

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 498**

51 Int. Cl.:
G01S 7/292 (2006.01)
G01S 13/22 (2006.01)
G01S 13/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06808754 .3**
96 Fecha de presentación: **15.11.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1949133**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.07.2008**

54 Título: **Radar de apertura sintética**

30 Prioridad:
16.11.2005 GB 0523352
16.11.2005 EP 05257074

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.10.2012

73 Titular/es:
Astrium Limited
Gunnels Wood Road
ge, Hertfordshire, SG1 2AS, GB

72 Inventor/es:
LANCASHIRE, David y
HALL, Charles

74 Agente/Representante:
González Palmero, Fe

ES 2 388 498 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

Radar de apertura sintética

5 La presente invención se refiere a un radar de apertura sintética (SAR).

Antecedentes de la técnica

10 Un requisito común de SAR es detectar objetos relativamente pequeños en una región generalmente sin rasgos distintivos, por ejemplo un barco en el océano. En esta situación, la cobertura de radar tiene de manera deseada una zona de exploración amplia, en la dirección de "transversal a la trayectoria" en ángulos rectos a la dirección "a lo largo de la trayectoria" de la plataforma de radar, de modo que se explora un área lo más grande posible. Tal como se explicará, y tal como se ilustra en la figura 1, una zona de exploración amplia requiere una baja frecuencia de repetición de impulsos (PRF). Es probable que la operación de un SAR a una PRF baja introduzca ambigüedades en la dirección a lo largo de la trayectoria. Éstas son imágenes "fantasma" que surgen en lóbulos adyacentes y son análogas a los lóbulos de difracción observados cuando se proyecta luz monocromática a través de una rejilla de difracción gruesa.

20 Cuando se opera en el modo de SAR, habitualmente es necesario que el radar emita impulsos a una alta velocidad (véase la figura 1), concretamente a una velocidad lo suficientemente alta de modo que cuando se toman las muestras a lo largo de la trayectoria seguida por el radar (que es la posición de la apertura que se sintetizará), los inevitables lóbulos de difracción se atenúan adecuadamente por el patrón a lo largo de la trayectoria asociado con la apertura real que propaga los impulsos desde y hacia el radar. Este criterio es el factor principal para la PRF a la que debe operar el radar. La PRF es una función de la longitud de apertura real (cuando la longitud se reduce, el haz real se extiende y tiene el potencial para incluir más lóbulos de difracción de modo que la PRF tiene que aumentar con el fin de introducir más muestras y aumentar la separación angular entre esos lóbulos de difracción) y la velocidad con la que se mueve la plataforma (los satélites en órbita terrestre baja se mueven aproximadamente a 7500 m/s). Un buen valor de trabajo para la separación entre las muestras es que debe ser algo menor que la mitad de la longitud de la apertura real.

30 Una consecuencia de la PRF alta, es la sensibilidad frente a retornos ambiguos desde la dirección transversal a la trayectoria. Se realizan todas las mediciones de distancia desde el radar hasta el objetivo, se realiza una modulación de la separación entre los impulsos. Entonces, para un resultado inequívoco de la medición de la distancia desde el radar, la distancia entre los impulsos debe ser superior a la distancia en el suelo/superficie que se ilumina por la anchura transversal a la trayectoria del haz de radar. Esto implica el uso de una PRF baja. Sin embargo, una PRF baja luego introduce ambigüedades en la dirección a lo largo de la trayectoria.

40 El documento US-A-5.745.069 propone la eliminación de consideraciones de ambigüedad usando un formato transmisor que proporciona subimpulsos distinguibles, tales como formato de división de frecuencia o división de código. Sin embargo, ésta es una solución compleja que requiere una sobrecarga de procesamiento de señal aumentada y tiene el potencial de introducir zonas ciegas en la imagen asociada con las transmisiones de impulsos de PRF alta provocando una saturación en la cadena de recepción (o evitándola mediante borrado).

45 El documento XP 2367064, Ambiguities in Spaceborne Synthetic Aperture Radar Systems, F.K. Li y W.T.K. Johnson, IEEE translations on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-19, n.º 3, mayo de 1983 da a conocer un método para usar un conjunto de múltiples frecuencias de repetición de impulsos para determinar los valores absolutos de las frecuencias de centroide Doppler para SAR.

50 El documento JP61035382 A da a conocer un radar de apertura sintética y un método para obtener una imagen con resolución y calidad de imagen mejoradas variando la repetición de impulsos de la onda de radio de impulsos irradiada desde la antena de radar.

Sumario de la invención

55 Un objeto de la invención es proporcionar un radar de apertura sintética que puede operar a una PRF baja pero que tiene una sensibilidad reducida a las ambigüedades azimutales a lo largo de la trayectoria.

60 Según la invención, se proporciona un método para operar un radar de apertura sintética en un modo de PRF baja, que comprende generar un flujo de impulsos de radar, aplicar a dicho flujo una modulación predeterminada de la frecuencia de repetición de impulsos (PRF) para cambiar la separación de muestras a lo largo de la apertura sintética, dirigir dicho flujo a un área objetivo, y procesar los impulsos recibidos para producir una imagen para dicha área objetivo, comprendiendo el procesamiento separar los impulsos recibidos como una secuencia de conjuntos según la modulación de PRF predeterminada, producir una subimagen del área objetivo para cada conjunto y sumar de manera coherente las subimágenes para mejorar un único lóbulo de recepción central y para atenuar los lóbulos laterales en la dirección azimutal.

Según la invención, también se proporciona un radar de apertura sintética para operar en un modo de PRF baja, que comprende medios para generar un flujo de impulsos de radar, medios para aplicar una modulación de la frecuencia de repetición de impulsos (PRF) del flujo de impulsos de radar para cambiar la separación de muestras a lo largo de la apertura sintética, medios para dirigir dicho flujo a un área objetivo, y medios para procesar los impulsos recibidos para producir una imagen para dicha área objetivo, caracterizado porque los medios para procesar incluyen medios para separar (14) los impulsos de radar recibidos en una secuencia de conjuntos según la modulación de PRF predeterminada, medios para producir una subimagen del área objetivo para cada conjunto y medios para sumar de manera coherente las subimágenes para mejorar un único lóbulo de recepción central y para atenuar los lóbulos laterales en la dirección azimutal.

Se definen características preferidas y opcionales en las reivindicaciones 2 a 6 y 8 a 12.

El concepto de la invención es cambiar o variar la PRF durante la adquisición de eco desde una ubicación dada. Por ejemplo, para cada conjunto de impulsos a una PRF dada, en la función de respuesta al impulso (IRF) se produce una separación de lóbulo particular, diferente de las demás PRF. Sólo el lóbulo central coincide de un conjunto a otro. Así, la superposición de diferentes conjuntos de impulsos recibidos que muestran procesamiento da como resultado un lóbulo central mejorado y lóbulos laterales atenuados.

Para los propósitos de esta memoria descriptiva, se pretende que "PRF baja" signifique una frecuencia de repetición de impulsos que es lo suficientemente baja para introducir una ambigüedad significativa en una resolución de objetivo a lo largo de la trayectoria.

La modulación aplicada a la PRF puede ser de cualquier tipo conveniente. Por ejemplo, puede conseguirse por: (1) conjuntos de impulsos a diferentes PRF, (2) impulsos cuya frecuencia de repetición se ajusta según una modulación de frecuencia continua dentro de un alcance de excursión de frecuencia relativamente pequeño, (3) impulsos cuya separación temporal cambia según un patrón pseudoaleatorio. La separación de los impulsos de radar recibidos en una secuencia de conjuntos puede llevarse a cabo de cualquier manera conveniente. Cuando los impulsos transmitidos comprenden conjuntos de impulsos, teniendo cada conjunto una PRF diferente, entonces naturalmente los impulsos recibidos se separarán en los mismos conjuntos. Cuando la PRF se modula mediante una secuencia pseudoaleatoria, entonces cada conjunto puede comprender una repetición de la secuencia. Cuando los impulsos están modulados en frecuencia, cada conjunto puede comprender un "barrido" de la banda de modulación de frecuencia.

El área objetivo a la que se dirige dicho flujo puede ser una única zona de exploración amplia, como en el modo de SAR denominado STRIPMAP tal como se muestra esquemáticamente en la figura 6, en el que la cobertura del haz de radar permanece localizada en sólo una zona de exploración, es decir el borde cercano de la zona de exploración se define por el borde cercano de la cobertura de haz de radar y el borde alejado de la zona de exploración, por el borde alejado de la cobertura de haz de radar. Sin embargo, el área objetivo puede tener una extensión más pequeña, como por ejemplo en el modo de radar denominado SCANSAR (figura 6), en el que la cobertura de haz de radar invierte periodos de tiempo limitados iluminando y recibiendo desde subzonas de exploración contiguas (tal como se usa en el satélite RADASAT-1 y en el ASAR en el satélite ENVISAT).

Adicionalmente, puede emplearse un submodo que reposiciona continuamente el eje de puntería del haz recibido durante la recepción de ecos de manera que el eje de puntería siempre señale a esa (pequeña) sección de la zona de exploración desde la que se reciben los ecos de manera instantánea. Este submodo sirve para mejorar la sensibilidad cuando el haz de radar está configurado para iluminar la zona de exploración amplia pero no es esencial para los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirá una realización preferida de la invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra el concepto de SAR de PRF baja;

la figura 2 es un diagrama esquemático de bloques de una realización preferida de la invención;

la figura 3 es un perfil de una IRF azimutal típica cuando se opera en un modo de PRF baja;

la figura 4 muestra resultados de un ejemplo de la invención con PRF=7000 Hz;

la figura 5 muestra los resultados del ejemplo con PRF=1000 Hz;

la figura 6 es una vista esquemática de diferentes modos de operación en el modo de SAR;

la figura 7 muestra la IRF cuando el radar está operando en el modo de PRF baja fijo según la técnica anterior;

la figura 8 muestra la IRF cuando el radar está operando con el periodo entre impulsos de los eventos de transmisión-recepción cambiado añadiendo a ese periodo un periodo delta pseudoaleatorio positivo o negativo.

5 Descripción de la realización preferida

El caso de un modo de PRF baja no es habitual en el contexto de la operación de SAR, dada su aceptación de una función de respuesta al impulso azimutal muy ambigua. La forma de la función de respuesta al impulso azimutal cuando se opera en este modo es bastante diferente de la asociada con lo que puede denominarse, operación de SAR "convencional". En este caso, durante una secuencia de observación dada, el radar opera a la PRF alta habitual asociada con modos de SAR normales y la función de respuesta al impulso azimutal es predominantemente un único lóbulo central rodeado por lóbulos laterales de magnitud mucho más pequeña. Aún se producen lóbulos de difracción cuando se opera en estos modos "convencionales", pero las magnitudes son pequeñas.

15 IRF azimutal en modo de PRF baja

En la figura 3 se muestra el perfil de una IRF azimutal típica cuando se opera en modo de PRF baja. Dentro de esta disposición de lóbulos de difracción, se espera que el lóbulo central sea el lóbulo que contiene el objetivo. Si fuera a usarse un modo de este tipo para formar imágenes de escenas convencionales tales como las imágenes terrestres que se recogen frecuentemente por los sistemas de SAR, entonces las imágenes aparecerían como una disposición de imágenes de la escena, estando desplazada cada una con respecto a la otra una distancia correspondiente a la separación de los lóbulos en la IRF. El resultado global sería una imagen muy confusa prácticamente inútil.

Sin embargo, si se usa un modo de PRF baja para formar imágenes de escenas marítimas en las que la característica principal es un océano poblado por una distribución dispersa y aleatoria de objetivos de barcos, entonces pueden usarse dos características de manera ventajosa. La escena de fondo con respecto a la que se forman imágenes de los objetivos es relativamente uniforme y, particularmente a ángulos de incidencia más grandes (lejos del nadir), la reflectividad de la superficie es baja de modo que la contribución de los ecos parásitos es pequeña.

En esta situación, como en la situación terrestre, los lóbulos de difracción en la IRF conducen a la superposición de reflectancias marítimas dentro de cada célula de fondo. El detalle de la superficie marítima aún será muy confuso de modo que la observación de características como estelas próximas en el valor de reflectividad al del propio mar será difícil (probablemente imposible) de detectar.

Ante esta situación, en la que los valores de reflectancia marítima son pequeños, los niveles de señal resultantes en células de resolución sólo marítimas, aún pueden ser bastante pequeños. Es probable que los objetivos de barcos sean mucho más grandes y destaquen como características brillantes sobre las del fondo oscuro de la superficie marítima. Sin embargo, justo como en el caso terrestre, los lóbulos en la IRF azimutal provocarán la aparición de imágenes repetidas de objetivos de barcos de modo que la imagen resultante aparecerá como una disposición de barcos dispuestos en la dirección azimutal. El brillo de estas imágenes repetidas seguirá el perfil de los lóbulos en la IRF de modo que en la región central será difícil localizar el objetivo real de manera precisa.

45 Efecto de diferente agrupación de PRF

Cuando se realizan observaciones usando una PRF fija, la separación entre los lóbulos de difracción adyacentes de la IRF está bien definida y en particular, si hay muchos lóbulos, entonces la envolvente de los picos de esos lóbulos sigue estrechamente la forma del haz azimutal. Esto provoca que los lóbulos cerca de la parte central del haz tengan una amplitud muy similar tal como se muestra en la figura 3, y dificulta el aislamiento de la ubicación específica de un objetivo.

Sin embargo, si se desplaza la PRF durante la adquisición de eco desde una ubicación dada, por ejemplo dando una recopilación de ráfagas cada una con una PRF ligeramente diferente, entonces la separación de muestras a lo largo de la apertura sintética cambia. Para cada conjunto de impulsos a una PRF dada, se obtiene una separación de lóbulos particular dentro de la IRF, pero las diferentes PRF contribuyentes conducen a conjuntos de lóbulos separados de manera diferente en los que sólo el lóbulo central coincide de un conjunto a otro. Esto hace que el lóbulo central se resalte en relación con los demás. Esto ayuda a una ubicación de objetivo precisa.

En referencia a la figura 2, ésta muestra una realización preferida de la invención, al menos con respecto a la sección receptora. Un flujo de impulsos de radar se transmite y dirige a un área objetivo seleccionada. El flujo se divide en conjuntos secuenciales, teniendo cada conjunto una PRF ligeramente diferente. El flujo se recibe en el receptor 10, y se almacena un conjunto de datos de eco en 12. El flujo se clasifica en los medios 14 en conjuntos respectivos de una PRF diferente, y cada conjunto se almacena en una memoria 16-1...16-nn respectiva. Un procesador 18-1...18-nn respectivo produce una subimagen del área objetivo iluminada desde el conjunto de PRF respectivo. Un procesador 20 superpone de manera coherente las subimágenes, con el fin de proporcionar una imagen resultante en los medios 22.

En una realización alternativa en la que el número de impulsos en cada grupo se reduce a sólo uno, el periodo entre impulsos adopta la forma de un valor nominal con el que se superpone un periodo de tiempo delta pseudoaleatorio. En este caso, se implementaría sólo una de las cadenas de procesamiento de múltiples PRF.

5

Impacto de los lóbulos de IRF sobre la IRF de ecos parásitos

La señal asociada con una célula de resolución dada en la imagen producida a partir de los datos de eco recopilados en el modo de PRF baja es la convolución de la IRF con la reflectividad de la escena. Así en el caso marítimo, cuando el lóbulo central se fija sobre un objetivo el resto de la IRF se fija sobre el océano y muchos lóbulos de respuesta del océano contribuyen a la señal asociada finalmente con el lóbulo central que contiene el objetivo. El efecto de estos componentes adicionales es doble, la célula central que contiene el objetivo se contamina con retornos no deseados, y lo que es más importante, las células de fondo (que no se disponen sobre los objetivos) contienen niveles elevados de ecos parásitos. Esto tiene el efecto de aumentar el nivel de señal de fondo medio de modo que las apariciones de objetivos falsos se vuelvan más comunes.

10

15

Con el fin de conseguir una sensibilidad adecuada para detectar objetivos como anteriormente, el sistema será sensible a:

20

a. ruido térmico / de instrumentos:

b. ecos parásitos.

25

El eco parásito es un tema clave en este caso. El radar opera usando un procesamiento coherente para mejorar y localizar retornos de objetivos. Sin embargo, la función de respuesta al impulso azimutal (IRF) es, en términos de imagen de SAR convencional, terrible. Es bastante ambigua y consiste en muchos lóbulos de difracción. Con la antena descrita en este caso inicial (longitud 4 m altura 1,2 m), se esperaría operar con una separación de muestras algo más pequeña de 2 m con el fin de ser inmunes a los lóbulos de difracción azimutales.

30

Ejemplo

Condiciones de entrada a simulaciones

35

Separación de muestra terrestre; 1,0 m

Alcance de radar a objetivo: 1800 km

Longitud de onda: 0,0311 m

40

Extensión espacial de IRF: ± 30 km desde el centro

Número de etapas de PRF: 4

45

Aumento de PRF por etapa: 1%

Resolución espacial azimutal objetivo: 40 m

La figura 4 muestra la forma de la IRF conseguida a una PRF alta, donde los niveles de ambigüedad son pequeños.

50

La figura 5 muestra la forma de la IRF conseguida a una PRF inferior, presentando varios lóbulos principales. Se ha dibujado una línea discontinua para indicar la envolvente de PRF fija externa, y una línea continua, para indicar la IRF interna que disminuye más rápidamente asociada con la operación de PRF escalonada.

55

Figura 4

PRF= 7000 Hz

PRF alta PRF baja n.º de sub-PRF

60

6603.77 7000.00 4

Figura 5

65

PRF = 1000 Hz

PRF alta PRF baja n.º de Sub-PRF

943.40 1000.00 4

- 5 Cuando el radar se opera a una PRF baja fija, la IRF generada a partir de los retornos adopta la forma de una cresta de lóbulos intensos en la que la separación entre los lóbulos es inversamente proporcional a la PRF. En la figura 7 se muestra el resultado de esta condición.
- 10 Sin embargo, si se cambia el periodo entre impulsos regular de los eventos de transmisión-recepción añadiendo a ese periodo un periodo delta pseudoaleatorio que será o bien positivo o bien negativo, y los datos de eco se procesan como si se hubieran adquirido a una PRF constante, entonces la IRF resultante se caracterizará por niveles aumentados en las regiones entre lóbulos, pero magnitudes de disminución muy rápida para los lóbulos principales. En la figura 8 se muestra un patrón de este tipo.
- 15 Los beneficios conseguidos de usar los impulsos separados de manera pseudoaleatoria son que, en primer lugar, los objetivos ubicados usando este método pueden localizarse con una precisión significativamente mayor que el caso de la PRF fija porque hay menos lóbulos principales y, en segundo lugar, se facilita la carga de procesamiento de señales.

REIVINDICACIONES

1. Método para operar un radar de apertura sintética en un modo de PRF baja, que comprende

5 generar un flujo de impulsos de radar,

aplicar a dicho flujo una modulación predeterminada de la frecuencia de repetición de impulsos, PRF, para cambiar la separación de muestras a lo largo de la apertura sintética,

10 dirigir dicho flujo a un área objetivo, y

procesar los impulsos recibidos para producir una imagen para dicha área objetivo, caracterizado porque el procesamiento comprende separar los impulsos recibidos como una secuencia de conjuntos según la modulación de PRF predeterminada, producir una subimagen del área objetivo para cada conjunto y sumar de manera coherente las subimágenes para mejorar un único lóbulo de recepción central y para atenuar los lóbulos laterales en la dirección azimutal.
- 15 2. Método según la reivindicación 1, en el que dicha modulación comprende proporcionar dicho flujo como una pluralidad de conjuntos de impulsos de radar, teniendo cada conjunto una PRF diferente de la de los demás conjuntos.
- 20 3. Método según la reivindicación 1, en el que dicha modulación comprende modular en frecuencia de manera continua la PRF de dicho flujo.
- 25 4. Método según la reivindicación 1, en el que dicha modulación comprende aplicar una secuencia pseudoaleatoria a la PRF de dicho flujo.
5. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que dicha área objetivo comprende una zona de exploración amplia.
- 30 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicha área objetivo comprende una subzona de exploración.
- 35 7. Radar de apertura sintética para operar en un modo de PRF baja, que comprende medios para generar un flujo de impulsos de radar,

medios para aplicar una modulación de la frecuencia de repetición de impulsos, PRF, del flujo de impulsos de radar para cambiar la separación de muestras a lo largo de la apertura sintética,

40 medios para dirigir dicho flujo a un área objetivo, y

medios para procesar (10) los impulsos recibidos para producir una imagen para dicha área objetivo, caracterizado porque los medios para procesar incluyen

45 medios para separar (14) los impulsos de radar recibidos en una secuencia de conjuntos según la modulación de PRF predeterminada,

medios para producir una subimagen (18-1 a 18-nn) del área objetivo para cada conjunto y

50 medios para sumar (20) de manera coherente las subimágenes para mejorar un único lóbulo de recepción central y para atenuar los lóbulos laterales en la dirección azimutal.
- 55 8. Radar según la reivindicación 7, en el que los medios de modulación comprenden medios para proporcionar dicho flujo como una pluralidad de conjuntos de impulsos de radar, teniendo cada conjunto una PRF diferente de la de los demás conjuntos.
9. Radar según la reivindicación 7, en el que los medios de modulación comprenden medios para modular en frecuencia de manera continua la PRF de dicho flujo.
- 60 10. Radar según la reivindicación 7, en el que los medios de modulación comprenden medios para aplicar una secuencia pseudoaleatoria a la PRF de dicho flujo.
11. Radar según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que el radar opera en modo STRIPMAP, y dicha área objetivo comprende una zona de exploración amplia.
- 65 12. Radar según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, en el que el radar opera en modo SCANSAR, y

dicha área objetivo comprende una subzona de exploración.

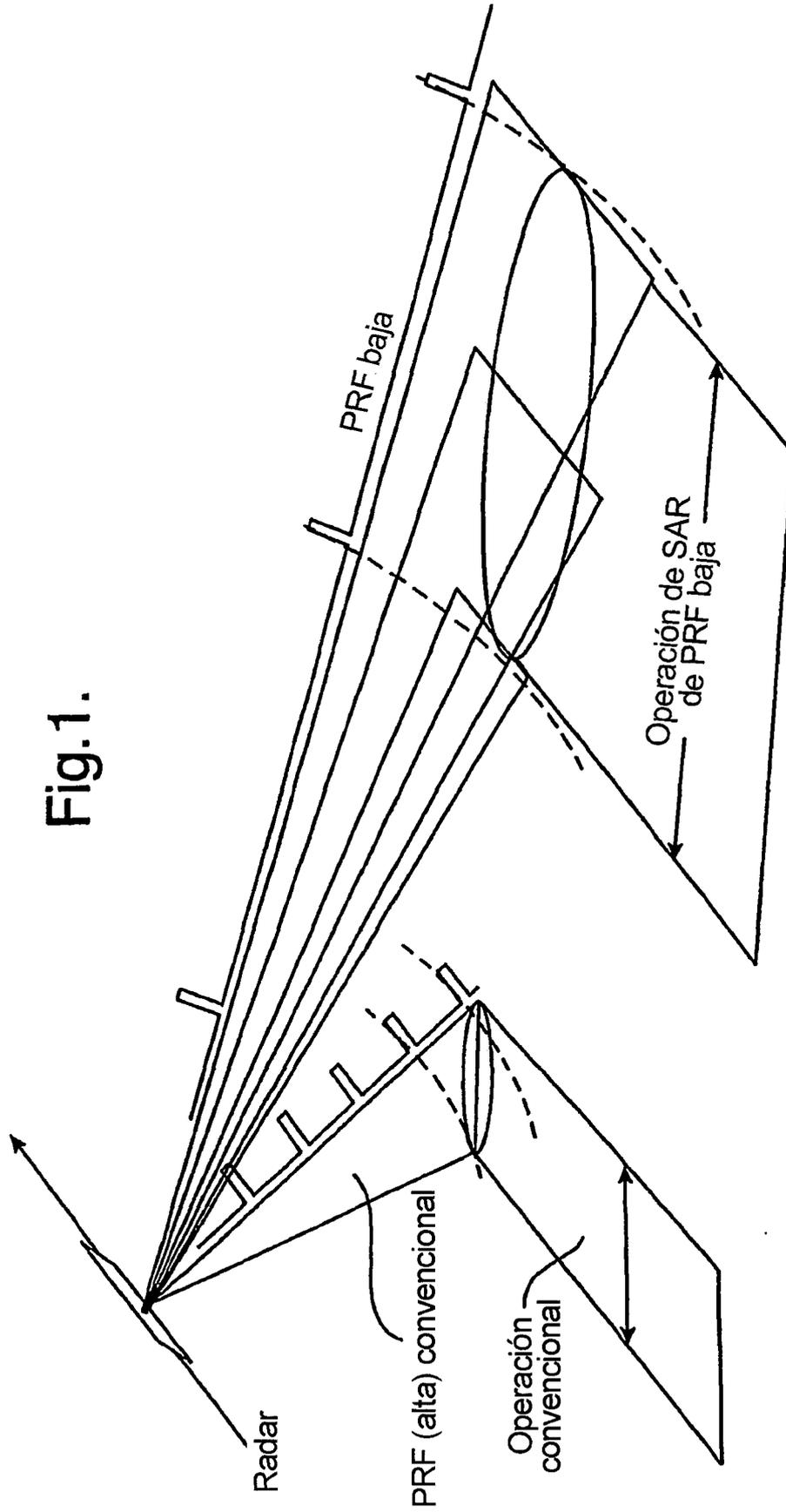


Fig.1.

Fig.2.

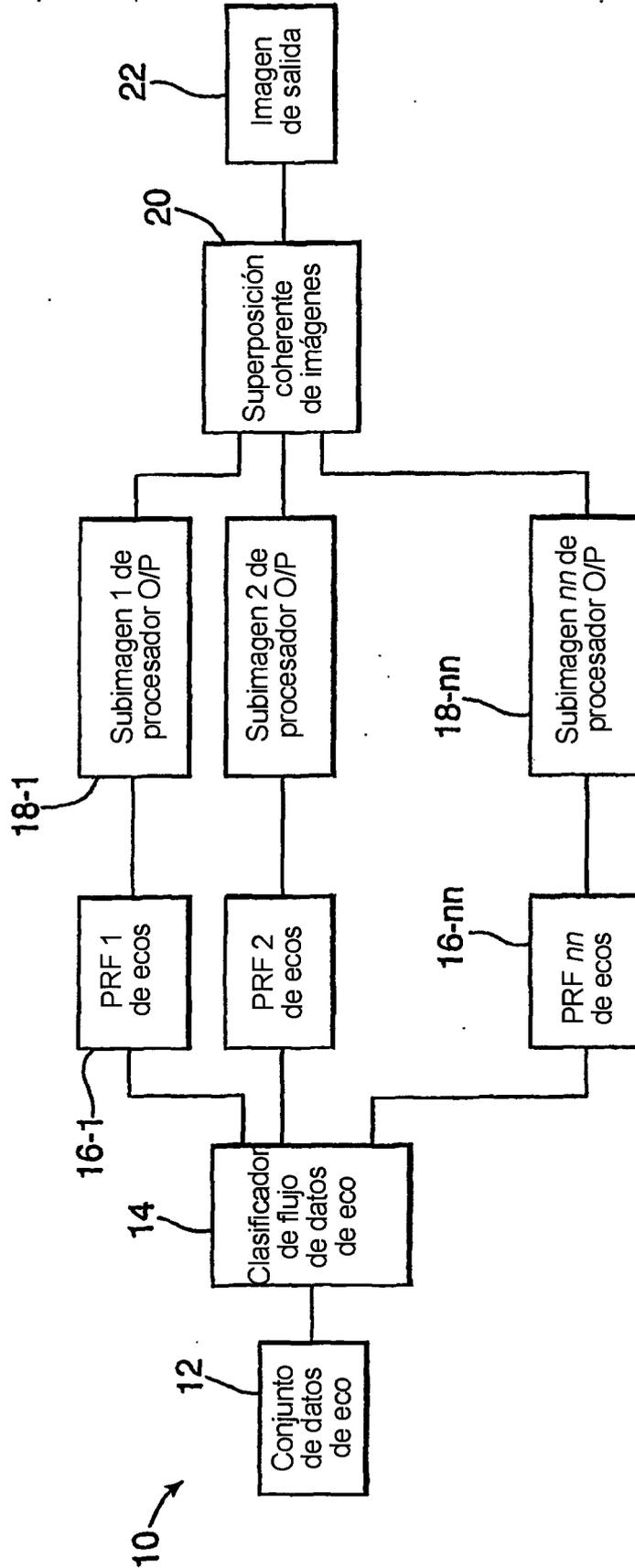


Fig.3.

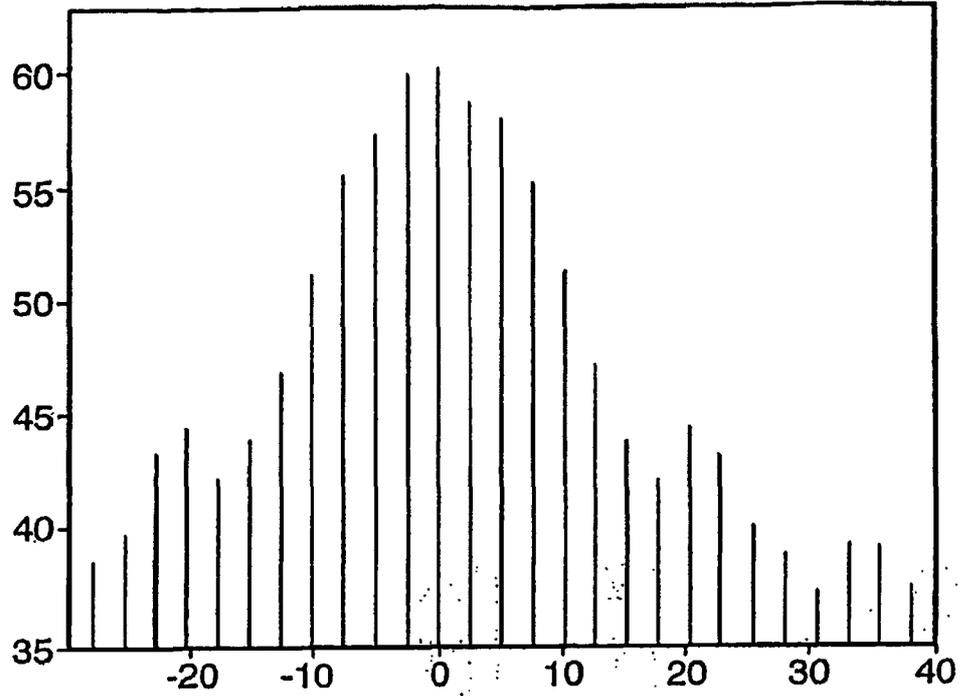
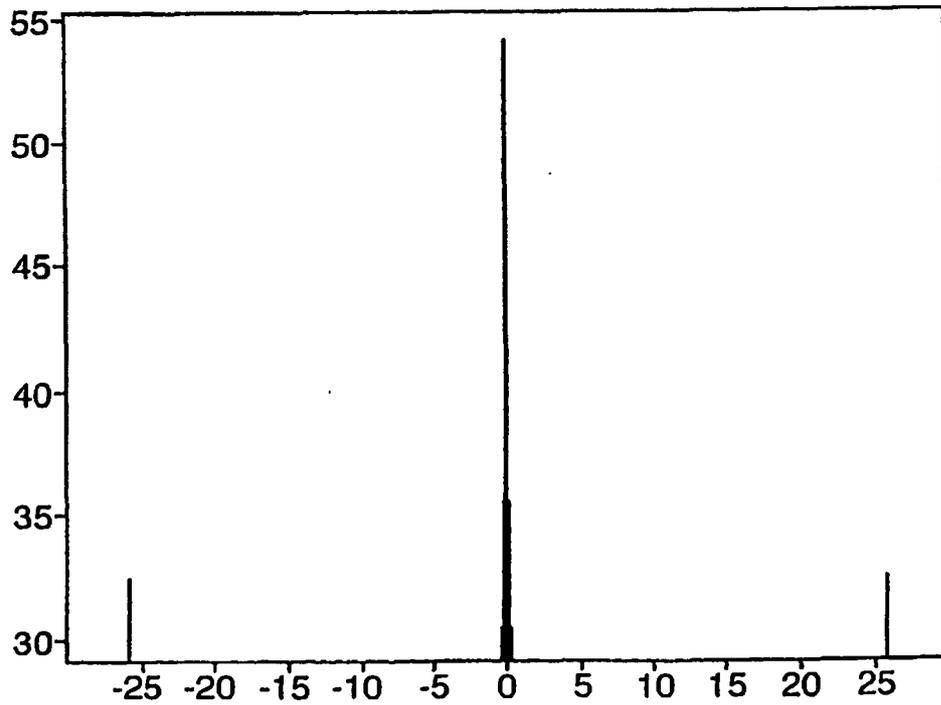


Fig. 4



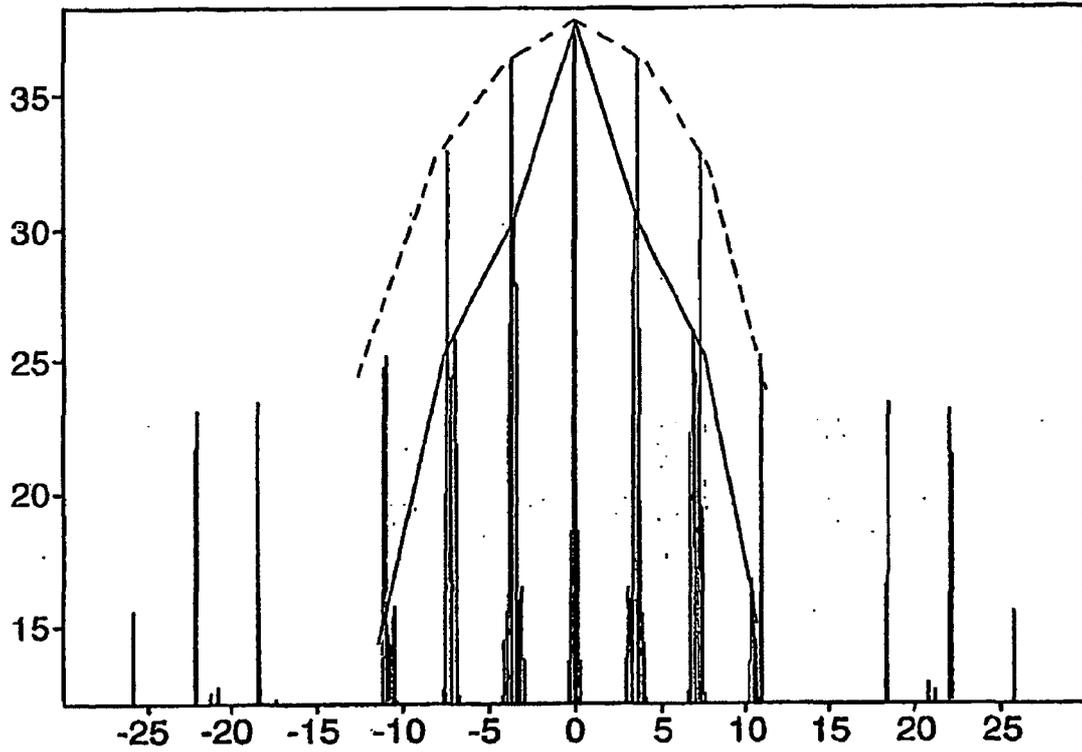
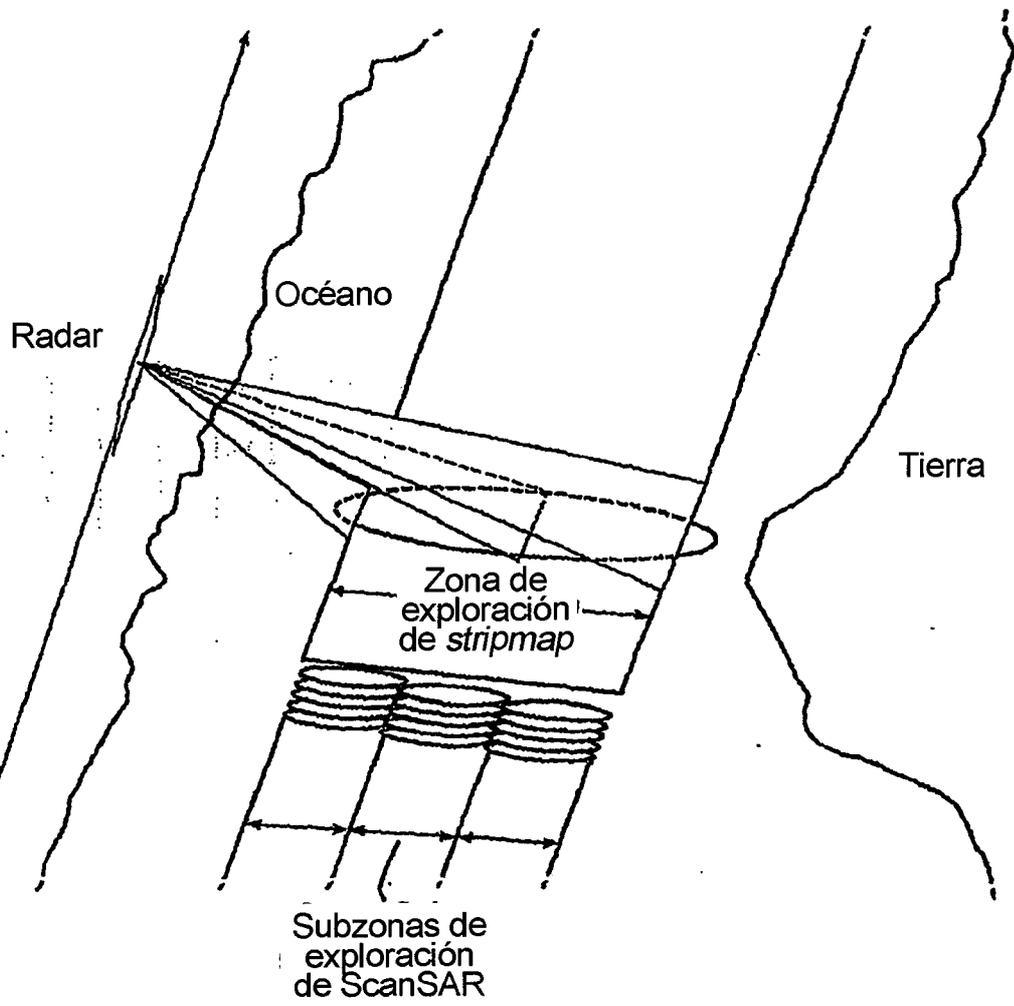


Fig. 5

Fig. 6



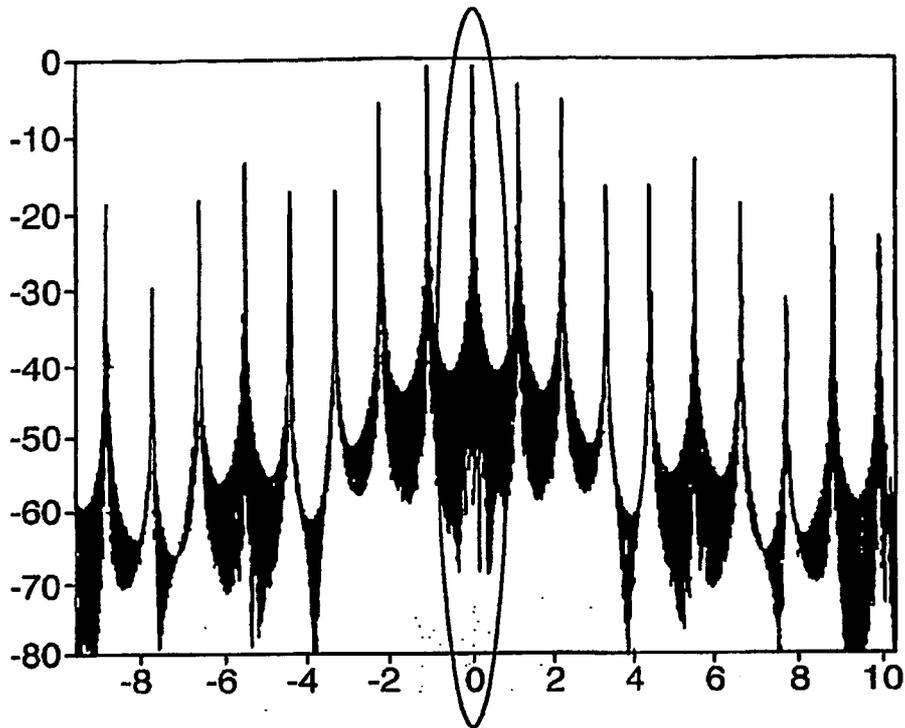


Fig. 7

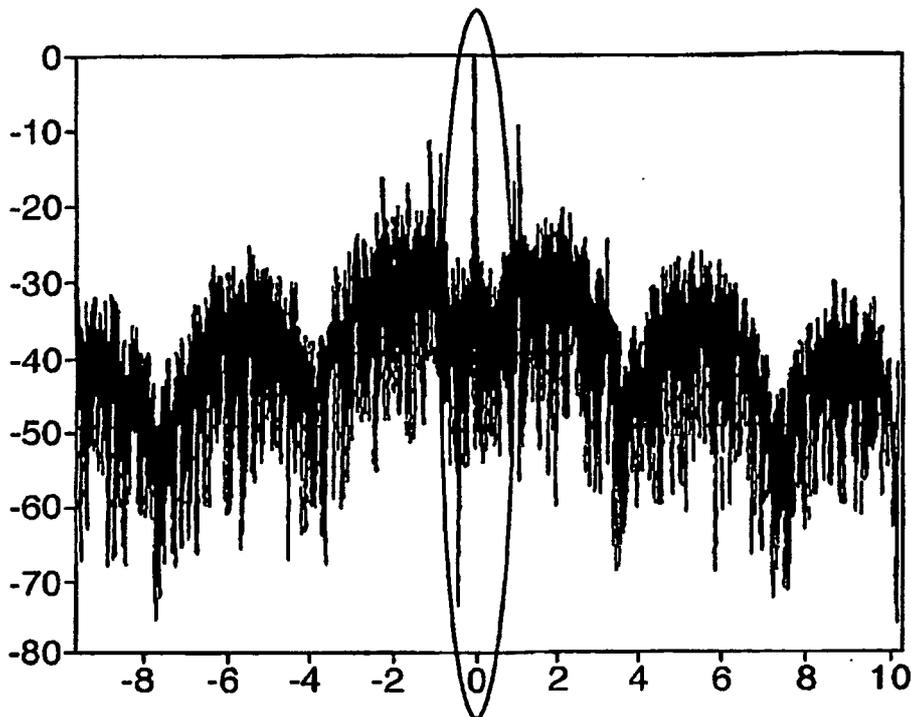


Fig. 8