



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 304 422**

⑤1 Int. Cl.:
G01S 13/42 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧6 Número de solicitud europea: **02292200 .9**

⑧6 Fecha de presentación : **06.09.2002**

⑧7 Número de publicación de la solicitud: **1291670**

⑧7 Fecha de publicación de la solicitud: **12.03.2003**

⑤4 Título: **Procedimiento de determinación del azimut de un objetivo, por un radar en particular del tipo ASR.**

③0 Prioridad: **07.09.2001 FR 01 11620**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.10.2008

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.10.2008

⑦3 Titular/es: **Thales**
173, boulevard Haussmann
75008 Paris, FR

⑦2 Inventor/es: **Phelipot, Michel**

⑦4 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de determinación del azimut de un objetivo, por un radar en particular del tipo ASR.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de determinación del azimut de un objetivo por un radar, en particular del tipo ASR, iniciales de la expresión anglo-sajona Airport Surveillance Radar. La misma se aplica por consiguiente en particular a radares de vigilancia, utilizados por ejemplo en aplicaciones de administración del tráfico aéreo.

10 La misión de un radar primario consiste no sólo en indicar la presencia de objetivos de interés en su zona de detección, sino también suministrar informaciones relativas a estos objetivos, en particular sus posiciones a distancia y en azimut. Los radares primarios utilizados por ejemplo para el control del tráfico aéreo son esencialmente radares con dos dimensiones clásicos. Los mismos no utilizan las técnicas de tipo monopolso para elaborar la información de azimut, en particular por razones de economía. En estas condiciones esta información de azimut es obtenida más
15 frecuentemente por métodos de cálculo del tipo baricentro donde el azimut de las diferentes detecciones que componen el plot es ponderado por su amplitud.

En los radares antiguos, había un número significativo de informaciones de detecciones de un objetivo por período de iluminación del objetivo, porque estos radares no tenían procesamiento Doppler. A modo de ejemplo, para un tiempo de iluminación clásica de 15 ms. con un radar de aproximación que emitía una recurrencia cada 1 ms. aproximadamente, éste daba 15 zonas de recurrencia y por consiguiente 15 detecciones.

Los radares con procesamiento Doppler utilizados posteriormente realizaban un filtrado que se deslizaba sobre las
n últimas recurrencias de manera que una cantidad no despreciable de informaciones se quedaban.

25 Luego, las técnicas de filtrado Doppler MTD (Mobile Target Detector) combinadas con un funcionamiento en régimen de ráfagas utilizadas para mejorar la detección de los objetivos en presencia de cluter de suelo o de lluvia han tenido como consecuencia la reducción drástica del número de detecciones en cada objetivo. En numerosos casos, no hay más que una o dos detecciones sobre los objetivos lejanos o de pequeña superficie equivalente al radar. Para dar un
30 orden de magnitud al recurrir al ejemplo anterior, se ha pasado por consiguiente de 15 a 2 informaciones de posición por ráfaga, es decir el número de informaciones utilizables para hacer una extracción de posición en azimut.

La emergencia de los emisores en estado sólido con banda ancha instantánea que permite el funcionamiento sobre dos frecuencias para mejorar la detección por efecto de diversidad tiene como consecuencia suplementaria que el
35 número de detecciones sobre cada una de las frecuencias está aún dividida por dos.

A frecuencia fija, con dos informaciones de detección, resulta aún posible hacer una extracción de posición en azimut. Con la utilización de dos frecuencias, el número de detecciones al ser dividido por dos, no hay más que una sola detección por objetivo. No se puede así asociar más que el azimut del objetivo al azimut de la detección. Se puede
40 entonces considerar en primera aproximación que el error es distribuido sobre más o menos una media-anchura del lóbulo de antena. El error de posición deviene así significativo.

Una finalidad de la invención consiste en particular en mejorar la precisión en azimut de un radar por ejemplo del tipo ASR. A este efecto, la invención tiene por objeto un procedimiento de determinación del azimut de un objetivo
45 por un radar, el radar emitiendo una onda de detecciones por ráfagas de N impulsos. El procedimiento comprende al menos las etapas siguientes en una ráfaga:

- una etapa en la que la ráfaga es dividida en al menos dos semi-ráfagas, una ráfaga delantera y una ráfaga trasera;
- 50 - una etapa de filtrado de las semi-ráfagas para asociar un valor de azimut θ_1 y un valor de amplitud A_1 en la ráfaga delantera, y un valor de azimut θ_2 y un valor de amplitud A_2 en la ráfaga trasera;
- una etapa de obtención del azimut A_z del objetivo como correspondiente al máximo de una gaussiana que
55 pasa por los puntos de componentes $(\theta_1, A_1), (\theta_2, A_2)$.

De preferencia, las semi-ráfagas delantera y trasera tienen el mismo número de impulsos, N/2.

La invención tiene como principales ventajas que la misma permite mejorar de manera significativa los óptimos
60 resultados de discriminación de dos objetivos situados a la misma distancia y separados poco en azimut, que no complica el procesamiento radar y que es simple de poner en práctica.

Otras características y ventajas de la invención aparecerán con la ayuda de la descripción que sigue hecha en relación con dibujos anexados que representan:

- 65 - la figura 1, dos diagramas de una misma antena correspondiente a dos frecuencias de emisión f_1, f_2 diferentes;
- la figura 2, etapas posibles del procedimiento de acuerdo con la invención;

- la figura 3, un diagrama de la antena obtenido a partir de dos puntos de azimuts θ_1 , θ_2 predeterminados.

La figura 1 ilustra dos diagramas de antena de un radar en función del ángulo de azimut θ . Estos dos diagramas representan consecuentemente la ganancia de la antena y por consiguiente la señal recibida en función de este ángulo.

Una primera curva 1, de forma gaussiana, representa la señal recibida en una frecuencia f_1 . Una segunda curva 2, siempre de forma gaussiana, representa la señal recibida en una frecuencia f_2 . Estos diagramas son casi simétricos en relación con el eje de puntería 3 de la antena. Como ha sido indicado anteriormente, se está aquí en el caso de un radar que funciona sobre dos frecuencias con la finalidad en particular de aumentar la probabilidad de detección. El primer diagrama de antena 1 permite por ejemplo hacer dos detecciones ilustradas por dos plots 4,5 mientras que el segundo diagrama de antena no permite hacer más que una sola detección ilustrada por un plot 6. Estos plots indican la posición de los ecos de objetivo en los diagramas de antenas. De la presencia de estos ecos después de cada ráfaga de emisión del radar, se deduce en particular la posición en azimut del objetivo simbolizado por la posición de un centro plot.

Clásicamente el cálculo del centro plot en azimut se desarrolla en dos etapas. Se considera para esto un cúmulo de presencias de eco que se supone que resultan de un objetivo único y relativo con dos tipos de vigilia, en la medida en que el objetivo está en el dominio distancia próximo o lejano. El término "cúmulo" designa una agrupación de presencias de eco asociadas entre ellas de acuerdo con criterios de conexión a distancia y en azimut.

En una primera etapa, para cada frecuencia, se calcula un azimut de sub-plot correspondiente a esa frecuencia. Un sub-plot designa aquí la agrupación de todas las presencias de eco de un cúmulo perteneciente a una frecuencia dada. Un cúmulo puede por consiguiente estar compuesto por dos sub-plots o por un solo sub-plot. Si las presencias de eco de un sub-plot no pertenecen más que a una sola consulta radar o ráfaga, caso de un sub-plot denominado mono-ráfaga, el azimut de ese sub-plot es entonces el azimut de la consulta, es decir el azimut de la antena en el instante del centro de la ráfaga. Si el sub-plot está compuesto de presencias de eco que pertenecen a al menos dos consultas adyacentes de la misma frecuencia, caso de un sub-plot multi-ráfagas, su azimut resulta entonces calculado a partir de la presencia de eco del cúmulo de amplitud bruta máxima y de aquella del mismo compartimiento a distancia y de la ráfaga adyacente haciendo una hipótesis de lóbulo de antena gaussiano.

En una segunda etapa, el azimut del centro plot resulta entonces una media del azimut de los sub-plots si estos han sido calculados por el mismo método, los mismos son entonces ambos mono o multi-ráfagas. En el caso en el que uno solo sea multi-ráfagas, es entonces su azimut el que es conservado porque es considerado como de mejor calidad.

La figura 1 muestra que puede no tener más que una sola detección o presencia de eco 6 para un objetivo. El plot está por este hecho compuesto por un solo sub-plot mono-ráfaga. El azimut retenido es entonces cuantificado al paso de las ráfagas, es decir de la orden de 2 grados por ejemplo correspondiente al ancho en azimut del lóbulo de antena. En estas condiciones, el error puede alcanzar teóricamente $\pm 1^\circ$ con una separación tipo de $0,57^\circ$, es decir $2^\circ/\sqrt{12}$. En la realidad, los errores pueden ser un poco más pequeños porque cuando el objetivo está centrado entre dos ráfagas, tanto si su relación señal sobre ruido es demasiado pequeña para que sea detectada a causa del despuntaje, como si responde sobre dos ráfagas, en cuyo caso la precisión deviene correcta. Solo queda que para relaciones señal sobre ruido en particular inferiores a 25dB antes de integración coherente, la separación tipo del error de azimut es netamente superior a un valor de objetivo, por ejemplo aproximadamente $0,1^\circ$.

La figura 2 ilustra las etapas posibles del procedimiento de acuerdo con la invención aplicada a cada ráfaga de emisión, el radar emitiendo una onda detección por ráfagas de impulsos. Se ha observado anteriormente que es el filtrado Doppler MTD utilizado para mejorar la detección en el cluter, donde la relación señal sobre ruido es disminuida, lo que reduce el número de informaciones utilizables. Se ha observado también que un filtrado de este tipo, que necesita aumentar el número de recurrencias por ráfagas de emisión, tenía por efecto reducir el número de informaciones de detecciones, número aún reducido por la utilización de dos frecuencias en particular como lo ilustra la figura 1.

El procedimiento de acuerdo con la invención utiliza en particular el hecho, que antes del filtrado Doppler, las diferentes recurrencias que componen una ráfaga con frecuencia de emisión constante son moduladas en amplitud por el lóbulo de antena. La invención muestra que resulta entonces posible extraer el azimut del objetivo haciendo la hipótesis de un lóbulo de antena gaussiano de la misma forma que en el cálculo de un sub-plot multi-ráfagas. Para conservar una capacidad de separación del objetivo y del cluter, la ráfaga de N impulsos es recortada ficticiamente en dos semi-ráfagas de N/2 impulsos. Estas dos semi-ráfagas son entonces filtradas por un banco de filtros de orden N/2.

El procedimiento de acuerdo con la invención comprende por consiguiente una etapa 21 en la que una ráfaga de N recurrencias es dividida en dos semi-ráfagas compuestas respectivamente de las N/2 primeras recurrencias, semi-ráfaga delantera, y de las N/2 últimas recurrencias, semi-ráfaga trasera. Este corte ficticio se hace por ejemplo en la recepción, antes del filtrado. Preferentemente, la ráfaga es separada en dos grupos de N/2 impulsos. Sin embargo, la semi-ráfaga delantera puede no tener el mismo número de impulsos que la semi-ráfaga trasera. Por otra parte, es posible dividir la ráfaga en más de dos ráfagas.

En una siguiente etapa 22 las dos semi-ráfagas son filtradas. A la salida del filtro, se obtienen los valores de azimut θ_1 y θ_2 de la antena respectivamente en el centro de la semi-ráfaga delantera y en el centro de la semi-ráfaga trasera, así como amplitudes brutas A_1 y A_2 de la señal recibida correspondiente respectivamente a la semi-ráfaga delantera y a la semi-ráfaga trasera. Si la detección es asegurada por los medios de filtrado de las ráfagas completas, se puede disponer así del doble de informaciones para el cálculo del azimut utilizando el resultado del filtrado de las dos semi-

ráfagas. Para minimizar la carga de procesamiento, se puede realizar el filtrado de las semi-ráfagas sólo en las células donde hubo detección, el filtro utilizado siendo él mismo dirigido por el rango del filtro donde la detección ha sido observada. El procedimiento de acuerdo con la invención no complica por consiguiente el procesamiento radar. Éste es particularmente simple de poner en práctica.

En una etapa siguiente 33, el azimut del objetivo es calculado a partir de los resultados de filtrado de las dos semi-ráfagas. Esta etapa se basa en particular en la constatación de que generalmente el lóbulo de antena tiene una forma casi gaussiana en azimut, al menos en la parte útil para la detección de los objetivos de pequeña relación señal sobre ruido, es decir alrededor del máximo del diagrama de antena. El conocimiento de dos puntos del diagrama, de componentes (θ_1, A_1) y (θ_2, A_2) , bastan entonces para determinar la posición del máximo. El ángulo correspondiente a este máximo es el azimut buscado como lo ilustra la figura 3 que presenta una gaussiana 31 que pasa por estos dos puntos. Así, si para los azimuts θ_1 y θ_2 las amplitudes medidas sobre un objetivo son A_1 y A_2 , el azimut Az del objetivo está dado por la relación siguiente:

$$Az = \left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right) + \frac{\theta_{3dB}^2}{2a(\theta_1 - \theta_2)} \text{Log} \frac{A_1}{A_2} \quad (1)$$

donde

θ_{3dB} es el ancho del lóbulo de antena del radar en azimut expresado en -3dB y

a es una constante que vale $8\text{Log}2$, o sea 5,54518.

Esta relación (1) es utilizada para asociar a todas las detecciones un azimut de objetivo Az , una detección correspondiente a la determinación de los valores θ_1 , θ_2 , A_1 , A_2 .

En una etapa posterior, el azimut Az es por ejemplo utilizado como criterio de asociación de las detecciones en azimut para la formación de los plots en lugar del azimut de la detección, o dicho de otra manera el azimut de la ráfaga, que corre el riesgo de ser marcado por un error como ha sido visto anteriormente. Esto tiene en particular como ventaja mejorar de manera significativa los resultados óptimos de discriminación de dos objetivos situados a la misma distancia y separados muy poco en azimut.

Para un radar que funciona con dos frecuencias de emisión f_1 , f_2 la respuesta de un objetivo está en principio compuesta por dos sub-plots SP1 y SP2, uno para cada frecuencia. El azimut de un sub-plot está por ejemplo determinado conforme a las etapas precitadas 21, 22, 23, en particular de acuerdo con la relación (1).

Sin embargo, cuando un sub-plot está compuesto por al menos dos detecciones, no es ya necesario en este caso cortar ficticiamente la ráfaga en dos semi-ráfagas. La relación (1) puede ser aplicada entonces para calcular un azimut para este sub-plot utilizando las amplitudes de ráfagas, y no ya de semi-ráfagas, máxima de la detección principal y sub-máxima de la detección adyacente. Desde luego es siempre posible no retener como azimut del sub-plot el azimut objetivo calculado para esta detección.

En la medida en que un sub-plot esté compuesto por una única detección o no, es decir en la medida en que una ráfaga contenga en el nivel de la recepción una o varias informaciones de detección, el azimut de este sub-plot es por consiguiente:

- el azimut objetivo obtenido utilizando las dos semi-ráfagas de la detección conforme a las etapas 21, 22, 23 del procedimiento, en el caso de una mono detección;
- el azimut objetivo obtenido utilizando las dos ráfagas, o detecciones, de ese sub-plot de amplitud máxima y sub-máxima adyacente, en el caso de una multi-detección.

El azimut objetivo obtenido a partir de dos sub-plots es siempre de mejor calidad que el de un sub-plot mono detección porque el filtrado Doppler que utiliza N impulsos tiene resultados más óptimos y al estar más alejadas las dos medidas, la influencia de los ruidos es menor. Se le atribuye por consiguiente más importancia, lo que se traduce en la obtención del azimut del plot en función de los azimuts de dos sub-plots SP1, SP2 como es definido más adelante, los dos sub-plots SP1, SP2 son por ejemplo los obtenidos en las dos frecuencias diferentes f_1 , f_2 :

- presencia del único sub-plot SP1 mono detección, el azimut del plot es el azimut del sub-plot SP1;
- presencia del único sub-plot SP2 mono detección, el azimut del plot es el azimut del sub-plot SP2;
- presencia del sub-plot SP1 de composición mono detección y del sub-plot SP2 de composición mono detección, el azimut del plot es la media de los azimuts de los sub-plots SP1, SP2, es decir que si Az_1 y Az_2 son esos azimuts, el azimut del plot es $(Az_1 + Az_2)/2$;

ES 2 304 422 T3

- presencia del sub-plot SP1 de composición multi-detección y del sub-plot SP2 de composición mono detección, el azimut del plot es el azimut del sub-plot SP1;
- presencia del sub-plot SP1 de composición mono detección y del sub-plot SP2 de composición multi-detección, el azimut del plot es el azimut del sub-plot SP2;
- presencia del sub-plot SP1 y del sub-plot SP2, ambos de composición multi-detección, el azimut del plot es la media ponderada por las amplitudes de los azimuts de los sub plots SP1 y SP2.

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento de determinación del azimut de un objetivo por un radar, el radar emitiendo una onda de detecciones por ráfagas de N impulsos, **caracterizado** porque comprende al menos las siguientes etapas, para una ráfaga:

- una etapa (21) en la que la ráfaga es dividida en al menos dos semi-ráfagas, una ráfaga delantera y una ráfaga trasera;
- 10 - una etapa (22) de filtrado de las semi-ráfagas para asociar un valor de azimut θ_1 y un valor de amplitud A_1 a la ráfaga delantera, y un valor de azimut θ_2 y un valor de amplitud A_2 a la ráfaga trasera;
- una etapa (23) de obtención del azimut Az del objetivo como correspondiente al máximo de una gaussiana (31) que pasa por los puntos de componentes $(\theta_1, A_1), (\theta_2, A_2)$.

15 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque las ráfagas delantera y trasera comprenden cada una N/2 impulsos.

20 3. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el azimut Az está dado por la relación siguiente:

$$Az = \left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right) + \frac{\theta_{3dB}^2}{2a(\theta_1 - \theta_2)} \log \frac{A_1}{A_2} \quad (1)$$

- 25 - θ_{3dB} siendo el ancho del lóbulo de antena del radar en azimut expresado en -3dB;
- a siendo una constante.

30 4. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque la ráfaga contiene al nivel de la recepción una sola información de detección.

35 5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque el radar es del tipo ASR.

40

45

50

55

60

65

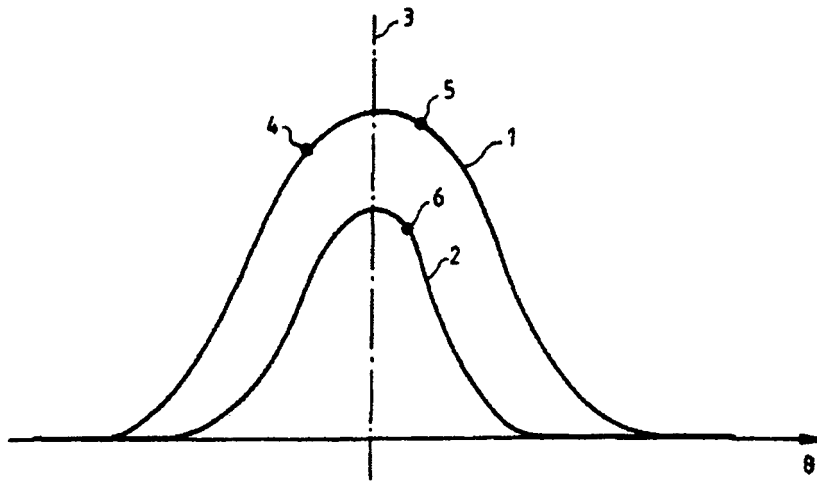


FIG. 1

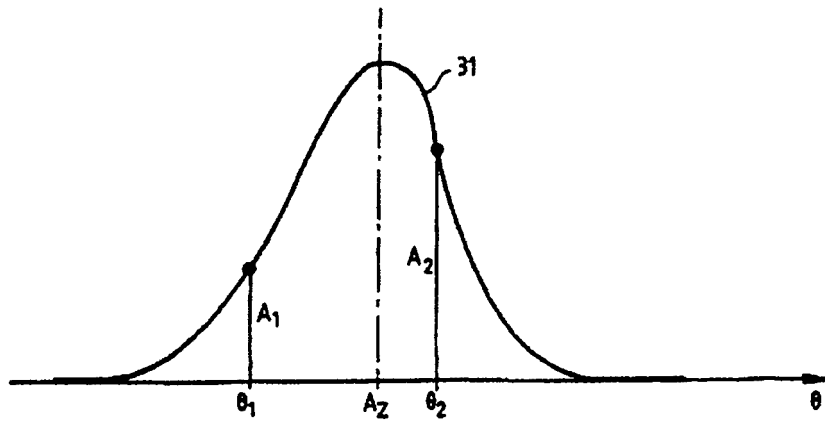


FIG. 3

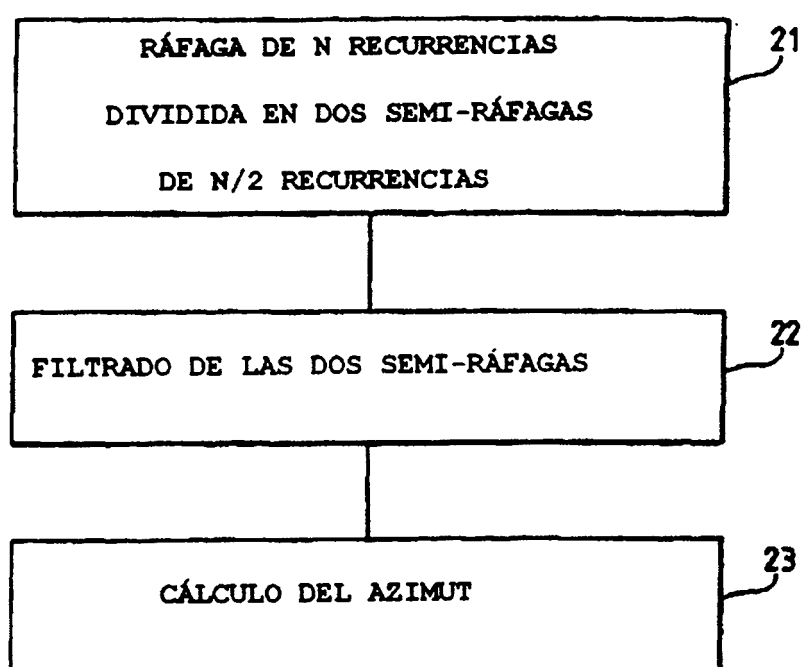


FIG.2