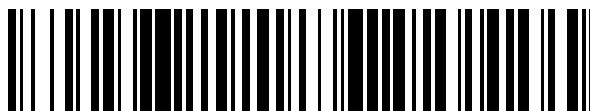


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 428 415**

51 Int. Cl.:

G01S 7/40 (2006.01)

G01S 13/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2010** **E 10015062 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2013** **EP 2458400**

54 Título: **Procedimiento para la determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.11.2013

73 Titular/es:

EADS DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)
Willy-Messerschmidt-Strasse 1
85521 Ottobrunn, DE

72 Inventor/es:

SCHNEIDER, ROBERT, DR.

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 428 415 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos

La invención se refiere a un procedimiento para la determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos con un sistema de radar con antena de grupos controlada electrónicamente y formación analógica de haz de canales de suma y de canales de diferencia.

1. Estado de la técnica

1a Monoimpulso convencional

Las antenas de grupos controlables electrónicamente ("Phased Array Antenna") están constituidas por la disposición lineal o superficial de una pluralidad de elementos de antena con ángulo de apertura ancho, que se pueden ajustar individualmente en su ocupación de amplitud y ocupación de fases y generan conjuntamente un diagrama concentrado de antenas [1]. A través de la ocupación de las fases se ajusta la dirección de la visión, la ocupación de las amplitudes ('Taper') establece la curva característica de los lóbulos laterales. Normalmente, las señales de salida de los elementos individuales se suman físicamente a través de filtros de antenas de alta frecuencia ('Combiner') y suministran la señal de salida de la antena de grupos. Los diagramas de sumas y diferencias para la determinación de la dirección por monoimpulsos [1] se forman dividiendo por la mitad la apertura total y agrupando las señales de sumas de las mitades en el llamado combinador monoimpulsos en salidas separadas con el mismo signo y con signo contrario. La ocupación de las amplitudes es, por lo tanto, forzosamente idéntica para el diagrama de sumas y el diagrama de diferencias. A partir de la señal de la antena de sumas Σ y la señal de la antena de diferencias Δ se puede formar los discriminantes de monoimpulsos

$$r = \text{Im} \left\{ \frac{\Delta}{\Sigma} \right\} \quad (1)$$

como base para la determinación de la orientación por medio de la formación de monoimpulsos.

Para el caso bidimensional se divide la apertura en dirección horizontal (x-) y en dirección vertical (y-), lo que conduce entonces a las dos señales diferenciales Δ_x y Δ_y , con las que se obtienen los discriminantes de monoimpulsos

$$\begin{aligned} r_x &= \text{Im} \left\{ \frac{\Delta_x}{\Sigma} \right\} \\ r_y &= \text{Im} \left\{ \frac{\Delta_y}{\Sigma} \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

Para determinación de orientación horizontal y vertical, respectivamente.

En el supuesto de diagramas de antenas idénticos de las mitades de la apertura, se determina a partir de ello el valor de determinación en coordenadas-u y -v en forma de las clasificaciones de ángulos δu , δv desde la dirección de la visión de las antenas según

$$\begin{aligned} \delta u &= \frac{2}{k_0 d_x} \cdot \arctan(r_x) \\ \delta v &= \frac{2}{k_0 d_y} \cdot \arctan(r_y) \end{aligned} \quad (3)$$

Con $k_0 = 2\pi f_0 / c_0$ se designa en este caso el número de ondas a la frecuencia de funcionamiento del radar f_0 , d_x y d_y son las distancias entre los centros de las fases de las mitades respectivas de la apertura en dirección horizontal y en dirección vertical, respectivamente. Las aperturas parciales no presentarán en la práctica diagramas idénticos, pero la ecuación 3 representa una aproximación muy buen en la zona del lóbulo principal del diagrama de sumas, con tal que se pueda realizar una distribución simétrica de las aperturas (por ejemplo, antenas superficiales rectangulares, circulares o elípticas). La zona de determinación de la dirección útil se extiende típicamente hasta una caída de aproximadamente 12 dB del lóbulo principal.

La relación funcional de δu , δv con r_x , r_y se designa como curva característica monoimpulso. Para la determinación de clasificaciones menores en torno a la dirección de la visión de las antenas, se linealiza ésta con frecuencia con

las pendientes en el punto de anulación en dirección-u y en dirección-v según

$$\begin{aligned} m_u &= \frac{2}{k_0 d_x} \\ m_v &= \frac{2}{k_0 d_y} \end{aligned} \quad (4)$$

Las posiciones $x^{(n)}$, $y^{(n)}$ de los centros de las fases de las aperturas parciales se determinan con la ayuda de una formación del centro de gravedad sobre todos los elementos individuales, a partir de los cuales se compone la mitad de la apertura respectiva (con $n \in \{r, l, o, u\}$ para la mitad derecha, izquierda, superior e inferior). A partir de las coordenadas $x_{e,v}^{(n)}$, $y_{e,v}^{(n)}$ y de las ponderaciones de las amplitudes $g_{e,v}^{(n)}$ de los elementos individuales de una apertura parcial se calculan las coordenadas de los centros de las fases para

$$\begin{aligned} x^{(n)} &= \frac{\sum_v x_{e,v}^{(n)} \cdot g_{e,v}^{(n)}}{\sum_v g_{e,v}^{(n)}} \\ y^{(n)} &= \frac{\sum_v y_{e,v}^{(n)} \cdot g_{e,v}^{(n)}}{\sum_v g_{e,v}^{(n)}} \end{aligned} \quad (5)$$

a partir de lo cual se obtienen finalmente las distancias de los centros de las fases de las mitades horizontal y vertical de la apertura.

$$\begin{aligned} d_x &= x^{(r)} - x^{(l)} \\ d_y &= y^{(o)} - y^{(u)} \end{aligned} \quad (6)$$

Por lo tanto, se conocen todas las variables para realizar la determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos a partir de las señales de sumas y de las señales de diferencias de una antena de grupos ideal (libre de errores).

Las desviaciones de la ocupación ideal de la apertura – en particular errores de simetría – conducen a errores de determinación de la dirección. Las causas deterministas de tales desviaciones son, por ejemplo, elementos individuales defectuosos o grupos enteros de elementos defectuosos (líneas, ‘tablones’, ‘listones’).

El error sistemático de determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos $\{\varepsilon_u, \varepsilon_v\}$ se puede determinar calculando en posiciones discrecionales $\{u, v\}$ dentro de la zona de definición del monoimpulso alrededor de la dirección de la visión de las antenas $\{u_{ant}, v_{ant}\}$ la determinación de la dirección $\{\delta u, \delta v\}$ de acuerdo con la ecuación 3 y determinando la diferencia con respecto a la posición real en u y v :

$$\begin{aligned} \varepsilon_u &= u - u_{ant} - \delta u \\ \varepsilon_v &= v - v_{ant} - \delta v \end{aligned} \quad (7)$$

Para Σ , Δ_x y Δ_y se pueden emplear en este caso los valores de los diagramas correspondientes de las antenas en dirección $\{u, v\}$. Éstos son idénticos, en el caso de ausencia de ruido, con las señales, que la antena suministra para un frente de ondas incidente desde la dirección $\{u, v\}$.

El error total de la determinación de la dirección en el importe se eleva a

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_u^2 + \varepsilon_v^2} \quad (8)$$

La repercusión de los errores sobre la ocupación de la apertura se ilustra a modo de ejemplo con la ayuda de la simulación de una antena de grupos bidimensional, de forma circular con 1000 elementos en la banda-X, que están

dispuestos en una matriz triangular. La figura 1 visualiza la posición y las amplitudes de los elementos individuales en una escala lineal normalizada. Para la reducción de los lóbulos adicionales se realiza una ocupación, que cae hacia el borde a -15 dB (aproximadamente (0,2). Se supone que la apertura está compuesta constructivamente por semilíneas verticales, cuatro de las cuales han fallado, con lo que aparecen errores de simetría en dirección horizontal y vertical.

En las figuras 2 y 3 se representan errores de importe de la determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos de acuerdo con las ecuaciones 3 a 8 dentro de la zona de la determinación de la dirección codificados en fases de grises. Como límite de la zona de determinación de la dirección se supone aquí la caída de 6 dB del diagrama de sumas, que describe para esta antena aproximadamente un círculo con un radio de 0,05 alrededor de la dirección de la visión (aquí: $\{u_{ant}, v_{ant}\} = \{0,0\}$) en el plano u/v. Esta zona comprende aproximadamente la mitad de toda la anchura del lóbulo principal o bien 1,5 veces la anchura del lóbulo de 3dB.

Para la ocupación de la apertura libre de errores (figura 2) solamente se pueden establecer desviaciones reducidas en el borde de la zona. Alcanzan un valor máximo de 3 % con respecto al valor máximo de determinación de la dirección. En el supuesto de errores de apertura (figura 3), el error máximo de determinación de la dirección se eleva claramente hasta 15 %.

En el estado actual de la técnica para sistemas de radar con antenas de grupos articuladas electrónicamente, cuyos diagramas de sumas y diagramas de diferencias se forman analógicamente, se toleran errores de determinación de la dirección en ciertos límites.

1b El monoimpulso generalizado

En el caso general de una antena de grupos, los diagramas de sumas y los diagramas de diferencias no se forman, como se ha descrito en la sección 1a, a través de combinación (física, analógica) en el lado de alta frecuencia, sino que las señales de recepción de los elementos individuales están presentes en primer lugar individualmente. Después de su digitalización, se pueden realizar digitalmente entonces formaciones discrecionales de haces y, por lo tanto, también la determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos ('digital beam forming', DBF), multiplicando y sumando las señales de elementos numéricamente por factores de ponderación complejos. Esto significa, en efecto, un gasto de hardware considerablemente mayor para la antena, pero de esta manera se obtienen muchos grados de libertad en la configuración de sus propiedades. Con respecto al cálculo de monoimpulsos, se suprime la limitación de que el diagrama de sumas y el diagrama de diferencias se forman con la misma ocupación de las amplitudes, de manera que aquí son posibles soluciones optimizadas. Sobre la base de la Estimación de Máxima Probabilidad (MLE) se encuentran factores de ponderación para la formación de los diagramas de sumas y de diferencias, en los que se pueden tener en cuenta también las desviaciones de la apertura ideal de la antena. Un ejemplo de ello son las matrices delgadas ('thinned'). Los algoritmos y los diferentes aspectos de un monoimpulso generalizado de este tipo se describen, por ejemplo, en [2].

La idea básica del monoimpulso generalizado según [2] consiste en determinar a partir de los discriminantes del monoimpulso $r_{x,y}$ (ecuación 2) de la antena defectuosa, por medio de una reproducción afín (desplazamiento simple y transformación lineal), valores adaptados de la determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos δu_{ad} y δv_{ad} . Esto se describe en forma de un sistema de ecuación lineal:

$$\begin{pmatrix} \delta u_{ad} \\ \delta v_{ad} \end{pmatrix} = C \cdot \begin{pmatrix} r_x - \mu_x \\ r_y - \mu_y \end{pmatrix} \quad (9)$$

De esta manera, se adaptan la pendiente ('slope') y la desviación ('bias') de la determinación de la orientación por medio de la formación de monoimpulsos en la dirección de la visión de la antena, a las relaciones reales.

Los térmicos de corrección C y $\mu_{x,y}$ se derivan a partir de los requerimientos en el sentido de que en la dirección de la visión debe aplicarse

$$\begin{aligned} \delta u_{ad}(u_{ant}, v_{ant}) &= 0 \\ \delta v_{ad}(u_{ant}, v_{ant}) &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

y para sus derivaciones parciales (incrementos)

$$\left(\begin{array}{cc} \frac{\partial \delta u_{ad}}{\partial u} & \frac{\partial \delta u_{ad}}{\partial v} \\ \frac{\partial \delta v_{ad}}{\partial u} & \frac{\partial \delta v_{ad}}{\partial v} \end{array} \right)_{(u_{ant}, v_{ant})} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Este principio contiene la hipótesis simplificada de una linealización alrededor del punto de la dirección de la visión, lo que posibilita entonces una solución cerrada para C y $\mu_{x,y}$, como función de las variables que describen la antena. La derivada y la solución general (en tipo de escritura de vectores) se encuentran en [2].

- 5 La aplicación del monoimpulso generalizado según [2] no es adecuada, sin embargo, para la corrección de errores moderados de la apertura. En particular, la linealización realizada en su formulación según la ecuación 9 para posiciones mayores de la dirección de la visión de la antena conduce a errores, que son mayores que los provocados típicamente por elementos de antenas defectuosos.

2. Cometido

- 10 La invención tiene el cometido de conseguir, aplicando la determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos en una antena de grupos con formación analógica del haz de diagramas de sumas y diagramas de diferencias, también en el caso de ocupación perturbada de la apertura de la antena, una determinación de la dirección con una alta exactitud.

3. Invención

- 15 Este cometido se soluciona con el procedimiento según la reivindicación 1. Las formas de realización ventajosas de la invención son objeto de reivindicaciones dependientes.

El concepto del monoimpulso generalizado conocido a partir del estado de la técnica se modifica de acuerdo con la invención para tener en cuenta también en antenas de grupos con formación analógica del haz de canales de sumas y de canales de diferencias las desviaciones conocidas anteriormente de la ocupación de la apertura con respecto al caso ideal durante el cálculo del monoimpulso.

- 20 Muchas veces en el sistema general de radar a través de auto-pruebas realizadas cíclicamente ('chequeo sanitario', 'ensayos incorporados', por ejemplo en cada arranque del sistema) se conoce qué elementos de la apertura de recepción de la antena (elementos individuales o tablonos o bien listones) están defectuosos. Estas informaciones son utilizadas de acuerdo con la invención para aprovecharlas para el cálculo de una determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos corregida en los errores.

Además, también se pueden introducir en la corrección errores de amplitudes y errores de fases conocidos de los elementos de recepción.

- 30 Pero también se conocen de antemano desviaciones constructivas de la apertura de la antena respecto del caso ideal de la divisibilidad simétrica (por ejemplo, para la realización de antenas conformes con la estructura) y se pueden tener en cuenta en la corrección.

Con la invención se puede garantizar un funcionamiento prolongado libre de mantenimiento de la antena de grupos, sin tener que hacer salvedades con respecto a la exactitud de la determinación de la dirección.

A continuación se explica en detalle la invención con la ayuda de ejemplos de realización concretos con referencia a las figuras. En este caso:

- 35 La figura 1 muestra una ocupación de la apertura de una antena de grupos bidimensional en el supuesto de cuatro semilíneas defectuosas.

La figura 2 muestra errores de orientación de la determinación de la orientación por monoimpulsos convencional para una ocupación de la apertura libre de errores.

- 40 La figura 3 muestra errores de orientación de la determinación de la orientación por monoimpulsos en el caso de errores de simetría a través de semilíneas defectuosas sobre la apertura.

La figura 4 muestra errores de orientación de la determinación de la orientación por monoimpulsos corregida a través de semilíneas defectuosas sobre la apertura.

- 45 De acuerdo con la invención, la reproducción para la determinación de los valores de orientación de monoimpulsos adaptados δu_{corr} y δv_{corr} se describe a partir de los discriminantes de monoimpulsos $r_{x,y}$ (ecuación 2) de la antena defectuosa por medio del siguiente sistema de ecuación lineal:

$$\begin{pmatrix} \delta u_{\text{corr}} \\ \delta v_{\text{corr}} \end{pmatrix} = \mathbf{C} \cdot \begin{pmatrix} \arctan(r_x) - \mu_x \\ \arctan(r_y) - \mu_y \end{pmatrix} \quad (12)$$

La consideración de la relación no lineal entre la discriminante de monoimpulso y los valores de determinación de la dirección en forma de la función de arcotangente permite en toda la zona de determinación de la dirección la corrección de la determinación de la dirección de monoimpulso con la exactitud necesaria.

5 Para la determinación de los términos de la corrección $\mathbf{C}$ y $\mu_{x,y}$, en el caso de acuerdo con la invención de una antena de grupos con formación analógica del haz de canales de sumas y de canales de diferencias, se necesitan las siguientes variables:

- Las posiciones x_n e y_n de todos los elementos individuales sobre la apertura con relación al centro,
- Los pesos reales de las amplitudes g_n de todos los elementos individuales sobre la apertura (para los elementos defectuosos hay que colocar $g_n = 0$, en el caso de errores de amplitudes o bien errores de fases conocidos, la amplitud compleja correspondiente).

10

De ello resulta para los términos de la corrección del desplazamiento $\mu_{x,y}$ en tipo de escritura escalar implementable

$$\begin{aligned} \mu_x &= \text{Im} \left\{ \frac{\sum_n g_n^* \cdot \text{sgn}(x_n)}{\sum_n g_n^*} \right\} \\ \mu_y &= \text{Im} \left\{ \frac{\sum_n g_n^* \cdot \text{sgn}(y_n)}{\sum_n g_n^*} \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

15 La matriz de la transformación lineal

$$\mathbf{C} = \mathbf{D}^{-1} = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{pmatrix}^{-1} \quad (14)$$

resulta como la invertida de la matriz $\mathbf{D}$ 2x2 a partir de los elementos

$$\begin{aligned} d_{11} &= \frac{\text{Im} \left\{ jk_0 \left(\sum_n g_n^* x_n \text{sgn}(x_n) \cdot \sum_n g_n - \sum_n g_n^* \text{sgn}(x_n) \cdot \sum_n g_n x_n \right) \right\}}{\left| \sum_n g_n \right|^2} - 2\mu_x \cdot \text{Re} \left\{ \frac{jk_0 \sum_n g_n^* x_n}{\sum_n g_n^*} \right\} \\ d_{12} &= \frac{\text{Im} \left\{ jk_0 \left(\sum_n g_n^* y_n \text{sgn}(x_n) \cdot \sum_n g_n - \sum_n g_n^* \text{sgn}(x_n) \cdot \sum_n g_n y_n \right) \right\}}{\left| \sum_n g_n \right|^2} - 2\mu_x \cdot \text{Re} \left\{ \frac{jk_0 \sum_n g_n^* y_n}{\sum_n g_n^*} \right\} \end{aligned}$$

20

$$d_{21} = \frac{\text{Im} \left\{ jk_0 \left(\sum_n g_n^* x_n \text{sgn}(y_n) \cdot \sum_n g_n - \sum_n g_n^* \text{sgn}(y_n) \cdot \sum_n g_n x_n \right) \right\}}{\left| \sum_n g_n \right|^2} - 2\mu_y \cdot \text{Re} \left\{ \frac{jk_0 \sum_n g_n^* x_n}{\sum_n g_n^*} \right\}$$

$$d_{22} = \frac{\text{Im} \left\{ jk_0 \left(\sum_n g_n^* y_n \text{sgn}(y_n) \cdot \sum_n g_n - \sum_n g_n^* \text{sgn}(y_n) \cdot \sum_n g_n y_n \right) \right\}}{\left| \sum_n g_n \right|^2} - 2\mu_y \cdot \text{Re} \left\{ \frac{jk_0 \sum_n g_n^* y_n}{\sum_n g_n^*} \right\} \quad (15)$$

Para g_n puramente real, como hay que suponer en el caso de elementos defectuosos así como con asimetrías deliberadas, los $\mu_{x,y}$ desaparecen, de manera que se suprime la corrección de la desviación y también se simplifica claramente el cálculo de la d_{ij} en

$$d_{11} = k_0 \frac{\sum g_n x_n \text{sgn}(x_n) \cdot \sum g_n - \sum g_n \text{sgn}(x_n) \cdot \sum g_n x_n}{(\sum g_n)^2}$$

$$d_{12} = k_0 \frac{\sum g_n y_n \text{sgn}(x_n) \cdot \sum g_n - \sum g_n \text{sgn}(x_n) \cdot \sum g_n y_n}{(\sum g_n)^2}$$

$$d_{21} = k_0 \frac{\sum g_n x_n \text{sgn}(y_n) \cdot \sum g_n - \sum g_n \text{sgn}(y_n) \cdot \sum g_n x_n}{(\sum g_n)^2}$$

$$d_{22} = k_0 \frac{\sum g_n y_n \text{sgn}(y_n) \cdot \sum g_n - \sum g_n \text{sgn}(y_n) \cdot \sum g_n y_n}{(\sum g_n)^2} \quad (16)$$

En oposición al monoimpulso convencional con las ecuaciones 2, 3, 5 y 6, en cuyo cálculo entran, además de las posiciones, las desviaciones teóricas de las amplitudes de los elementos de la antena, aquí (ecuaciones 2, 9, 13, 14 y 15) entran los pesos reales.

Para el caso de una antena con semilíneas fallidas, considerado a modo de ejemplo en la Sección 1a, en la figura 4 se representan los errores de determinación de la dirección resultantes del monoimpulso corregido de acuerdo con la invención. En comparación con el monoimpulso convencional (figura 3), se muestra una reducción clara de los errores máximos. Para una evaluación cuantitativa del potencial de mejora de la determinación de la dirección por monoimpulsos corregida de acuerdo con la invención se indican a modo comparativo en la Tabla siguiente los errores medios cuadráticos dentro de toda la zona de determinación de la dirección. Como el monoimpulso corregido según esta invención se pueden conseguir, por lo tanto, para la antena considerada, incluso en el caso de fallo de cuatro semilíneas, determinaciones de la dirección no perjudicadas esencialmente frente al estado ideal. Los errores pequeños, como por ejemplo elementos individuales defectuosos, se corrigen prácticamente del todo.

Estado de apertura	Procedimiento de monoimpulso	Error de dirección
Ideal	Monoimpulso convencional	1,8 % ms
4 tableros fallados	Monoimpulso convencional	6,6 % ms
4 tableros fallados	Monoimpulso corregido	2,2 % ms

- 5 El gasto adicional para la determinación de la dirección por monoimpulso corregida se limita esencialmente al cálculo de los términos de la corrección C y $\mu_{x,y}$ (en el caso de g_n real, solamente C), pero que debe realizarse solamente una vez para la adaptación a las propiedades no ideales dadas de la antena o bien cuando éstas se modifican (por ejemplo, después del arranque del sistema con auto-prueba para la identificación de elementos fallidos). El proceso de corrección propiamente dicho en el modo operativo consiste solamente en la aplicación de la ecuación 12, lo que significa solamente un sobregasto mínimo en comparación con el monoimpulso convencional (ecuación 3).

Estado de la técnica citado en la introducción de la descripción

- 10 [1] Merrill Skolnik: Radar Handbook, 2ª edición; McGraw-Hill Book Company, Singapur, 1980
[2] Ulrich Nickel: Overview of Generalized Monopulse Estimation; IEEE A&E Systems Magazine, Vol. 21, No. 6, Junio 2006, Parte 2: Tutorials, páginas. 27-56

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento la determinación de la dirección por medio de la formación de monoimpulsos en un sistema de radar con antena de grupos controlada electrónicamente y formación analógica del haz de canales de sumas y de canales de diferencias, caracterizado porque se lleva a cabo una auto-prueba de la antena para la identificación de elementos de recepción defectuosos, y el resultado de la auto-prueba es introducido directamente en la formación de monoimpulsos para corregir de esta manera los errores, siendo convertido el resultado de la auto-prueba en valores de corrección en forma de una matriz de transformación lineal C y de términos de corrección de desviación μ_x , μ_y , que independientemente de la dirección de la visión de la antena, son combinados con los de la señal del canal de suma Σ y con las señales de canal de diferencia Δ_x , Δ_y de la antena de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} \delta u_{\text{corr}} \\ \delta v_{\text{corr}} \end{pmatrix} = \mathbf{C} \cdot \begin{pmatrix} \arctan \left(\text{Im} \left\{ \frac{\Delta_x}{\Sigma} \right\} \right) - \mu_x \\ \arctan \left(\text{Im} \left\{ \frac{\Delta_y}{\Sigma} \right\} \right) - \mu_y \end{pmatrix},$$

en la que δu_{corr} y δv_{corr} son los valores corregidos de determinación de la dirección, definidos como posiciones angulares de la dirección de visión de la antena, en el que en el cálculo de los valores de corrección C, μ_x , μ_y se introducen los siguientes parámetros de la antena de grupos:

- las posiciones x_n , y_n de los elementos de recepción en la apertura de la antena con relación a su centro,
- los pesos reales de las amplitudes g_n de los elementos de recepción sobre la apertura

de acuerdo con las siguientes relaciones:

$$\mu_x = \text{Im} \left\{ \frac{\sum_n g_n^* \cdot \text{sgn}(x_n)}{\sum_n g_n^*} \right\},$$

$$\mu_y = \text{Im} \left\{ \frac{\sum_n g_n^* \cdot \text{sgn}(y_n)}{\sum_n g_n^*} \right\}.$$

$$\mathbf{C} = \mathbf{D}^{-1} = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{pmatrix}^{-1} \quad \text{con}$$

$$d_{11} = \frac{\text{Im} \left\{ jk_0 \left(\sum_n g_n^* x_n \text{sgn}(x_n) \cdot \sum_n g_n - \sum_n g_n^* \text{sgn}(x_n) \cdot \sum_n g_n x_n \right) \right\}}{\left| \sum_n g_n \right|^2} - 2\mu_x \cdot \text{Re} \left\{ \frac{jk_0 \sum_n g_n^* x_n}{\sum_n g_n^*} \right\}$$

$$d_{12} = \frac{\text{Im} \left\{ jk_0 \left(\sum_n g_n^* y_n \text{sgn}(x_n) \cdot \sum_n g_n - \sum_n g_n^* \text{sgn}(x_n) \cdot \sum_n g_n y_n \right) \right\}}{\left| \sum_n g_n \right|^2} - 2\mu_x \cdot \text{Re} \left\{ \frac{jk_0 \sum_n g_n^* y_n}{\sum_n g_n^*} \right\}$$

$$d_{21} = \frac{\text{Im} \left\{ jk_0 \left(\sum_n g_n^* x_n \text{sgn}(y_n) \cdot \sum_n g_n - \sum_n g_n^* \text{sgn}(y_n) \cdot \sum_n g_n x_n \right) \right\}}{\left| \sum_n g_n \right|^2} - 2\mu_y \cdot \text{Re} \left\{ \frac{jk_0 \sum_n g_n^* x_n}{\sum_n g_n^*} \right\}$$

5

$$d_{22} = \frac{\text{Im} \left\{ jk_0 \left(\sum_n g_n^* y_n \text{sgn}(y_n) \cdot \sum_n g_n - \sum_n g_n^* \text{sgn}(y_n) \cdot \sum_n g_n y_n \right) \right\}}{\left| \sum_n g_n \right|^2} - 2\mu_y \cdot \text{Re} \left\{ \frac{jk_0 \sum_n g_n^* y_n}{\sum_n g_n^*} \right\}$$

2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque junto a los elementos de recepción defectuosos identificados en el marco de la auto-prueba, se introducen también errores de amplitudes y errores de fases conocidos de los elementos de recepción o desviaciones constructivas de la apertura de la antena respecto del caso ideal de una divisibilidad simétrica durante la formación de los monoimpulsos.

10

Fig. 1

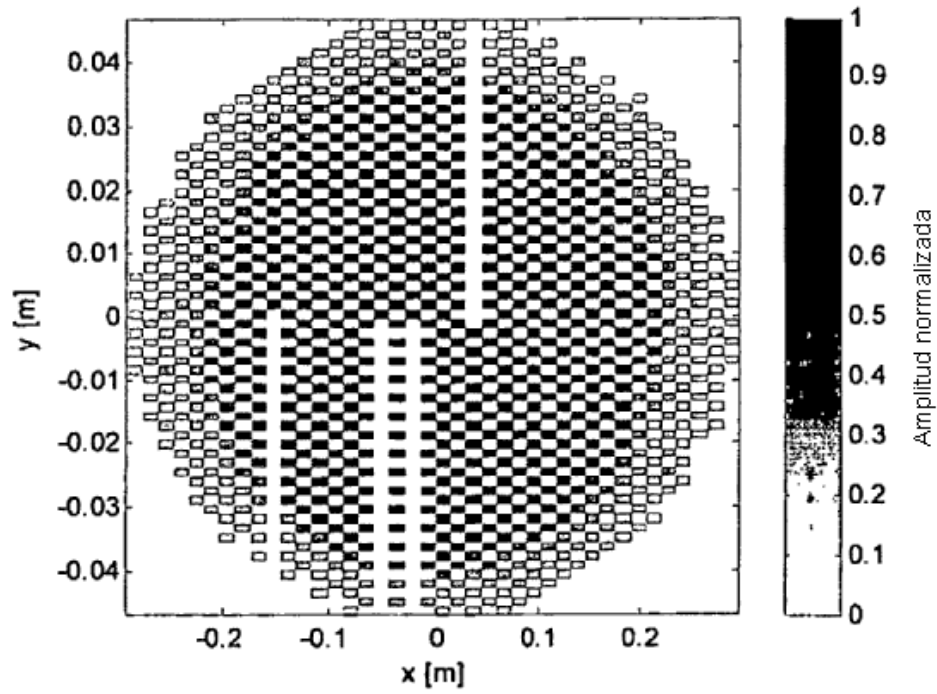


Fig. 4

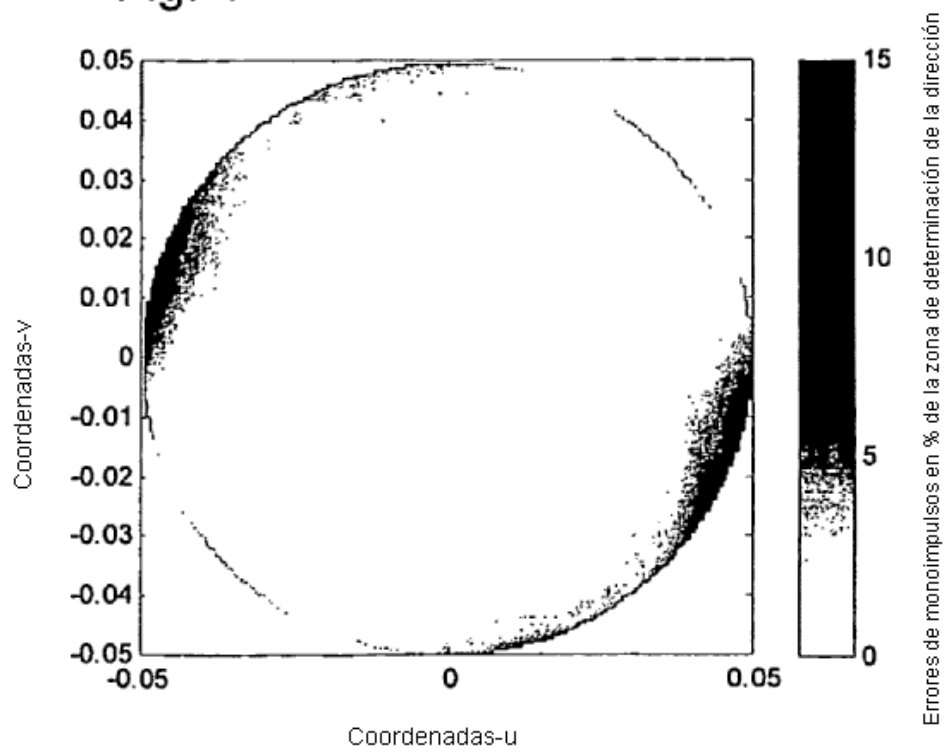


Fig. 2

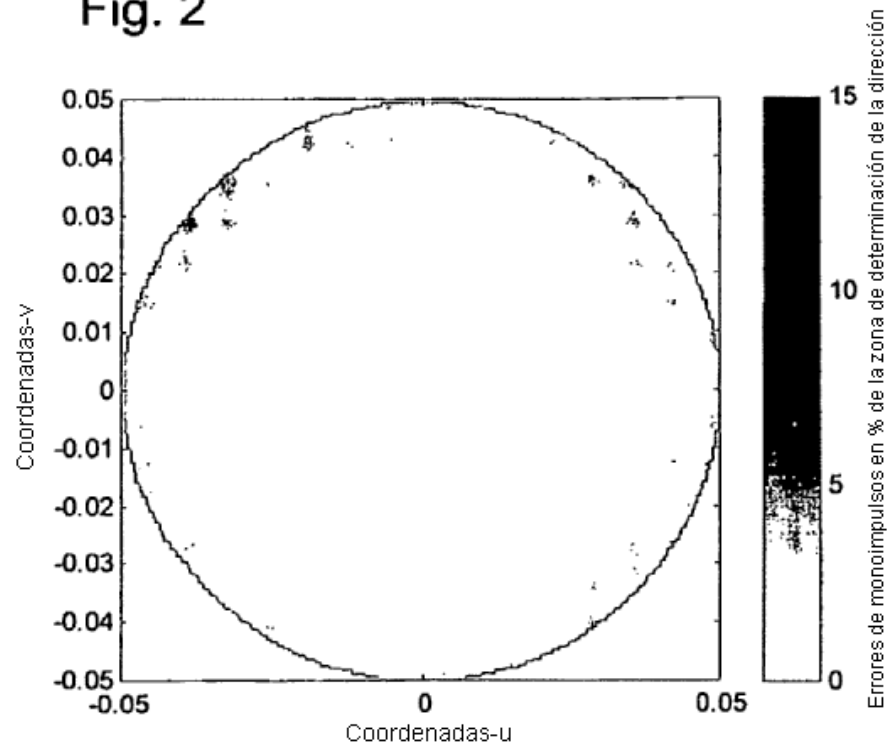


Fig. 3

