

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 898**

51 Int. Cl.:
G01S 13/524 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05752508 .1**
96 Fecha de presentación: **21.06.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1759224**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.03.2007**

54 Título: **MEJORAS RELATIVAS A LA EXTRACCIÓN DE VELOCIDAD.**

30 Prioridad:
24.06.2004 EP 04253789
24.06.2004 GB 0414208

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
23.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
23.11.2011

73 Titular/es:
BAE SYSTEMS PLC
6 CARLTON GARDENS
LONDON SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:
FINCH, Derek G. y
DEAKIN, Anthony Michael

74 Agente: **González Palmero, Fé**

ES 2 368 898 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

Mejoras relativas a la extracción de velocidad

5 Esta invención se refiere a mejoras relacionadas con la extracción de velocidad en el campo de la detección de ecos de pulsos de radiación. Más particularmente, pero no exclusivamente, esta invención se refiere a la extracción de la velocidad de un objetivo a partir de los retornos.

10 Los sistemas de detección de ecos de pulsos de radiación, tales como el radar, transmiten una serie de una o más cadenas coherentes de pulsos (ráfagas coherentes) que son reflejados por objetos. Los ecos de los pulsos se usan para detectar y localizar objetos distantes.

15 Convencionalmente, un radar de vigilancia estimaría la velocidad radial del objetivo usando múltiples estimaciones del alcance del objetivo tomadas en momentos diferentes. Actualmente es una práctica habitual filtrar los retornos para eliminar retornos parásitos (aquellos retornos procedentes de elementos que no son de interés), dejando cualquier retorno de elementos en movimiento de interés relativamente sin afectar. Esto se conoce como *Moving Target Detection* (MTD) [Detección de Objetivo Móvil] o *Moving Target Indication* (MTI) [Indicación de Objetivo Móvil]. Dichos esquemas pueden modificarse usando múltiples filtros para obtener alguna medición de la velocidad radial del objetivo pero adolecen de problemas debidos a grandes retornos parásitos que se “esparcen” a filtros
20 adyacentes, produciendo de este modo mediciones de velocidad erróneas.

Una de las principales tareas de los radares y sónares modernos, es identificar y rastrear objetivos móviles. La precisión del rastreo aumenta en gran medida si se conocen la ambigüedad de distancia y la velocidad radial de los diagramas de marcas de entrada del objetivo. Solamente diagramas de marcas con ambigüedad de distancia y
25 velocidad coincidentes se asociarán entonces con aquellos de mediciones previas, reduciendo significativamente, de este modo, la probabilidad de asociación errónea, corrupción de la pista y tasa de rastreo falsa.

Aunque los procedimientos de filtrado tradicionales eliminan el eco parásito de las componentes en fase (I) y cuadratura (Q) (estando la primera en fase con la señal transmitida y la segunda en cuadratura con la señal transmitida) y típicamente devuelven la amplitud del objetivo, no emiten fácilmente la velocidad radial del objetivo ni la ambigüedad de distancia del objetivo.
30

La solicitud de patente europea EP 0851238 describe un aparato de radar y un procedimiento para determinar la velocidad de aproximación de un objetivo, en el que el objetivo se identifica en primer lugar como un objetivo de interés mediante un proceso de establecimiento de umbrales MTI y, a continuación, un procesamiento Doppler se aplica solamente a una parte seleccionada de datos relacionados con el objetivo de interés.
35

La presente invención pretende superar o al menos reducir sustancialmente algunos de los problemas mencionados anteriormente.
40

Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento de extracción de la velocidad radial del objetivo a partir de una o más ráfagas de pulsos de radiación coherentes que comprende las etapas de: (a) recibir retornos de ecos de radiación de una escena; (b) procesar los retornos en componentes en fase (I) y cuadratura (Q); (c) medir los componentes I y Q a intervalos para proporcionar datos muestreados, en el que el procedimiento comprende además las etapas de (d) modelar los datos muestreados aplicando una función predeterminada que comprende una curva; (e) modificar la función predeterminada basándose la fase y la amplitud del objetivo para optimizar el ajuste a los datos muestreados en función de la velocidad; y (f) determinar la velocidad radial del objetivo de forma dependiente de dicha función predeterminada modificada. Este procedimiento produce ventajosamente mediciones de velocidad precisas y es un proceso en tiempo real, lo suficientemente rápido para
45 trabajar a, por ejemplo, escalas temporales de tipo radar con tasas de datos de varios MHz. El procedimiento es aplicable a diversos sistemas de detección de ecos de pulsos de radiación que usan ráfagas coherentes para fines de rechazo de ecos parásitos.
50

Preferentemente, la etapa (e) comprende optimizar el ajuste a los datos muestreados en función de la velocidad según el método de los mínimos cuadrados para dar la velocidad radial del objetivo.
55

Otros parámetros del objetivo, tales como la amplitud del objetivo, la ambigüedad de distancia y el acimut, pueden obtenerse a continuación a partir del ajuste a los datos muestreados.

Convenientemente, el modelo de retorno de ecos parásitos, usado en el ajuste de una curva a los retornos I-Q, es un polinomio de bajo orden en I y Q. Éste es un modelo sencillo que proporciona un buen ajuste al retorno de ecos parásitos. Como alternativa, si se desea, el modelo de retorno de ecos parásitos podría ser una función analítica diferente.

5

Los retornos pueden medirse a intervalos no equidistantes. El uso de intervalos no equidistantes proporciona medición de velocidad inequívoca, mientras que el muestreo a una tasa regular puede conducir a múltiples soluciones.

10 La frecuencia de transmisión puede alterarse entre ráfagas. Esto también proporciona una medición de velocidad inequívoca.

Cada ráfaga está constituida preferentemente por múltiples pulsos transmitidos a intervalos irregulares (ráfagas de intervalos de repetición de pulsos no constantes). Las técnicas digitales de transformada de Fourier usadas anteriormente con el mismo fin de extracción de parámetros del objetivo no pueden usarse fácilmente con dicho escalonado en ráfaga.

Las ráfagas son, opcionalmente, internamente coherentes pero mutuamente incoherentes. Esto da una medición mejorada de la velocidad, amplitud, ambigüedad de distancia y acimut del objetivo.

20

Los residuos de ajuste de celdas de distancia adyacentes en las que se detectó un objetivo pueden sumarse para obtener la velocidad del objetivo y otros parámetros. Esto aumenta la probabilidad de detectar objetivos divididos entre celdas de distancia.

25 El filtrado MTI/MTD convencional puede realizarse antes de aplicar una función a los retornos de I-Q en los que se detectó un objetivo. El procesamiento posterior a la detección de los datos requiere una capacidad de procesamiento inferior que el procesamiento previo a la detección.

Opcionalmente, el procesamiento posterior a la detección se usa en combinación con el procesamiento previo a la detección para limitar las celdas de distancia procesadas para aumentar la eficacia.

30

Se apreciará que la presente invención puede realizarse en un software. Por consiguiente, la presente invención se extiende a un elemento de programa informático que comprende un código de programa para configurar un aparato o sistema de dispositivo programable para implementar el procedimiento descrito anteriormente. Adecuadamente, el programa informático se almacena en un medio portador.

35

Además, la presente invención se extiende a un sistema o aparato de procesamiento de datos adaptado y configurado para implementar el procedimiento descrito anteriormente.

40 Preferentemente, se proporciona un sistema de procesamiento de datos que comprende un transmisor; una antena; un receptor; medios de procesamiento de la señal; un divisor de componente I y Q; un convertidor de analógico a digital, y medios de procesamiento para ajustar una función predeterminada a las componentes I y Q.

La invención se describirá a continuación a modo de ejemplo y en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

45

La figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas implicadas en un procedimiento que realiza la invención.

La figura 2 muestra un retorno típico en espacio I-Q.

50 La figura 3 es un diagrama de flujo de una variante del procedimiento mostrado en la figura 1.

La figura 4 muestra una realización alternativa de la invención.

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra una variante del procedimiento mostrado en la figura 4.

55

La figura 6 es un diagrama de flujo de una realización alternativa de la invención.

La figura 7 muestra una variante del procedimiento mostrado en la figura 6.

La figura 8 muestra las etapas opcionales para la extracción de la ambigüedad de distancia.

La figura 9 es una vista esquemática de un sistema de procesamiento de datos, según un aspecto de la invención.

- 5 La figura 1 muestra las etapas de un procedimiento que realiza la invención. Como se muestra, se emite una ráfaga coherente (etapa 102) a partir de una antena de radar y es reflejada por los objetos en su trayectoria. Los retornos de una ráfaga coherente se dividen (etapa 104) en dos componentes mutuamente ortogonales, las componentes en fase (I) y cuadratura (Q). Se realizan mediciones (etapa 106) de la señal de retorno (retornos) a intervalos de tiempo predeterminados. Los retornos de la escena constituyen ruido (retornos parásitos) y retornos del objetivo, si un
10 objetivo está presente.

Los retornos de un objetivo constituirán típicamente una hélice, cuyo eje largo está centrado a lo largo del eje temporal. Los retornos parásitos hacen que el centro de la hélice se encuentre a lo largo de la trayectoria de los ecos parásitos. Para un eco parásito estacionario, esto es una línea recta paralela al eje temporal; para un eco parásito
15 móvil la línea es curva, pero sustancialmente paralela al eje temporal.

Se supone, por lo tanto, que en el espacio I-Q la señal de retorno está constituida por una hélice contaminada por ruido. La figura 2 muestra una señal de retorno ejemplar 24 en el espacio I-Q. La trayectoria del eco parásito 26 es sustancialmente paralela al eje temporal, aunque curva debido al eco parásito móvil. Una hélice del objetivo 28 se impone sobre la trayectoria del eco parásito. El movimiento del objetivo impone un desplazamiento de fase cambiante en la señal que se usa para estimar la velocidad radial a partir de la velocidad de rotación de los vectores de muestra, es decir el paso de la hélice es proporcional a la velocidad radial del objetivo. El radio de la hélice es proporcional a la sección transversal del objetivo a la frecuencia transmitida, y el eje de la hélice se encuentra en una curva de retorno parásito que puede estar representada por un polinomio de bajo orden en el tiempo.
20

Volviendo a la figura 1, una curva que constituye un simple polinomio de bajo orden en modelo I y Q del retorno parásito, y un modelo helicoidal del retorno del objetivo se ajusta, por lo tanto, (etapa 108) a los datos muestreados para describir los retornos, suponiendo que un objetivo con una velocidad inferida está presente junto con el eco parásito.
25

El ajuste a los datos muestreados se optimiza (etapas 108a - e) según el método de los mínimos cuadrados para minimizar el valor de error, o residuo, ε , dado por
30

$$\varepsilon^2 = \sum_b \sum_{m=0}^{\gamma} \left(\sum_{n=0}^{\alpha} (I_{b,n} + iQ_{b,n}) t_{b,m}^n + \left(\sum_{p=0}^{\beta} a_{b,p} t_{b,m}^p \right) \exp[i(\omega_b t_{b,m} + \phi_b)] - (I_{muestra\ b,m} + iQ_{muestra\ b,m}) \right)$$

35 con respecto a la velocidad v , en la que:

$$\omega_b = \frac{2v\Omega_b}{c};$$

Ω_b es la frecuencia (en radianes por segundo) de la señal transmitida para la ráfaga b ;

$$\left(\sum_{p=0}^{\beta} a_{b,p} t_{b,m}^p \right) = A_b$$

40 c es la velocidad de la propagación de la señal; A_b es la mejor estimación de la amplitud media del objetivo en el tiempo t , observada en la ráfaga b ;

$I_{muestra\ b,m}$, $Q_{muestra\ b,m}$ son las componentes en fase y cuadratura de la señal medida para el pulso m en la ráfaga b ;

45 $I_{b,n}$, $Q_{b,n}$ son la mejor estimación de las componentes de las señales medidas debido al eco parásito observado en la ráfaga b , y

ϕ_b es la fase al inicio de la ráfaga b .

Se obtiene la mejor velocidad radial del objetivo de ajuste (etapa 110) y se derivan otros parámetros del objetivo (etapa 112), por ejemplo la amplitud del objetivo se extrae del radio de la hélice. La potencia de retorno se compara (etapa 114) con una potencia de retorno del objetivo umbral que se selecciona para producir una probabilidad deseada de detección falsa.

5

La integración de varias ráfagas juntas implica la probabilidad de detección para un objetivo. El número de ráfagas en las que se produce la suma se denomina la ventana de detección o de integración. Para los radares giratorios en los que los retornos del objetivo se ensucian por la rotación de la antena, la ventana de integración se fija habitualmente al número de ráfagas transmitidas en el momento en que el radar barre una anchura del haz.

10

Dado que los objetivos pueden superar el tamaño de una celda de distancia o unir los límites de una celda de distancia, la precisión del proceso de extracción de velocidad puede aumentar si cualesquiera celdas adyacentes que también contienen retornos del objetivo se incluyen junto con aquellas celdas en la ventana de integración normal. Análogamente, dado que la forma del haz del radar está ensuciada en el acimut, el mismo objetivo se detectará a la misma distancia mediante varias ráfagas. Estas detecciones en ráfagas adyacentes a una distancia común también se agrupan juntas como pertenecientes al mismo diagrama de marcas. Este agrupamiento de detecciones adyacentes se conoce como "extracción de diagramas de marcas". Los diversos procedimientos para realizar este agrupamiento, ya sea en distancia y, a continuación, acimut o en acimut y, a continuación, distancia, y los procedimientos para agrupar detecciones a distancias y acimuts comunes pero elevaciones diferentes, aunque adyacentes, para radares tridimensionales, se conocen como "colapso de diagramas de marcas" (etapa 116). Estos procedimientos permiten que se forme un único diagrama de marcas, correspondiente a la mejor estimación de la posición del objetivo, en lugar de un grupo de detecciones (diagramas de marcas parciales). Los procedimientos más comunes se agrupan en distancia, proporcionando una distancia de comienzo y de detención del diagrama de marcas en cada ráfaga, y a continuación agrupan cualesquiera ejecuciones de detección solapantes acimutalmente adyacente en el grupo. La posición del diagrama de marcas se fija entonces en el centro del grupo. La posición central puede encontrarse según una serie de diferentes maneras, por ejemplo, el "centro de masa" del grupo o dividiendo por la mitad la posición de la posición extrema de los diagramas de marcas parciales que forman el diagrama de marcas en distancia y acimut. Como alternativa, los diagramas de marcas parciales se pasan a un extractor de pista para emitir los parámetros. Los extractores de pista utilizan información de escaneos previos, conocimiento de ambigüedades de distancia o velocidad del objetivo para mejorar la precisión de la extracción de información y para resolver cualesquiera conflictos de asociación de pistas de diagramas de marcas (cuando dos o más objetivos están demasiado cerca entre sí para ser resueltos mediante procedimientos de colapso de diagramas de marcas convencionales pero donde el conocimiento de que se esperan dos o más objetivos cercanos entre sí con, por ejemplo, diferentes velocidades, permite que los retornos se separen en dos o más grupos separados en el espacio de velocidad).

35

Para cada diagrama de marcas parcial (es decir, detección) en el grupo, la proporción del residuo medio con respecto al residuo mínimo es la proporción de potencia respecto a ruido del retorno medio para el objetivo en esa celda. Al ponderar la velocidad radial de cada celda en el grupo con la potencia respecto a ruido del retorno medio en esa celda, sumando todas las velocidades ponderadas y dividiendo por la suma de las ponderaciones, se obtiene la velocidad radial media ponderada (etapa 118). Ésta es una mejor estimación de la velocidad radial que una media sencilla de las velocidades, ya que da un mayor peso a aquellas velocidades que tienen mejores proporciones de señal con respecto a ruido y, por lo tanto, precisiones.

40

Los parámetros de ráfaga se promedian en los grupos para dar los parámetros de grupo (etapa 120) y los parámetros se emiten (etapa 122).

45

Opcionalmente, los residuos de celdas de distancia adyacentes con ráfagas que cruzan el umbral de detección se suman (véase la figura 3; donde los dos últimos dígitos de las etapas numeradas son los mismos que los de las etapas numeradas que comienzan con un "1" en la figura 1 las etapas son equivalentes, pero no necesariamente idénticas). A medida que se procesa cada ráfaga, se declaran o no detecciones para cada celda de distancia y los residuos se almacenan para aquellas ráfagas con detecciones (etapa 330). Los residuos para cada etapa de velocidad se suman (etapa 332) y se descubre el residuo mínimo (etapa 334).

50

La velocidad radial del objetivo y otros parámetros se obtienen (etapas 336, 338) a partir del nuevo residuo sumado, es decir la suma tiene lugar en los diagramas de marcas parciales, no en la ventana de integración. El umbral de detección original (diagrama de marcas parcial) para la potencia del objetivo en la etapa 314 puede ser entonces bastante bajo con un alto umbral de detección del diagrama de marcas aplicado (etapa 340) a los datos sumados, para proporcionar la probabilidad requerida de detección de diagrama de marcas falsa. El umbral original más bajo

55

en la etapa 314 permite que se detecten objetivos más pequeños, aunque con una mayor probabilidad de falsa alarma. El umbral de post-interacción más alto en la etapa 340 restablece la probabilidad más baja de detección falsa. A medida que se integran conjuntamente más ráfagas, verdaderos objetivos que se dividen entre celdas de distancia, por ejemplo, se integran y tienen una mayor probabilidad de detección.

5

En la figuras 3, 4, 5, 6 y 7, donde los dos últimos dígitos de las etapas numeradas son los mismos que aquellos en las etapas numeradas que comienzan con un "1" en la figura 1, las etapas son equivalentes, pero no necesariamente idénticas.

10 En una realización adicional de la invención, el proceso de integración se realiza después de la detección. Aunque teniendo una menor sensibilidad, el procesamiento posterior a la detección de los datos requiere una menor capacidad de procesamiento que el procesamiento previo a la detección. En el procedimiento mostrado en la figura 4, se realiza el filtrado MTI/MTD convencional (etapa 444) en las componentes I y Q de los retornos de eco. En el filtrado MTI y MTD, los filtros son equivalentes a multiplicar los retornos en una ráfaga por una serie de ponderaciones y sumar los resultados, seleccionándose las ponderaciones para rechazar el eco parásito esperado, mientras se permite que los retornos del eco parásito móvil se sumen de forma constructiva. Las componentes I y Q para las ráfagas en cada celda de distancia donde se producen detecciones se almacenan (etapa 446) antes de que se usen procedimientos de colapso de diagramas de marcas convencionales (etapa 416) para detectar grupos. Los términos dependientes de I y Q del residuo se calculan (etapa 408a) para cada ráfaga en un grupo de diagramas de marcas parciales adyacentes (en cada "grupo" de detecciones) en función de la velocidad. Para cada ráfaga, el residuo se calcula (etapa 408b) y se almacena (etapa 408c) para cada etapa de velocidad. Los residuos se suman a continuación (etapa 408d) en todas las ráfagas incluidas en el diagrama de marcas. El residuo mínimo se descubre (etapa 408e) y la velocidad radial del objetivo y otros parámetros se determinan (etapas 410, 412) antes de emitirlos (etapa 422).

25

Como alternativa, el colapso de diagramas de marcas (etapa 516) puede realizarse después del procesamiento de extracción de velocidad (véase la figura 5). En este caso, cada diagrama de marcas parcial aporta una medición de velocidad, la velocidad radial media ponderada se calcula a continuación (etapa 518) y los parámetros se emiten (etapa 522). Este proceso es más eficaz a nivel computacional (al extraerse la velocidad solamente de aquellas celdas de distancia en las que se producen detecciones), pero menos preciso que el proceso ilustrado en la figura 4, donde la velocidad se extrae de datos para todas las celdas de distancia en el grupo que forma el diagrama de marcas.

30

Una identificación más clara de los mínimos se obtiene potenciando la diferencia entre los valores mínimos y máximos. Esto puede realizarse sumando conjuntamente todas las curvas pero requiere una gran cantidad de potencia de cálculo. El uso de procesamiento posterior a la detección reduce la potencia de cálculo requerida. El procedimiento de procesamiento posterior a la detección que implica el colapso de diagramas de marcas antes del cálculo de residuos (Figura 4) se prefiere al procedimiento de procesamiento posterior a la detección que implica el cálculo de la velocidad radial media ponderada (Figura 5) ya que se incluyen más ráfagas en el cálculo, de modo que la probabilidad de detección del objetivo aumenta.

35

40

Es más eficaz desechar aquellas celdas que claramente contienen solamente ruido, antes de realizar el procesamiento de extracción de velocidad. Este nivel extra de procesamiento puede reducir la carga de procesamiento adicionalmente aguas abajo, reduciendo significativamente el número de celdas que reciben el procesamiento previo a la detección completo.

45

Al aplicar un filtro MTI simple con un umbral bajo (en comparación con el umbral usado en los procesos ilustrados en la figuras 4 y 5) a los retornos sumados en todas las celdas, el gran número de celdas donde no se ilumina ningún objetivo y que claramente contienen solamente ecos parásitos o ruido y que tienen una muy baja probabilidad de contener un objetivo, como se ha observado a partir de su contenido espectral, se eliminan. De esta manera, se detectan más objetivos reales y se descubren menos objetivos falsos, en comparación con los procedimientos de procesamiento mostrados en y descritos en referencia a las figuras 1, 3, 4 y 5. Ejemplos de dichos procedimientos se ilustran en las figuras 6 y 7.

50

55 En el procedimiento mostrado en la figura 6, se realiza un filtrado MTI/MTD convencional (etapa 650) usando un umbral reducido, sobre las componentes I y Q de los retornos de eco. El uso de un umbral reducido aumenta la probabilidad de detección de objetivo. Las componentes I y Q para las celdas de distancia con ráfagas donde se producen detecciones se almacenan (etapa 646) antes de que se usen procedimientos de colapso de diagramas de marcas convencionales (etapa 616) para detectar grupos. Los términos dependientes de I y Q del residuo se

- calculan (etapa 608a) para cada ráfaga en un grupo de diagramas de marcas parciales adyacentes (en cada "grupo" de detecciones) en función de la velocidad. Para cada ráfaga, el residuo se calcula (etapa 608b) y se almacena (etapa 608c) para cada etapa de velocidad. Los residuos se suman a continuación (etapa 608d) en todas las ráfagas incluidas en el diagrama de marcas. El residuo mínimo se descubre (etapa 608e) y la velocidad radial del objetivo y otros parámetros se determinan (etapas 610, 612). La potencia de retorno del objetivo se compara con un valor umbral (etapa 614) y los parámetros se emiten si la potencia de retorno del objetivo es mayor que el umbral de detección (etapa 652). El valor umbral se selecciona para mantener la tasa de detección falsa al nivel requerido, aumentado previamente por el uso de un umbral reducido durante el filtrado (etapa 650).
- 10 En un procedimiento alternativo, el colapso de diagramas de marcas (etapa 716) puede realizarse después del procesamiento de extracción de velocidad (véase la figura 7) y los parámetros de ráfaga se promedian en grupos para dar los parámetros de grupo (etapa 754). La potencia de retorno del objetivo se compara con un valor umbral (etapa 714), la velocidad radial ponderada media se calcula (etapa 718) y los parámetros se emiten si la potencia de retorno del objetivo es mayor que el umbral de detección (etapa 752). El proceso mostrado en la figura 7 es más eficaz a nivel computacional pero menos preciso que el proceso de la figura 6.

20 Cuando se transmite una ráfaga coherente, los objetos se iluminarán a distancias que están lo suficientemente alejadas como para que los ecos de cualquier pulso particular no se reciban de vuelta en el radar hasta después de que se hayan transmitido uno o más pulsos adicionales. Estos retornos de mayor distancia son ambiguos en distancia; el radar los interpretará normalmente como procedentes de un objetivo cercano, según se calcula a partir del intervalo de tiempo desde el momento de la recepción y la transmisión del último pulso antes de la recepción. El problema puede evitarse habitualmente usando escalonado en ráfaga (es decir, el intervalo de repetición de pulsos (PRI), el tiempo entre pulsos transmitidos, no es constante); los ecos de objetivos de distancia ambigua se extienden en una serie de diferentes distancias y a menudo no se integran a un nivel suficiente para dar una alta probabilidad de detección. Para ráfagas de PRI constante, los retornos ambiguos de cualquier objetivo estarán, en esa ráfaga, todos en la misma distancia errónea y se sumarán de forma coherente para dar un retorno más grande, que puede detectarse a continuación. Para múltiples ráfagas a diferentes frecuencias pero con PRI común, estos objetivos de distancia ambigua se integran a continuación en las ráfagas para dar detecciones falsas. Estas detecciones falsas, es decir, la indicación de un objetivo real en una ubicación incorrecta, son problemáticos para muchos radares MTI y MTD. El problema se exagera cuando múltiples ráfagas con diferentes PRI se integran juntas. En este caso, aunque pequeños objetivos de distancia ambigua no se integran en las ráfagas ya que aparecen en diferentes ubicaciones en cada ráfaga, objetivos más grandes, con suficiente potencia de retorno para que se produzca la detección en base a una única ráfaga, aparecen entonces como detecciones en hasta tantas diferentes ubicaciones como ráfagas integradas haya. Los procedimientos actuales para abordar este problema, conocidos habitualmente como procedimientos de trampa de distancia ambigua (ART) adolecen de una serie de problemas, de la forma más notable la supresión de celdas de distancia donde parecen estar objetivos ambiguos y, por lo tanto, el borrado erróneo de celdas con objetivos reales presentes.

El procedimiento según esta invención proporciona un medio, no solamente de identificación fiable cuando los retornos en la ráfaga proceden de un objetivo de distancia ambigua, sino también de obtención del orden de ambigüedad del objetivo.

La ambigüedad de distancia del objetivo puede estimarse considerando si un mejor ajuste a los datos se obtendría suponiendo que uno o más de los retornos iniciales no se encuentran en la hélice. Un objetivo es un objetivo ambiguo de orden cero (es decir un objetivo de distancia no ambigua) si el primer pulso transmitido es recibido antes de que se transmita el segundo pulso. Por lo tanto, para un objetivo ambiguo de orden cero, el retorno desde el primer pulso contendría un retorno desde el objetivo y estaría en la hélice. Un objetivo de distancia ambigua (uno con un orden de ambigüedad mayor que cero) no tendría ninguna señal del objetivo contenida en el primer pulso recibido y, por lo tanto, la señal recibida se encontraría en el eje de la hélice. El orden de ambigüedad no viene dado por el número de señales del primer pulso recibido que se encuentran en el eje de la hélice, estando solamente las señales recibidas posteriormente en la propia hélice.

55 Cuando se sabe que solamente un único o al menos una serie muy poco densa de objetivos está presente, o donde las ráfagas que se están integrando juntas tienen todas el mismo PRI (aunque pueden tener diferentes frecuencias de transmisión), es posible realizar una simple minimización del residuo con respecto a la ambigüedad y la velocidad.

En el último caso, cuando todas las ráfagas usan un PRI común, el procesamiento descrito anteriormente en cualquiera de las variantes puede usarse con la adición de que los residuos se calculan para cada una de las

posibles ambigüedades de distancia del objetivo. La velocidad y la ambigüedad de distancia del objetivo se descubren simplemente determinando la velocidad y la ambigüedad de distancia, para las cuales el residuo es un mínimo. En el primer caso, donde los PRI difieren de ráfaga a ráfaga, pero se sabe que solamente uno o, al menos, muy pocos objetivos están presentes, el proceso es ligeramente más complicado ya que los retornos de cada ráfaga se replican en primer lugar a todas las ambigüedades de distancia posibles. Los retornos desplegados de diferentes ráfagas se realinean a continuación en las distancias ambiguas posibles, de modo que los residuos de retornos en las distancias ambiguas en todas las ráfagas puedan calcularse y sumarse juntas para cada ambigüedad posible. A la distancia adecuada, los retornos de todas las ráfagas se alinean y, por lo tanto, el mínimo será el más profundo. La suma de los residuos en todas las posibles distancias ambiguas dará el mínimo más profundo, resolviendo de este modo la ambigüedad de distancia y la velocidad del objetivo. Habiendo determinado la velocidad y la ambigüedad de distancia, el procesamiento sigue a continuación el de los procedimientos descritos anteriormente.

Para el caso más normal donde los PRI difieren de ráfaga a ráfaga y el número potencial de objetivos no es muy pequeño, se requiere un proceso más enrevesado para extraer la ambigüedad de distancia. El enfoque más sencillo para extraer la ambigüedad de distancia es extraerla en una base de ráfaga a ráfaga. El residuo mínimo para cada celda de distancia, o al menos aquellas en las que existe una posibilidad de que un objetivo esté presente, con respecto tanto a velocidad como a ambigüedad de distancia, se determina. La ambigüedad de distancia a la que se produce este mínimo se toma como el orden de ambigüedad de distancia el retorno. A partir de la distancia aparente y el orden de la ambigüedad, puede determinarse la distancia real del retorno.

Con retornos de distancia ambigua, está disponible una selección de procedimientos equivalentes a los diversos procedimientos de extracción de la velocidad radial a partir de un retorno no ambiguo. Los retornos de las ráfagas en una ventana de integración en una distancia común (ambigua) puede procesarse para dar una máxima probabilidad de velocidad y tamaño del objetivo, o cualquier otro de los parámetros disponibles extraídos mediante un simple enfoque de media ponderada o volviendo a computar los residuos para todo el conjunto de retornos. Para ráfagas coherentes largas, este enfoque adolece de la dificultad de que la diferencia de profundidad del residuo entre órdenes de ambigüedad adyacentes es pequeña y, por lo tanto, es posible que para objetivos relativamente débiles, el orden de ambigüedad erróneo pueda seleccionarse inicialmente. Los errores de esta clase son típicamente solamente de una o dos ambigüedades; al desplegar el objetivo a solamente aquellas ambigüedades alrededor del orden de ambigüedad más probable y sumando los residuos en las ráfagas en la ventana de integración o de diagrama de marcas (dependiendo del procedimiento de combinación de las ráfagas usado), buscando a continuación el mínimo más profundo a partir de esta serie limitada de posibles ubicaciones del objetivo, la velocidad más probable, la posición y otros parámetros del objetivo pueden extraerse de los datos. El acimut más probable también puede extraerse posiblemente.

Para aquellos procesos que implican procesamiento previo a la detección, tales como se ilustra en las figuras 1 y 3, la ambigüedad de distancia de cada ráfaga se determina (etapa 112 y 312, respectivamente) y las ráfagas con retornos que muestran objetivos que forman grupos en distancia y/o espacio de variación de la distancia, según se determina a partir de la ambigüedad de distancia extraída, se combinan a continuación. En el primer caso, donde los grupos se forman en distancia, la velocidad se determina, en base a la suposición de que solamente un objetivo está presente, procesando todas las ráfagas con retornos por encima del umbral de detección a esa distancia para extraer la mejor velocidad de ajuste y potencia de retorno media. En el último caso, donde los grupos se forman en el espacio de variación de la distancia, solamente ráfagas con velocidades que se despliegan a una velocidad común se incluyen en el procesamiento. Esto funciona mejor cuando existe una alta probabilidad de dos objetivos con diferentes velocidades, sin resolver espacialmente, a la misma distancia.

Para procesos que implican procesamiento posterior a la detección, las ráfagas incluidas son aquellas implicadas en la detección, independientemente de si sus ambigüedades de distancia coinciden, es decir la ambigüedad de distancia se resuelve al mismo tiempo que la velocidad se extrae de todas las ráfagas contribuyentes. En los procesos mostrados en la figuras 4 a 7, las etapas 408b a e, 508b a e, 608b a e y 708b a e se sustituyen por las etapas 8b' a 8e', mostradas en la figura 8. Para cada ráfaga y posible ambigüedad de distancia, el residuo se calcula (etapa 8b') para cada etapa de velocidad. Los residuos se almacenan (etapa 8c') y se suman (etapa 8d') (en ráfagas incluidas en el diagrama de marcas) para las posibles ambigüedades para cada detección. El residuo mínimo se descubre a continuación (etapa 8e') tanto en distancia y velocidad (en cada ambigüedad de distancia, la velocidad que corresponde al residuo mínimo será diferente).

Como alternativa, en la figuras 4 a 7, los residuos pueden determinarse en todas las celdas de distancia/acimut hasta la máxima ambigüedad posible para todas las celdas de distancia con detecciones para todas las ráfagas en algún sector. El uso de una anchura de sector fija supera el problema de que un grupo en una ambigüedad puede

solaparse parcialmente con un grupo en otra, impidiendo decisiones automáticas sobre distancias de procesamiento. A continuación se establece un modelo con todas las posibles combinaciones de posición/velocidad del objetivo en el espacio del sector y los residuos correspondientes a aquellas combinaciones descubiertas. El mínimo más profundo en el espacio multidimensional ($2n$) (posiciones y velocidades para cada uno de los n posibles objetivos) se selecciona. La velocidad y la distancia correspondientes al residuo mínimo se determinan a continuación.

5 Cuando se extrae la ambigüedad de distancia, pueden producirse dos tipos de resultados falsos. Puede emitirse una velocidad falsa y objetivos falsos pueden "detectarse" debido a fantasmas (donde retornos de dos o más objetivos a diferentes distancias observados en ráfagas con diferentes intervalos de repetición de pulsos se despliegan en la misma distancia con diferentes ambigüedades, dando como resultado una detección errónea). Ambas salidas falsas pueden reducirse incluyendo tantas ráfagas donde el objetivo está presente como sea posible, dado que los objetivos auténticos se integran mientras que los objetivos falsos no.

10 Cuando la ambigüedad de distancia se extrae usando procesamiento previo a la detección, el número de celdas en las que puede producirse una falsa alarma aumenta, debido al despliegue de distancias hasta todo el límite de distancia ambigua. Por lo tanto, se necesita un umbral más alto para mantener la tasa de detección falsa requerida y reducir la posibilidad de que los mínimos residuos se deban a fantasmas. Este umbral más alto se aplica después del colapso de diagramas de marcas para mantener la máxima sensibilidad. Los mínimos en la serie de celdas correspondientes a potenciales fantasmas se comparan, siendo el mínimo más profundo la solución más probable para la velocidad radial y la ambigüedad de distancia del objetivo.

20 Si un objetivo es ambiguo en distancia y la ambigüedad de distancia no se extrae, el ajuste a los datos no es lo más preciso posible, dando origen a una extracción de velocidad imprecisa.

25 La tabulación de los valores de error con respecto a la velocidad y/o ambigüedad de distancia da una medición de la confianza en la medición relevante. Cuanto más ajustado sea el mínimo, más estrecha será la incertidumbre en la medición. Cuando más profundo sea el mínimo con respecto al siguiente más profundo, más confianza hay en el resultado.

30 El acimut del objetivo (la dirección angular del objetivo desde una dirección definida, por ejemplo norte, en un plano horizontal) se calcula a continuación (para radares giratorios solamente) tomando la proporción de la tasa de cambio de potencia de retornos de objetivo respecto a potencia de retornos para cada ráfaga coherente incluida en el proceso y ajustando los gradientes normalizados resultantes a la forma del haz. Las proporciones resultantes se usan para obtener el polinomio

$$\sum n \left(\frac{a_n}{a_0} \right) t^{n-1} = 0$$

35 cuya solución da el tiempo en el cual la antena señalaba al objetivo. A partir de ese tiempo, el acimut del objetivo se determina como la dirección acimutal de la antena en el tiempo t .

40 La velocidad de cruce del objetivo, es decir la velocidad a la cual el objetivo cruza el campo de visión de la antena, también puede determinarse a partir de la forma del haz. Esto puede combinarse con la velocidad radial para dar la velocidad del objetivo.

Una realización según otro aspecto de la invención se muestra en la figura 9. Un sistema de procesamiento de datos 60 comprende un transmisor 62; una antena 64; un receptor 66; medios de procesamiento de la señal 68; un divisor de componente I y Q 70; un convertidor de analógico a digital 72; un filtro digital 74 y medios de procesamiento 76 para ajustar una función predeterminada a las componentes I y Q. El transmisor 62, conectado a los medios de procesamiento 76 (no se muestra la conexión) u otros medios de procesamiento (no se muestran), emite ráfagas de radiación coherentes desde la antena 64. Retornos de eco de radiación de las ráfagas de pulsos son recibidos desde una escena a distancia por el receptor 66. Los medios de procesamiento de la señal 68 pueden incluir, por ejemplo, filtrado de RF para la eliminación de señales de banda, control de ganancia automático (AGC) para reducir la ganancia cuando se reciben señales potentes para impedir sobrecarga, formación del haz para enfocar el radar para que apunte en una dirección específica, dirección de interferencias nulas para reducir la ganancia de la antena en la dirección de emisores de interferencia o compresión de pulsos para permitir la transmisión de largas señales de baja potencia media que puedan comprimirse en la recepción a un corto retorno de baja potencia. Los retornos de eco 55 son procesados en componentes I y Q por el divisor 70 antes o después del procesamiento por el convertidor de

análogo a digital 72. Los retornos se miden a intervalos para proporcionar datos muestreados y filtrado MTI/MTD convencional es aplicado por el filtro digital 74. Preferentemente, el filtro digital 74 comprende un procesador de señal digital (DSP) o microprocesador de alta velocidad convencional. El filtro aplicado puede ser, por ejemplo, una Transformada de Fourier Rápida (FFT) o una suma ponderada. Los medios de procesamiento 76 aplican a 5 continuación una función predeterminada a los retornos I-Q y modifican la función para que coincida con los datos muestreados en función de la velocidad de una forma predeterminada. La velocidad radial del objetivo se determina dependiendo de la etapa de modificación de la función.

Habiendo descrito ahora diversas realizaciones de la invención, numerosas modificaciones se volverán evidentes 10 para el experto en la materia. Por ejemplo, el muestreo de retornos a una tasa regular puede conducir a múltiples soluciones de velocidad. Es ventajoso, por lo tanto, medir los retornos a intervalos no equidistantes para proporcionar una medición de velocidad inequívoca. A esto ayuda, adicionalmente, la alteración de la frecuencia de transmisión entre las ráfagas. Es preferible que la o cada ráfaga esté constituida por múltiples pulsos transmitidos a 15 intervalos irregulares (ráfagas con intervalo de repetición de pulsos no constante). Las técnicas de transformada Fourier digitales usadas previamente con el mismo fin de extracción de parámetros del objetivo no pueden usarse con dicho escalonado en ráfaga; Si se requieren técnicas de filtro, para reducir la carga de procesamiento, entonces se requiere el procesamiento MTI. El uso de ráfagas internamente coherentes pero mutuamente incoherentes da una medición mejorada de la velocidad, amplitud, ambigüedad de distancia y acimut del objetivo.

20 Para mejorar el tiempo de procesamiento, las componentes independientes de la velocidad del residuo pueden calcularse una vez, antes de la computación del residuo, en lugar de cada vez que el residuo es computado para las diferentes mediciones. Análogamente, las componentes independientes de los datos del residuo pueden calcularse previamente para reducir significativamente el procesamiento requerido para obtener el residuo.

25 Aunque se prefiere un polinomio en el tiempo t para describir los retornos, pueden usarse otras formas analíticas en el espacio de la función ortogonal.

Existen diversos procedimientos para encontrar el residuo mínimo. Estos incluyen el procedimiento a nivel 30 computacional intensivo de "sobre-muestrear" en el espacio de velocidad y seleccionar la velocidad correspondiente al valor más pequeño (como se ha descrito anteriormente). Un procedimiento más eficaz a nivel computacional calcula los residuos en la frecuencia "Nyquist" (la frecuencia límite por encima de la cual una señal debe muestrearse para ser capaz de reconstruirla) y usa una técnica de interpolación alrededor del punto calculado mínimo para determinar el mínimo real y la velocidad correspondiente.

35 Cuando se descubre que dos o más residuos mínimos son de valor similar, pueden usarse procesos adicionales. Este procesamiento puede indicar que existe un problema potencial con los parámetros extraídos (incluyendo la velocidad) o pasar los parámetros y velocidades para todos los mínimos relevantes a un posterior procesamiento de radar (extracción de pista). Este enfoque minimiza los errores debido a ambigüedades de velocidad y múltiples objetivos en la misma celda de distancia en la velocidad extraída.

40

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de extracción de una característica de velocidad radial de un objetivo a partir de una o más ráfagas de pulsos de radiación coherentes, que comprende las etapas de:
- 5 (a) recibir retornos de eco de radiación de las ráfagas de pulsos de una escena a distancia;
 (b) procesar los retornos de eco recibidos en componentes en fase (I) y cuadratura (Q);
 (c) medir las componentes I y Q a intervalos para proporcionar datos muestreados **caracterizado porque** el procedimiento comprende además las etapas de
- 10 (d) modelar los datos muestreados aplicando una función predeterminada (24) que comprende una curva;
 (e) modificar la función predeterminada en base a la fase y la amplitud del objetivo para optimizar el ajuste a los datos muestreados en función de la velocidad, y
 (f) determinar la velocidad radial del objetivo, de forma dependiente de dicha función predeterminada modificada.
- 15 2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que se proporciona un modelo de retorno parásito (26) para su uso en las etapas (d) y (e).
3. Un procedimiento según la reivindicación 2, en el que el modelo de retorno parásito (26) es una
 20 función polinómica de orden bajo en I y Q.
4. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de extraer la amplitud del objetivo a partir de los datos muestreados, de forma dependiente de dicha función predeterminada modificada.
- 25 5. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de extraer la ambigüedad de distancia a partir de los datos muestreados, de forma dependiente de dicha función predeterminada modificada.
- 30 6. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además la etapa de extraer el acimut del objetivo a partir de los datos muestreados, de forma dependiente de dicha función predeterminada modificada.
7. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los retornos de eco se
 35 miden a intervalos no equidistantes.
8. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las ráfagas de pulsos se transmiten a una frecuencia que cambia entre pulsos sucesivos.
- 40 9. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada ráfaga de pulsos está constituida por múltiples pulsos transmitidos a intervalos irregulares.
10. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las ráfagas de pulsos son internamente coherentes pero mutuamente incoherentes.
- 45 11. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además la etapa de realizar filtrado de Indicación de Objetivo Móvil/Detección de Objetivo Móvil convencional y detección del objetivo antes de aplicar una función predeterminada, como en la etapa (d), a los retornos de I-Q en los que se detectó un objetivo.
- 50 12. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa (e) comprende optimizar el ajuste de la curva a los datos muestreados, según el método de los mínimos cuadrados.
13. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se proporciona un
 55 modelo de retorno de objetivo (28) que comprende una hélice, para su uso en las etapas (d) y (e).
14. Un procedimiento según la reivindicación 13, en el que la velocidad radial del objetivo se determina con respecto al paso de la hélice.

15. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 13 ó 14, que comprende además la etapa de extraer la amplitud del objetivo a partir de los datos muestreados, extrayéndose la amplitud del objetivo con respecto a un radio de la hélice.
- 5 16. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, que comprende el uso de una pluralidad de ráfagas de pulsos de radiación coherentes, comprendiendo el procedimiento además la etapa de estimar la ambigüedad de distancia del objetivo, modificando la función predeterminada en base a una suposición de que uno o más retornos de ecos iniciales no se encuentran en la hélice.
- 10 17. Un procedimiento según la reivindicación 16, que comprende además la etapa de extraer un orden de ambigüedad en base al número de primeras señales de pulsos recibidas que se encuentran en el eje de la hélice.
18. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha escena a distancia comprende un objetivo junto con un eco parásito y los datos muestreados se refieren a la muestra y al eco
15 parásito.
19. Un microprocesador programado para realizar el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 20 20. Un medio portador que comprende un código de programa, que puede accionarse para realizar un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 18.
21. Un sistema de procesamiento de datos adaptado y configurado para realizar un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, que comprende:
25
- (g) un transmisor (62);
 - (h) un receptor (66);
 - (i) un divisor de componente I y Q (70);
 - (j) un convertidor de analógico a digital (72), y
 - 30 (k) medios de procesamiento (76) para ajustar una función predeterminada (24) a componentes I y Q según las etapas (d) y (e).

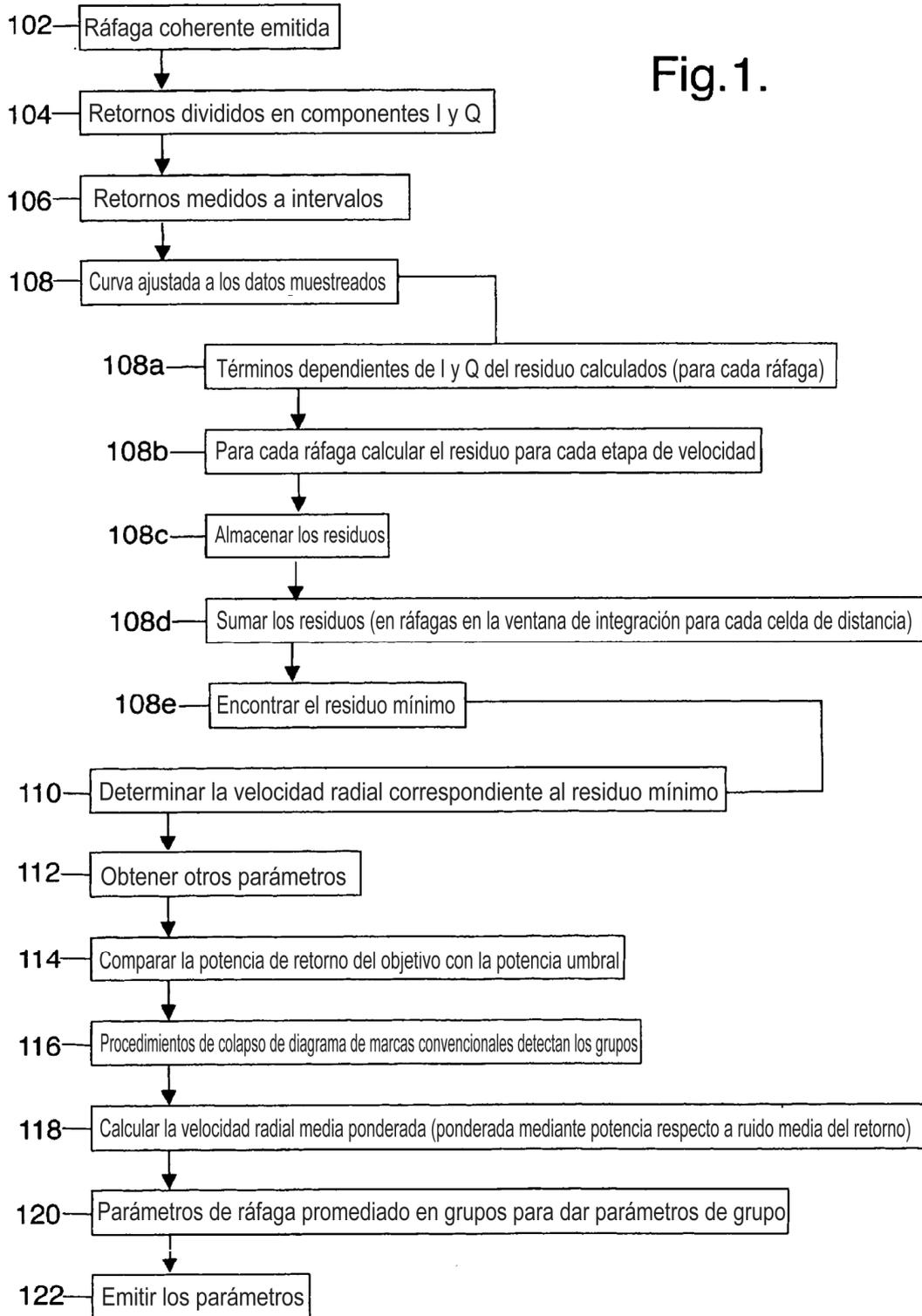
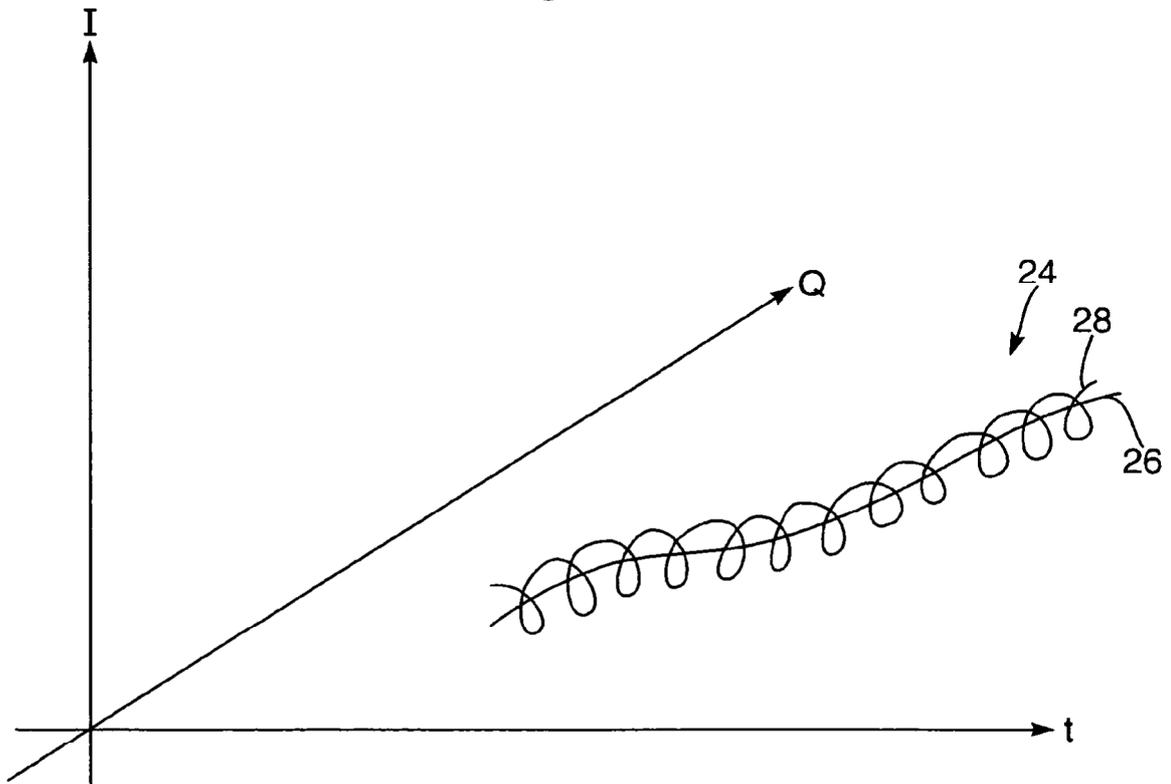


Fig.2.



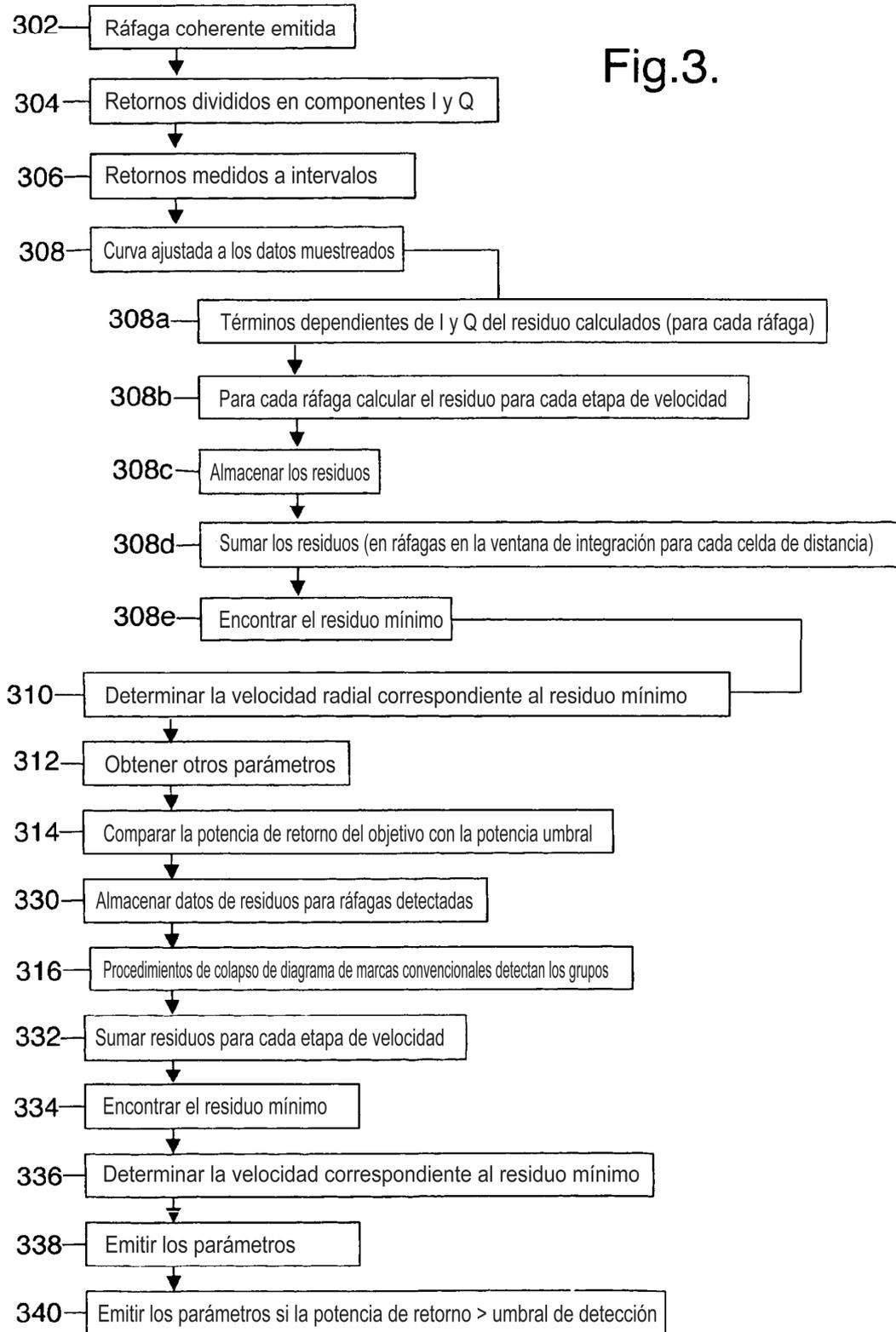
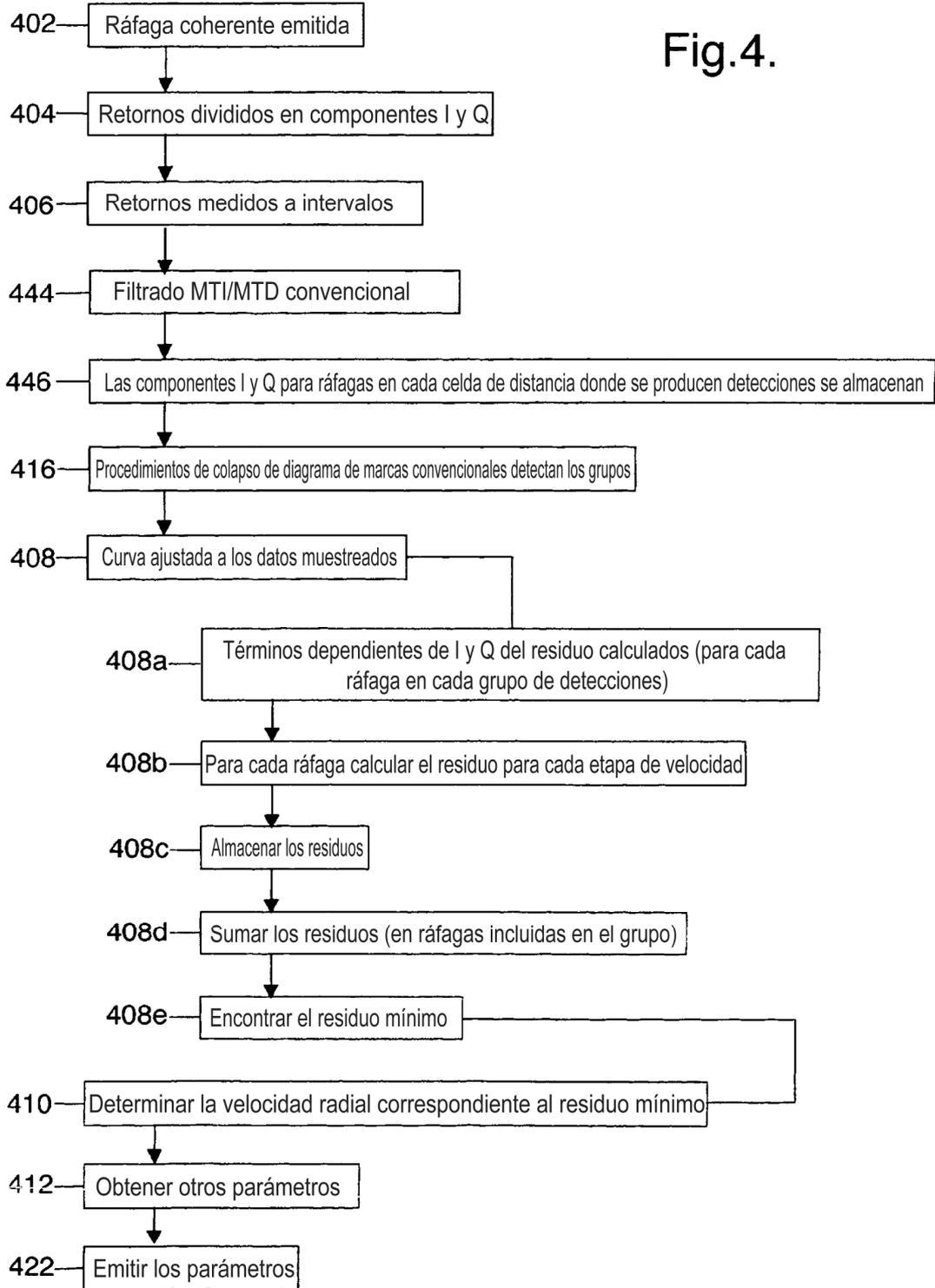


Fig.4.



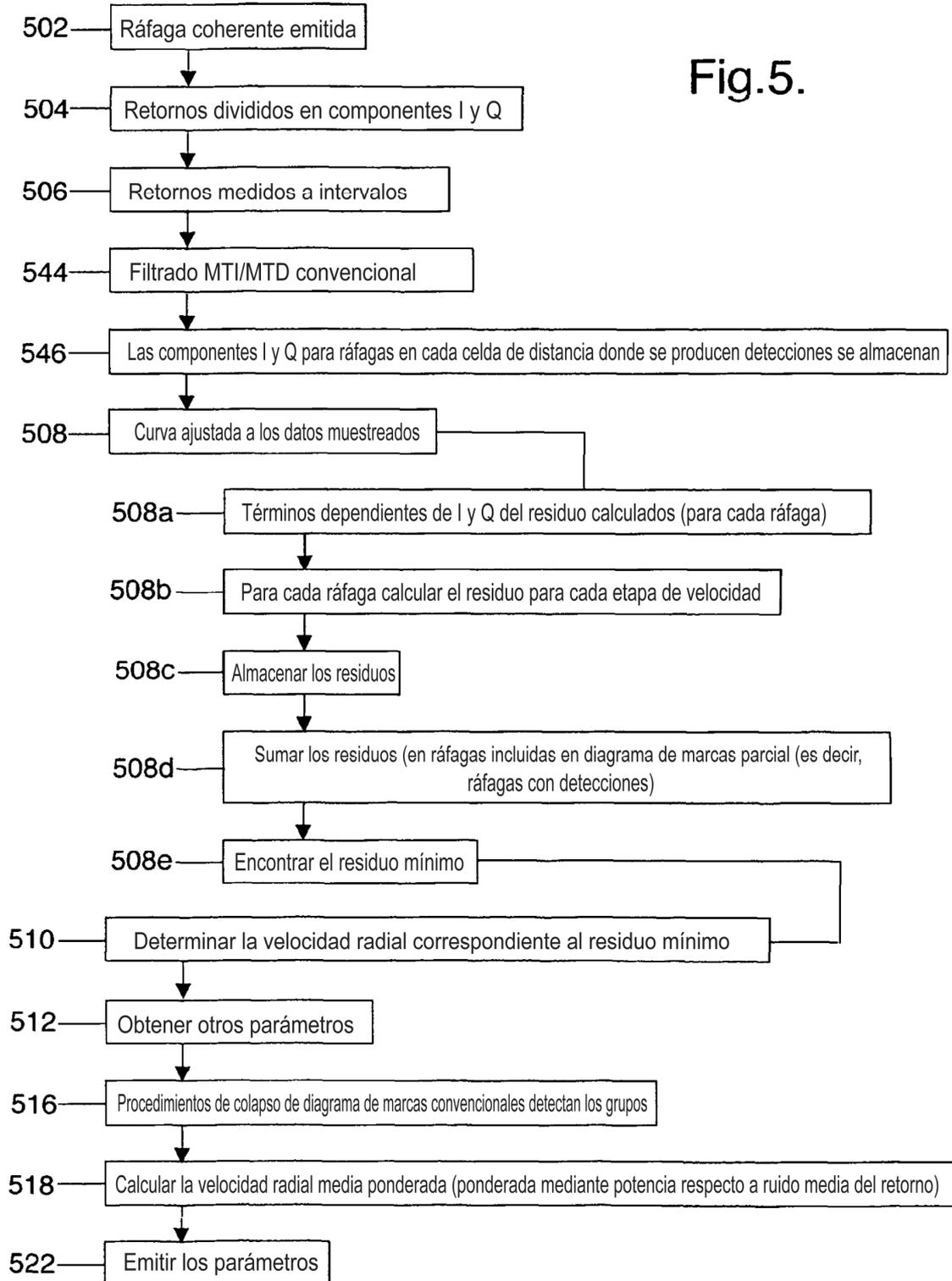
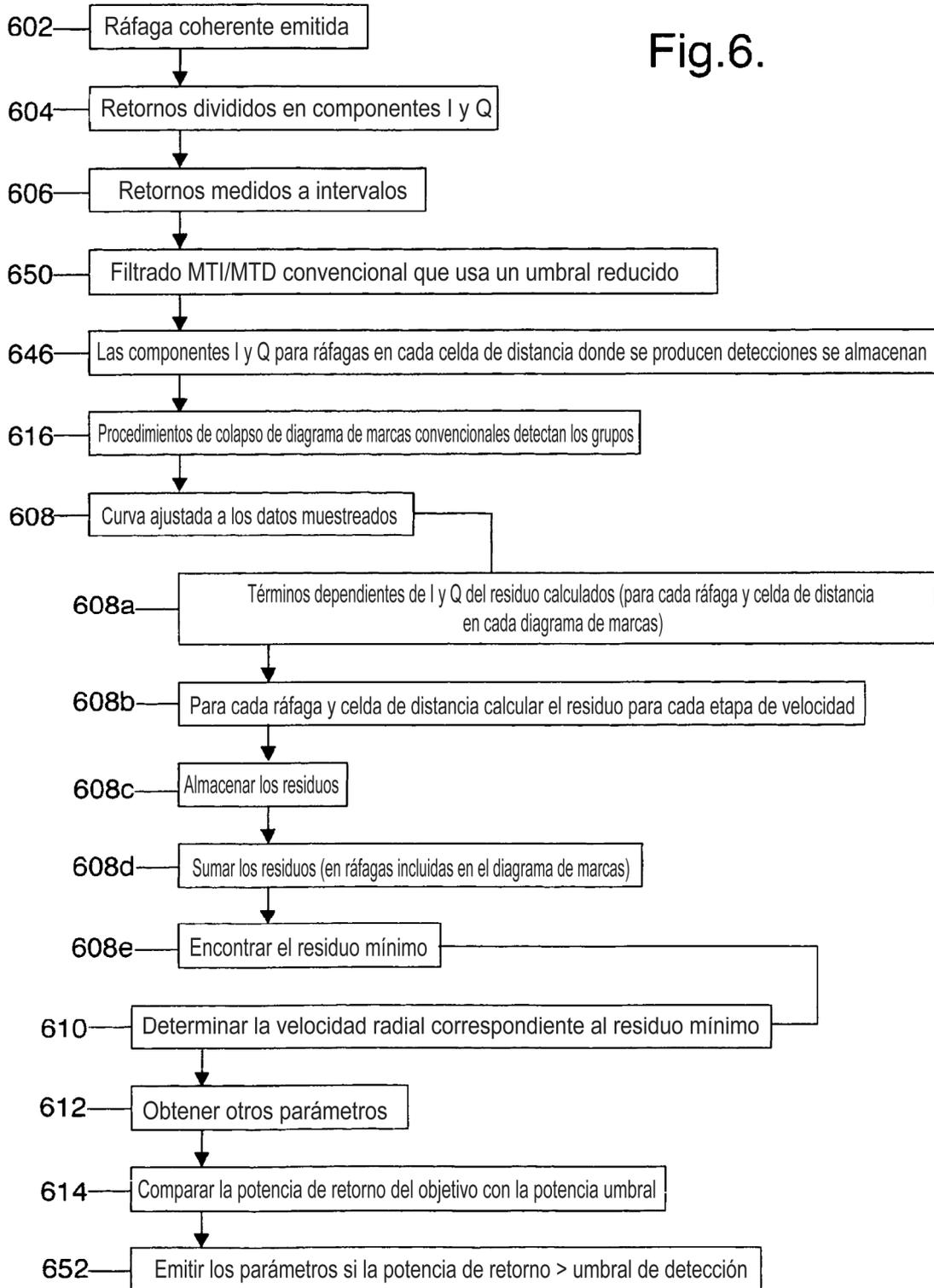


Fig.6.



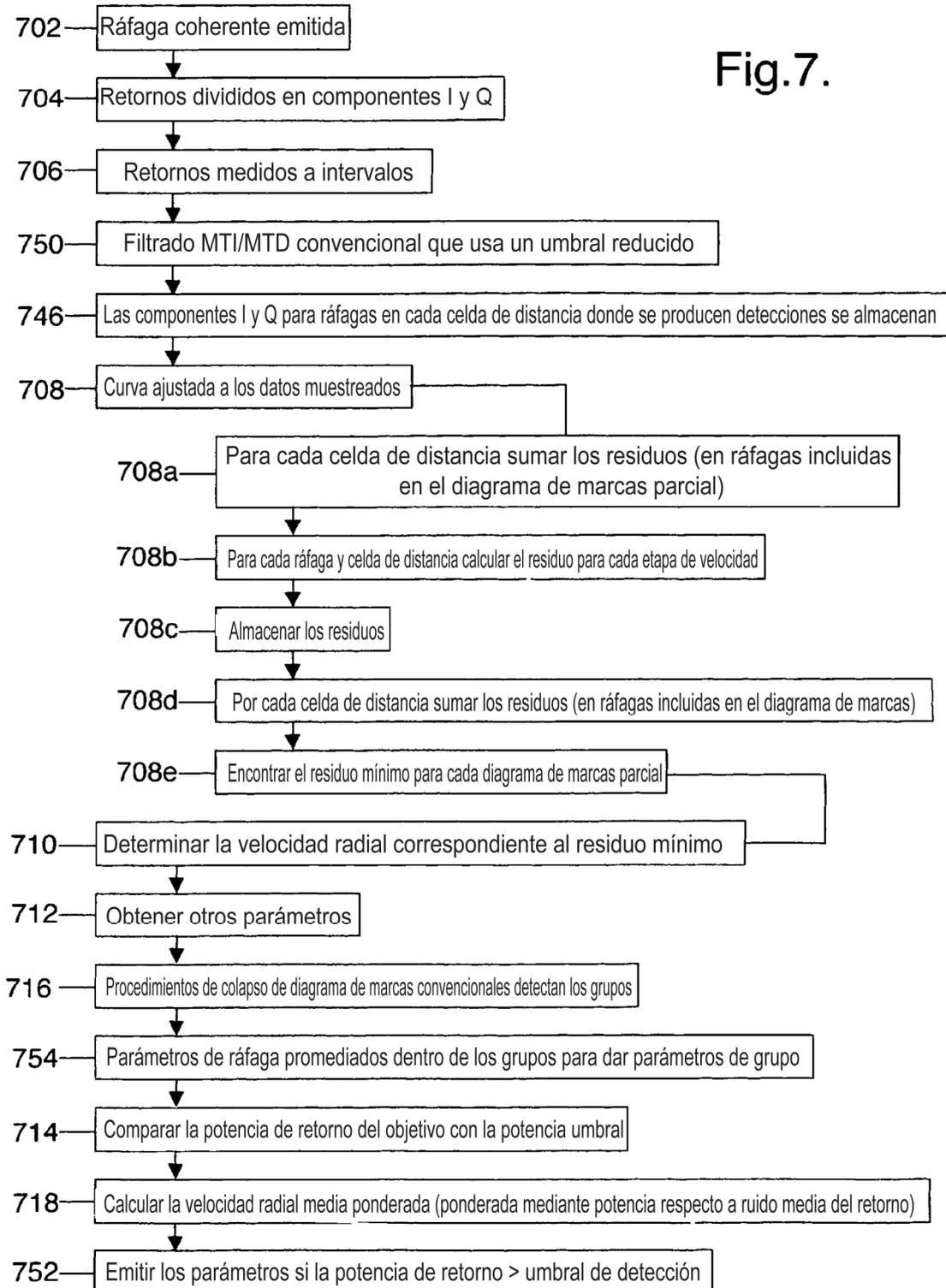


Fig.8.
Ambigüedad de distancia

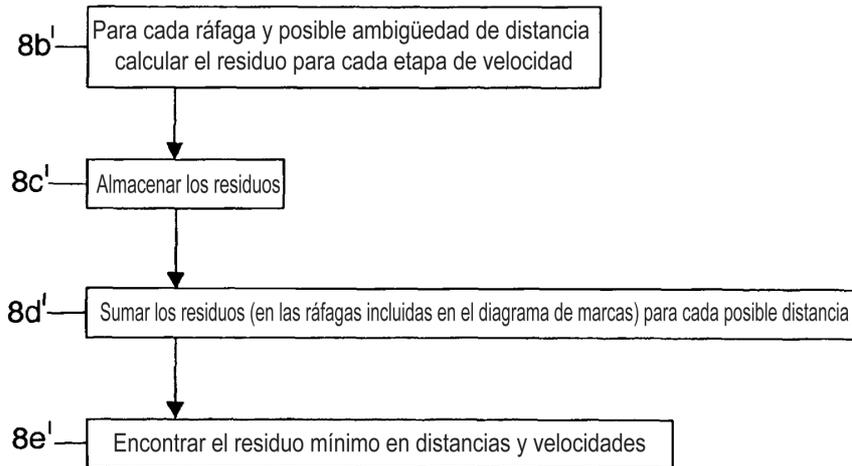


Fig.9.

