar varias modificaciones y variantes en el método y dispositivo de radar descrito antes, cayendo todas dentro del ámbito de la invención como se define mediante las siguientes reivindicaciones.

40 Por ejemplo, quedará claro que, en caso de que el método 100 de compensación sea llevado a cabo de acuerdo con dos parámetros de movimiento de objetivo, por ejemplo de acuerdo con la velocidad radial VR y de acuerdo con la aceleración radial AR, los valores de prueba usados para el sujeto de corrección en el paso 102 representan pares (AR_j, VR_k) de tales parámetros, con $j=1, \dots, N$ y $k=1, \dots, M$, en el que N y M son dos números enteros.

El mismo caso se puede aplicar fácilmente al caso en el que los parámetros de movimiento a ser considerados en el método de compensación son más de dos.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método (100) de procesamiento de una señal de eco de radar, que es proporcionada por un objetivo, con el fin de compensar efectos de degradación introducidos en dicha señal por movimiento de objetivo, comprendiendo el método (100) los siguientes pasos:
- 5
- determinar (102-106) el valor de al menos un parámetro de movimiento de objetivo, seleccionando de entre una pluralidad de valores (VR_1, \dots, VR_N) de prueba posibles un valor (VR), que maximiza un funcional definido sobre la señal de eco de radar,

10

 - realizar una corrección (107) de señal de eco de radar, basada en dicho valor (VR), que está determinado por al menos un parámetro de movimiento;
- caracterizado porque dicho funcional es la derivada de tiempo de la señal de eco de radar, o una función dependiente de dicha derivada.
- 15
- 2.- Un método (100) de procesamiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el paso (102-106) de determinación del valor (VR) de al menos un parámetro de movimiento comprende los siguientes pasos:
- 20
- a) corregir (102) la señal de eco de radar basada en cada valor de prueba de dicha pluralidad de valores VR_1, \dots, VR_N con el fin de obtener una pluralidad de señales corregidas correspondientes, cada una de ellas estando asociada a un valor de prueba respectivo;
 - b) computar (103) la derivada de tiempo, o una función de dicha derivada, de cada una de dichas señales corregidas;

25

 - c) computar (104), para cada una de dichas derivadas, o dichas funciones de la derivada, el módulo máximo respectivo, con el fin de proveer de una pluralidad de módulos máximos, cada uno asociado a un valor de prueba respectivo de al menos un parámetro de movimiento;

30

 - d) seleccionar (106) de entre dichos valores de prueba, el valor de prueba al que el módulo que tiene un valor máximo entre dicha pluralidad de módulos máximos está asociado.
- 35
- 3.- Un método (100) de procesamiento de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende además, entre el paso (104) de computación c) y el paso (106) de selección d), un paso (105) de interpolación e) de dicha pluralidad de módulos máximos, proporcionando una pluralidad de módulos interpolados máximos, cada uno asociado a un respectivo valor VR_1, \dots, VR_N de prueba de dicho parámetro de movimiento, y en el que dicho paso (106) de selección d) es de tal manera que selecciona, entre dichos valores VR_1, \dots, VR_N de prueba, el valor de prueba, al que está asociado el módulo que tiene un valor máximo, entre dicha pluralidad de módulos máximos interpolados.
- 40
- 4.- Un método (100) de procesamiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el paso (105) de interpolación e) se realiza por medio de un polinomio, de acuerdo con al menos criterio de cuadrados.
- 45
- 5.- Un método (100) de procesamiento de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el polinomio es un polinomio de segundo orden.
- 50
- 6.- Un método (100) de procesamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el al menos un parámetro de movimiento de objetivo es la velocidad radial.
- 55
- 7.- Un método (100) de procesamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la señal de eco de radar es una señal de banda sintética, proporcionada por medio de una técnica de paso de frecuencia.
- 60
- 8.- Un método (100) de procesamiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la señal de eco de radar es una entre una pluralidad de señales de eco de radar, proporcionada por el objetivo, cada una correspondiendo a un punto de difusión respectivo en el objetivo, y en el que dicha señal de eco de radar, procesada por dicho método, corresponde al baricentro de dicho objetivo.
- 65
- 9.- Dispositivo (200) de detección de radar que comprende un módulo (300) de procesamiento digital adaptado para realizar un método (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
- 10.- Producto de ordenador que comprende porciones de código de equipo lógico informático, que puede ser cargado directamente en memoria de un ordenador, adaptado para realizar un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

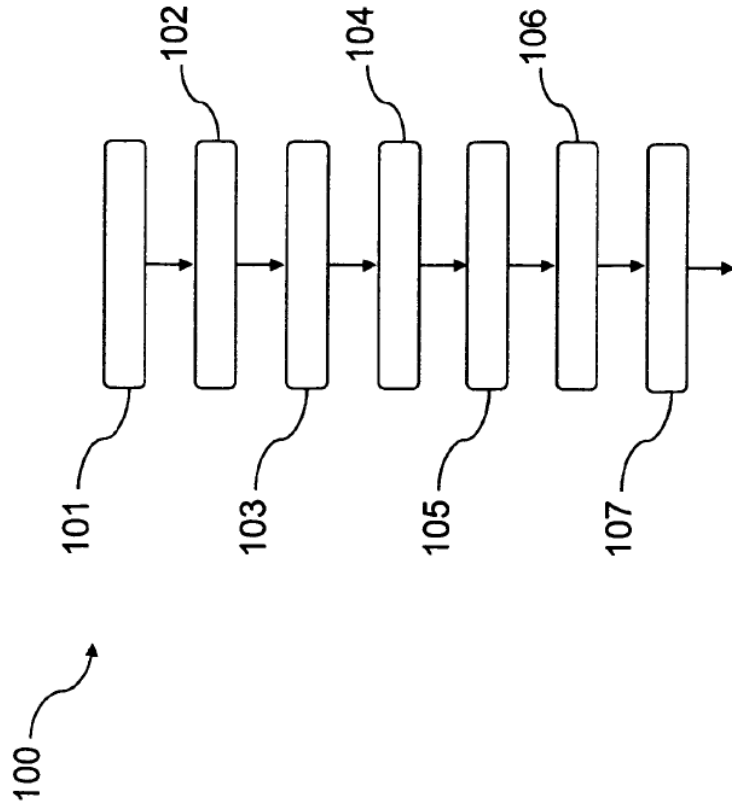


FIG. 1

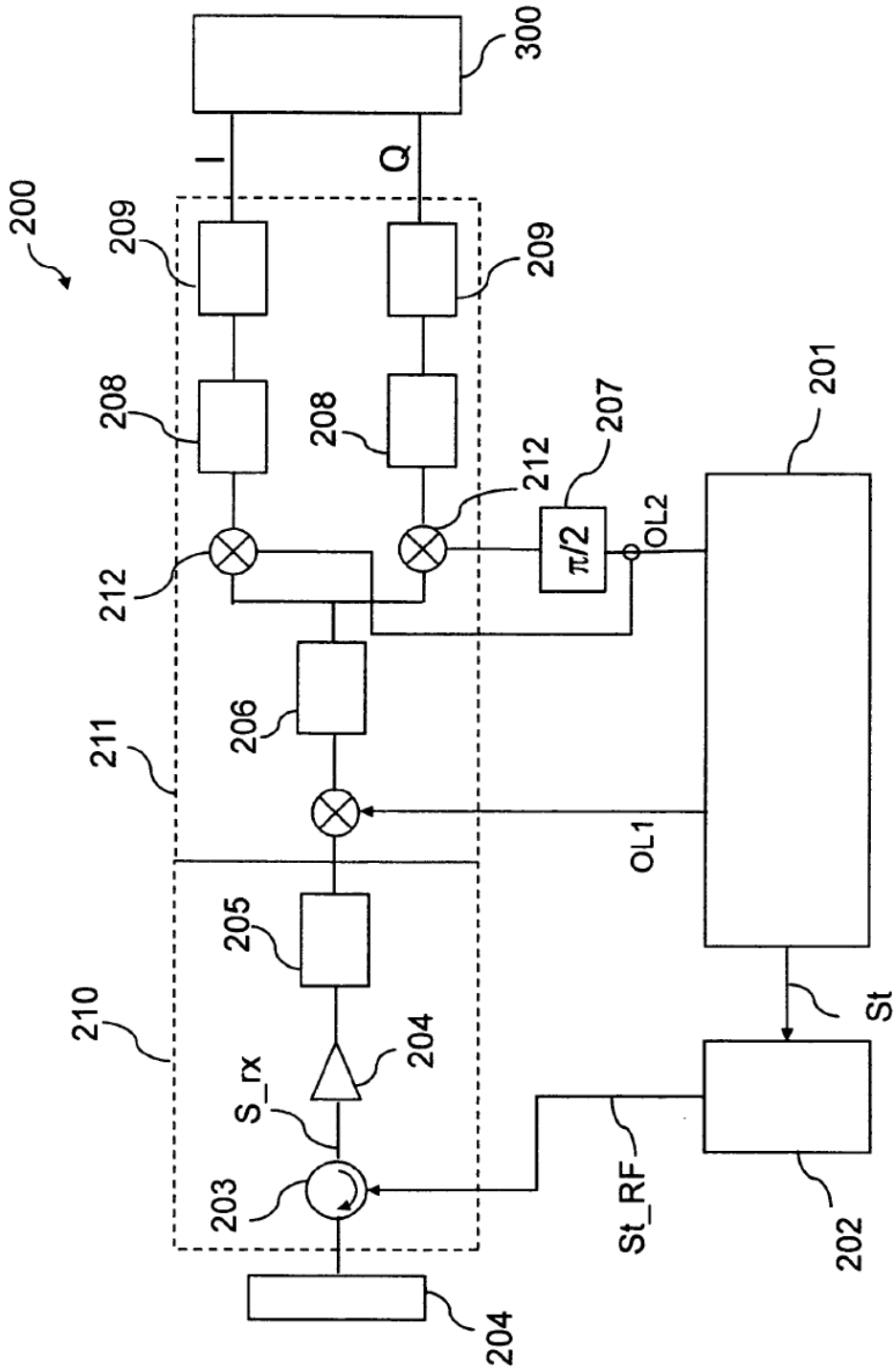


FIG. 2

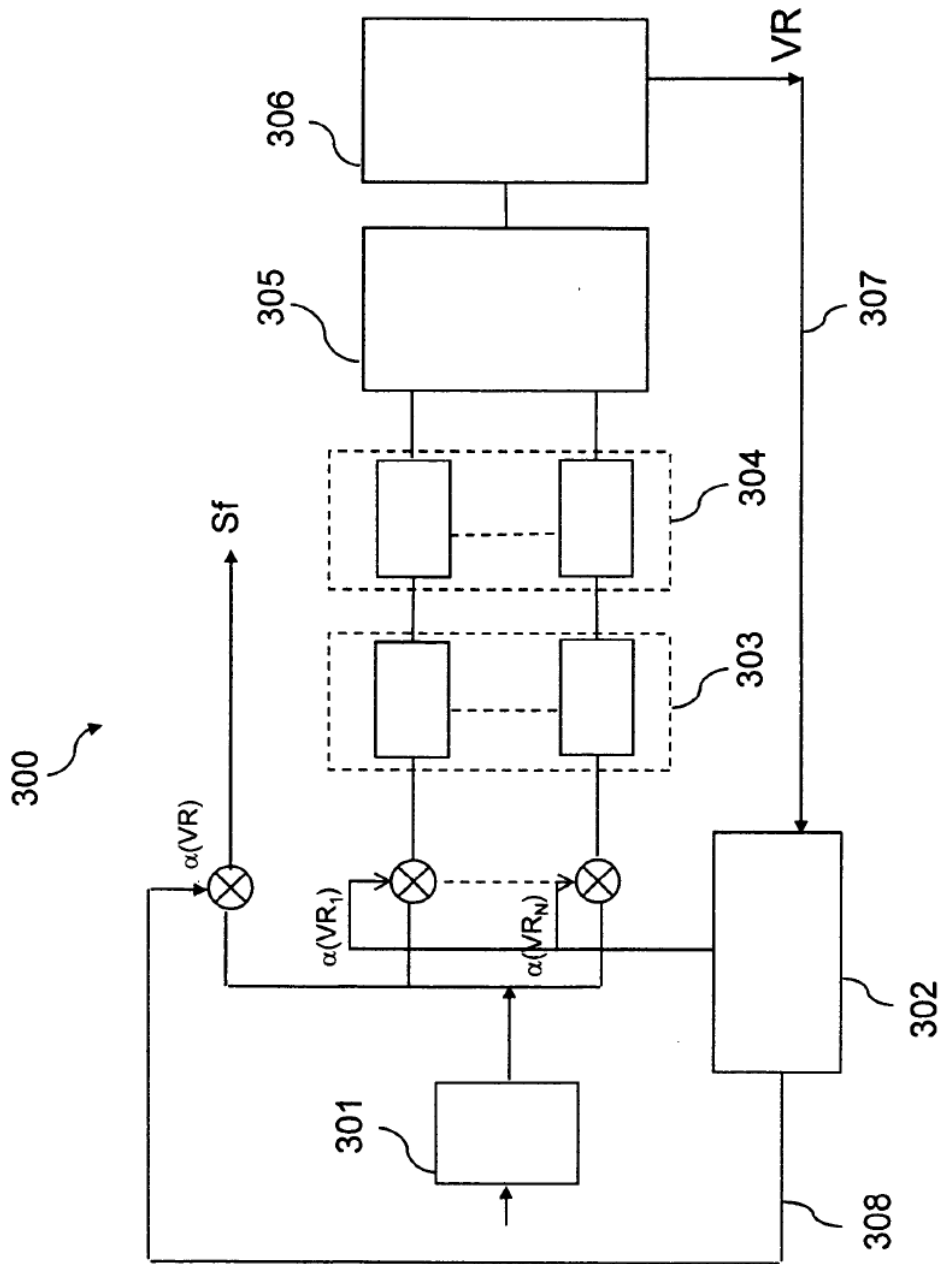


FIG. 3

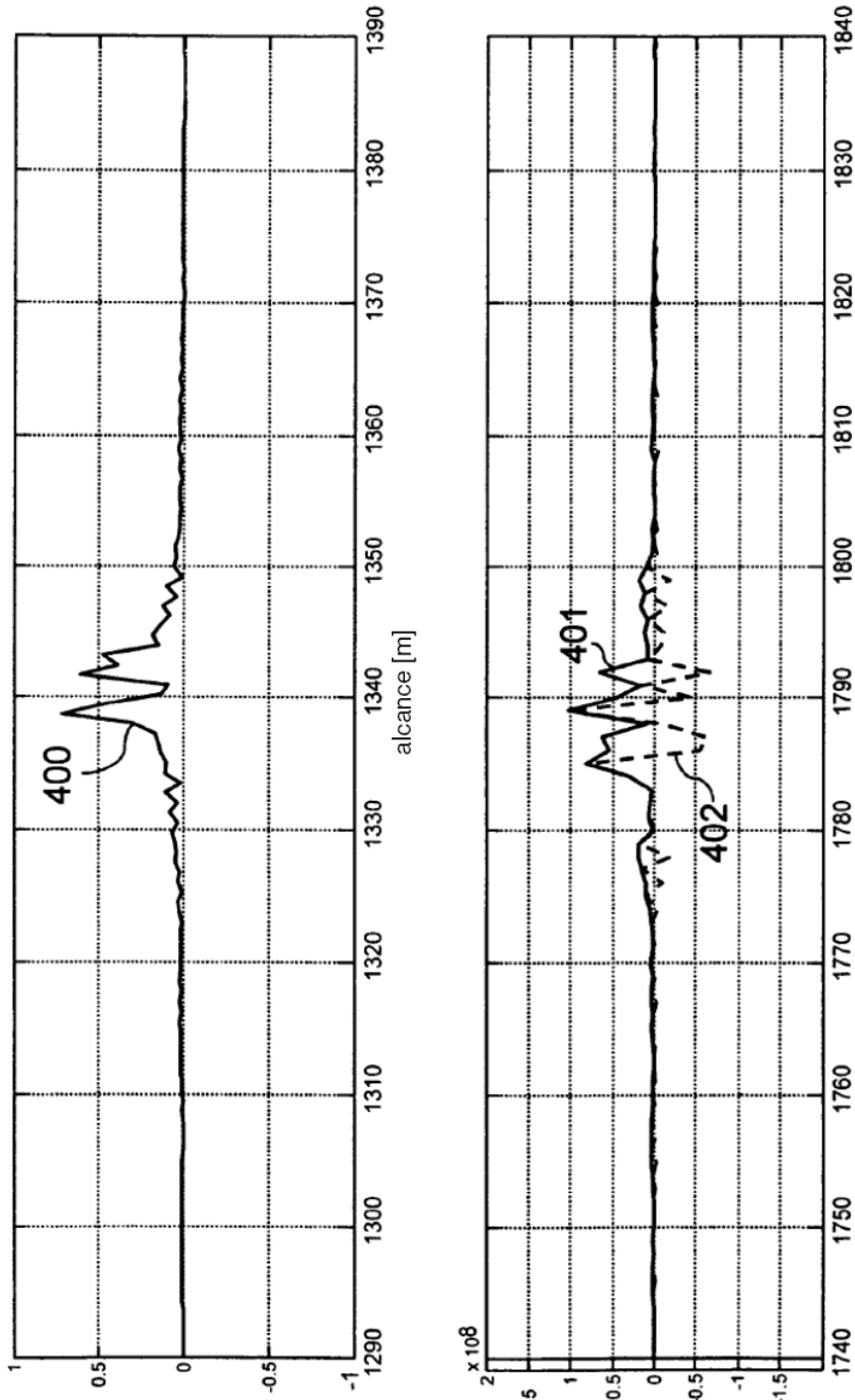


FIG. 4

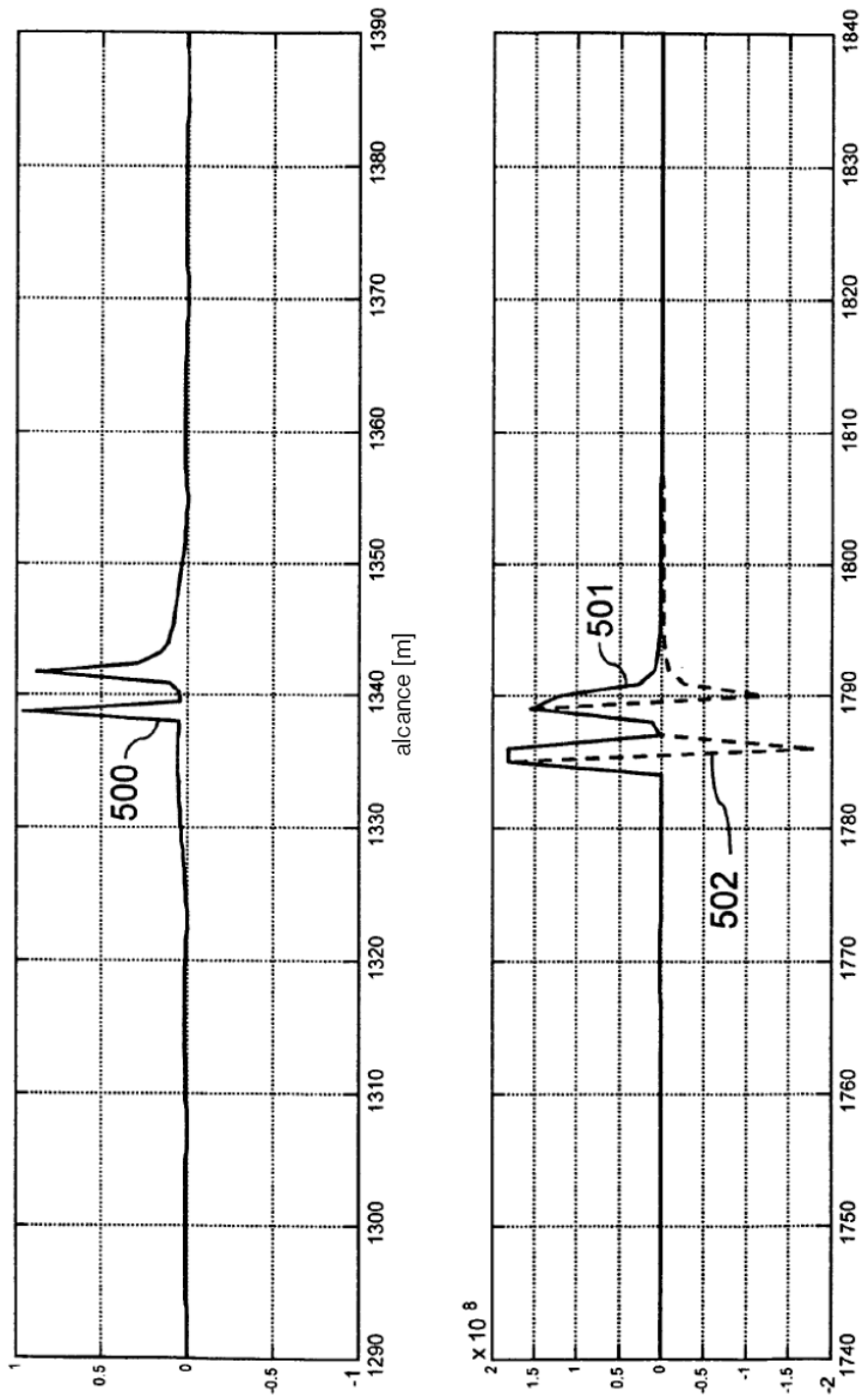


FIG. 5

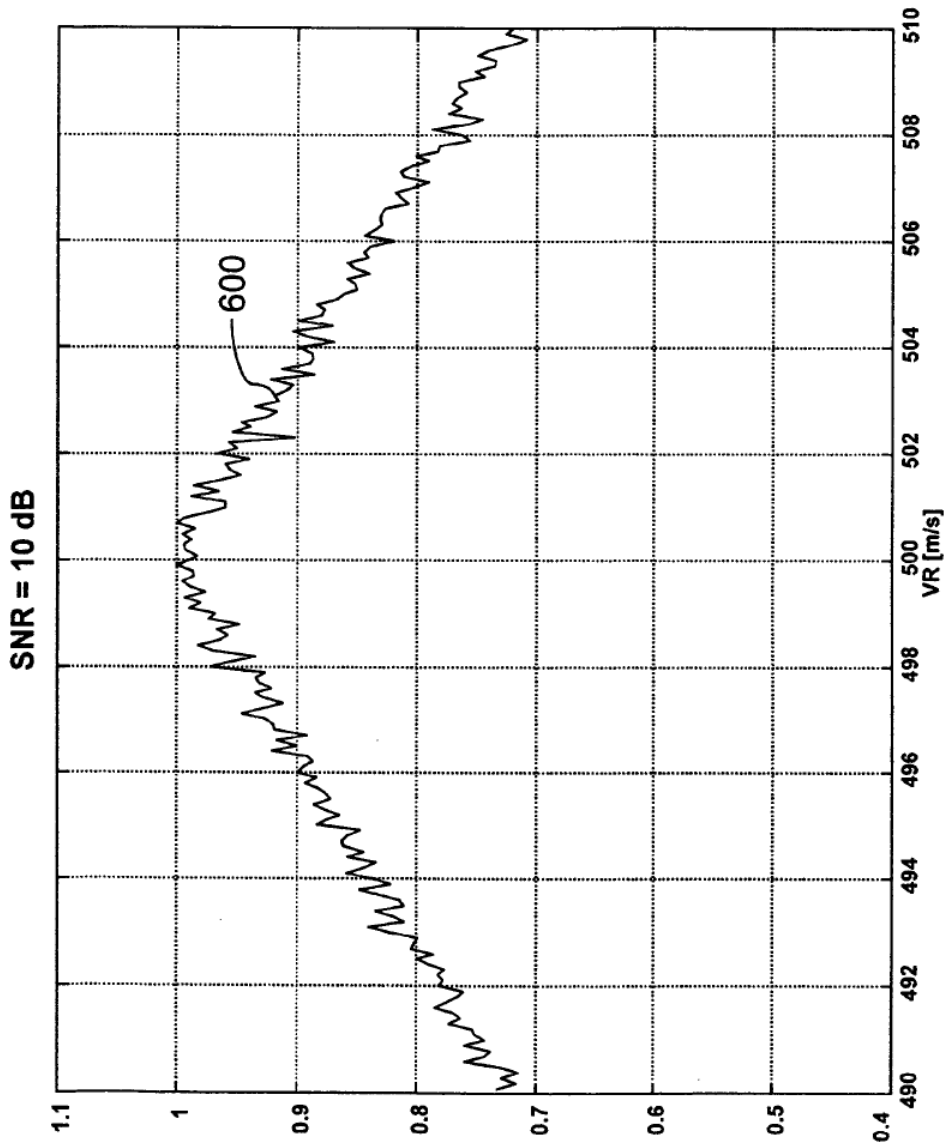


FIG. 6

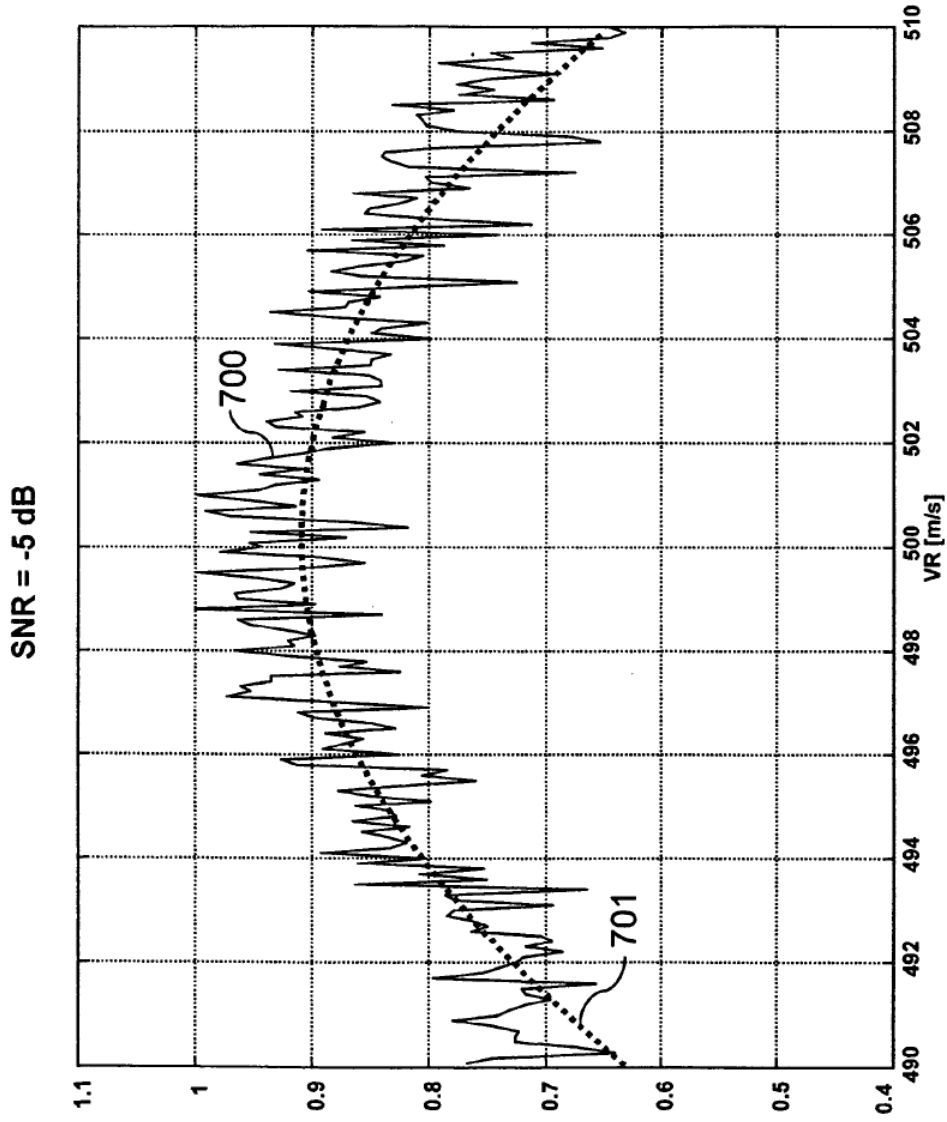


FIG. 7

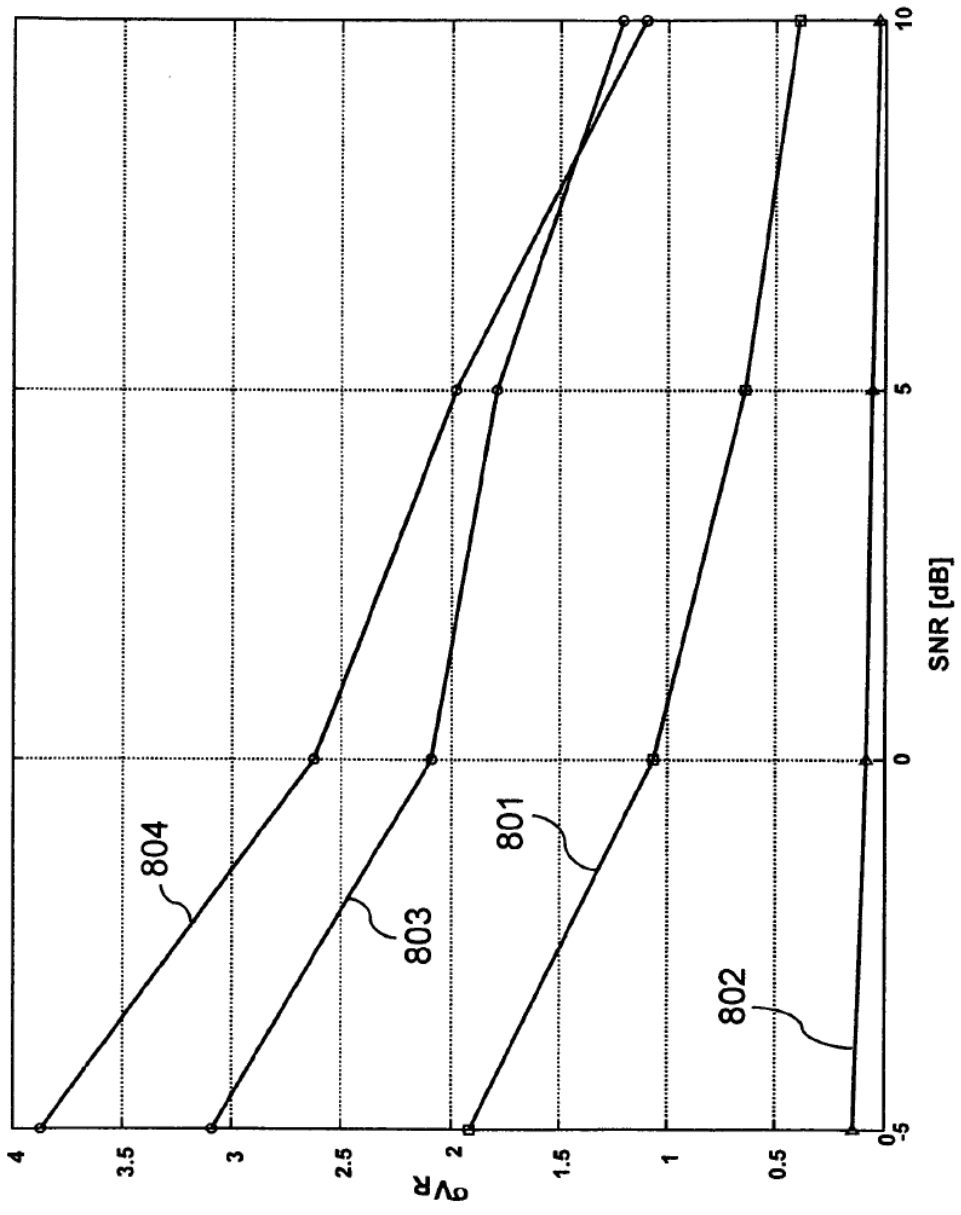


FIG. 8

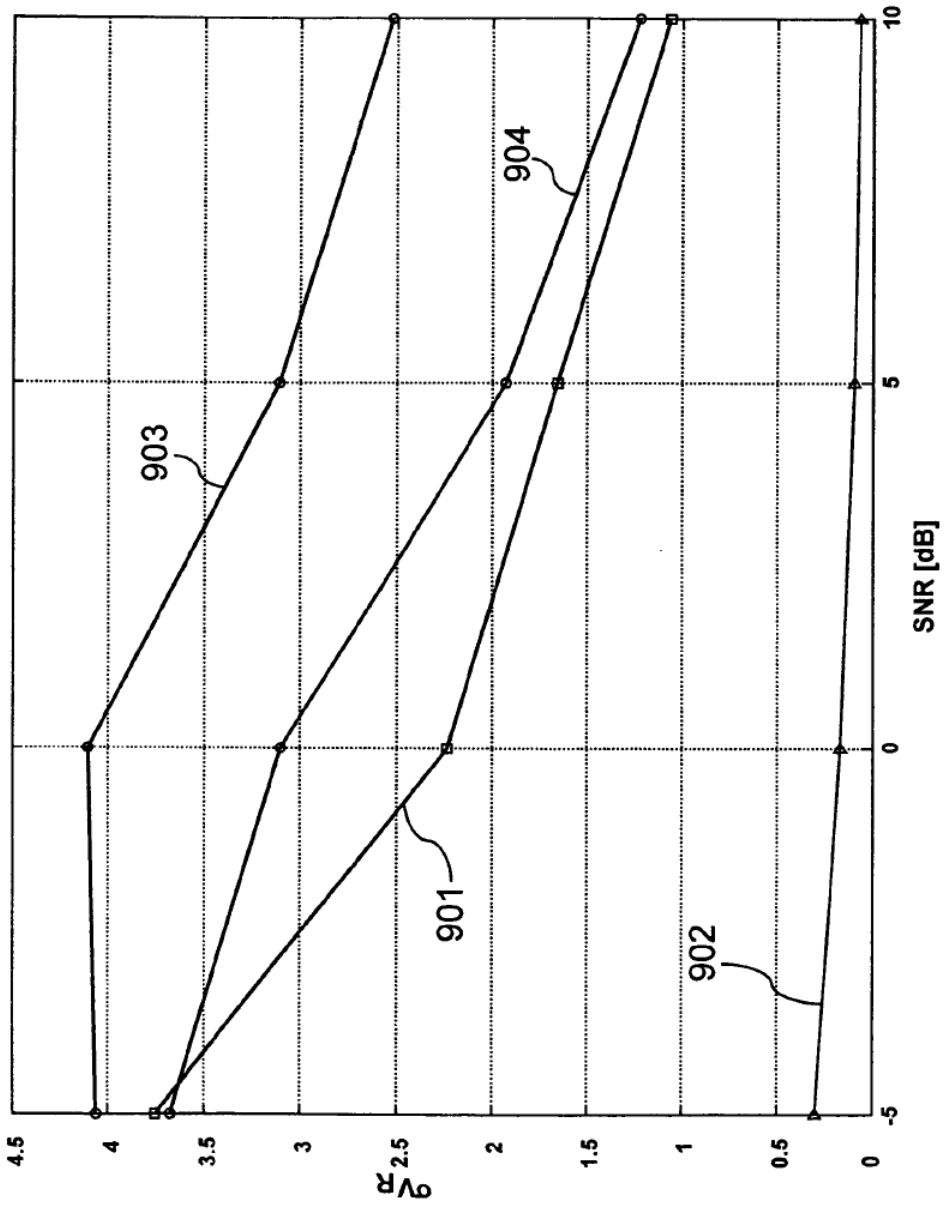


FIG. 9