

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 530 264**

51 Int. Cl.:

G01S 13/90 (2006.01)

G09B 29/00 (2006.01)

G01S 7/295 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.06.2010 E 10736599 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.12.2014 EP 2446298**

54 Título: **Procedimiento para la determinación de las coordenadas geográficas de píxeles en imágenes SAR**

30 Prioridad:

25.06.2009 DE 102009030672

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

27.02.2015

73 Titular/es:

**AIRBUS DEFENCE AND SPACE GMBH (100.0%)
Willy-Messerschmitt-Strasse 1
85521 Ottobrunn, DE**

72 Inventor/es:

**BENNINGHOFEN, BENJAMIN;
KOBAN, TAMER y
STAHL, CHRISTOPH**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 530 264 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 las coordenadas geográficas de píxeles en imágenes SAR

La invención se refiere a un procedimiento para la determinación de las coordenadas geográficas de píxeles en imágenes SAR de acuerdo con las características de la reivindicación 1 de la patente.

5 La determinación de la posición de un objetivo desde distancias grandes (20 km – 100 km) es con frecuencia inexacta en el caso de utilización de imágenes SAR en virtud de errores en las imágenes SAR. Los errores en las imágenes SAR proceden típicamente de errores acimutales y de efectos de distorsión (artefactos, parada).

10 Se conoce a partir del documento US 5.659.318 A un procedimiento interferométrico, en el que con la ayuda del alcance oblicuo generado por dos antenas SAR separadas en el espacio se evalúan imágenes de una región de destino con respecto a su diferencia de fases y en el que en coincidencia con el preámbulo de la reivindicación 1 de la patente vigente se conoce la posición de registro de las imágenes SAR.

En primer lugar se explica brevemente la determinación de coordenadas conocidas de un destino a partir de una imagen SAR:

15 La base es el llamado elipsoide WGS84. El Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS 84) es un sistema de referencia geodésico como base unitaria para indicaciones de la posición sobre la tierra y en el espacio próximo a la tierra. Está constituido por

- una superficie de referencia tridimensional sencilla, el elipsoide de referencia, que está adaptada de manera aproximada a la superficie de la tierra ,
- 20 - un modelo más detallado para la imagen de la tierra que se desvía de esta forma idealizada, el llamado geoide,
- doce estaciones fundamentales distribuidas sobre la tierra, a través de las cuales se define la relación entre estos modelos y la corteza terrestre a través de la indicación de coordenadas (en función del tiempo) (el llamado cuadro de referencia).

25 El sistema es la base geodésica del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que posibilita el dimensionado de la tierra y la orientación por medio de satélites adecuados (satélites NAVSTAR).

30 En la figura 1 se definen las magnitudes más importantes en un SAR. En la imagen parcial a de la figura 1 se esboza una configuración típica SAR. La plataforma de sensores, por ejemplo un avión, se mueve a una altura h por encima del suelo con la velocidad v a lo largo del eje X. El radar irradia lateralmente una región sobre el suelo. En un SAR, la dirección de la visión óptima es 90° con relación a la dirección del vector de velocidad v. Las direcciones de la visión que se desvían de ella repercuten negativamente sobre la resolución así como sobre el gasto para la generación de imágenes SAR. El tamaño de la antena de radar corresponde a la abertura real. Para poder llevar consigo la antena de radar sobre la plataforma de sensores, aquélla es relativamente pequeña. El tamaño de la antena o bien la abertura determinan, sin embargo, la resolución. Cuanto mayor es la antena, tanto mejor es la resolución. Para conseguir una resolución alta a pesar de la antena pequeña se genera artificialmente una antena grande. Esto se realiza haciendo volar la plataforma de sensores a lo largo de la abertura de una antena grande imaginaria y acumulando los impulsos de radar reflejados en cada sección parcial de la abertura grande imaginaria. La plataforma de sensores debe volar, por lo tanto, sobre una abertura sintética para acumular los datos para una imagen SAR. Después del procesamiento SAR aparece a partir de los datos acumulados una imagen SAR. Sobre la imagen parcial b de la figura 1 se representan los parámetros SAR más importantes de nuevo con mayor exactitud. S designa la posición de la plataforma de sensores y el vector v designa la velocidad correspondiente. El sistema de coordenadas se selecciona de tal manera que v apunta a lo largo del eje-X positivo. El punto T se representa sobre el centro de la imagen SAR. La recta LOS (Línea de Visión) designa la línea de unión entre la posición S de la plataforma de sensores y el punto T. La longitud de la recta LOS corresponde al intervalo de alcance R del SAR. La proyección del vector de velocidad v sobre la recta LOS da como resultado la velocidad de aproximación radial v_r de la plataforma de sensores en el punto T. El ángulo Ψ entre el vector de velocidad v y la recta LOS se designa aquí con ángulo de estrabismo. La proyección de la recta LOS sobre un plano, que pasa a través del punto S y que está paralelo al plano-XY, da como resultado la recta HLOS (Línea de Visión Horizontal). El ángulo ε entre LOS y HLOS se designa ángulo de elevación.

50 En la determinación de coordenadas habituales de un destino a partir de una imagen SAR se determina en primer lugar las coordenadas del punto medio de la imagen SAR. A continuación se calcula la coordenada de un pixel sobre la imagen SAR, que ha sido reconocido como destino. Para determinar las coordenadas del punto medio de la imagen se utilizan las magnitudes SAR indicadas anteriormente. En la imagen parcial a de la figura 2 se representan las magnitudes relevantes habitualmente para la determinación de coordenadas de un destino a partir de una imagen SAR. La plataforma de sensores S se encuentra a una altura H sobre el elipsoide WGS84, que se

representa aquí muy ampliado como plano. El vector de velocidad v define junto con el ángulo de estrabismo Ψ y la distancia R (intervalo de alcance) con respecto al punto medio de la imagen un cono. Este cono determina la configuración SAR. La base del cono define un círculo con radio $r = R \sin(\Psi)$. La coordenada geométrica del punto medio de la imagen SAR se encuentra sobre el punto de intersección entre este círculo y la superficie de la tierra. En la imagen existen dos puntos, donde el círculo corta la superficie de la tierra. Pero puesto que se conoce en qué dirección mira el sensor SAR, se puede excluir, como se conoce, un punto de intersección.

Después de que ha sido calculada la coordenada geográfica P_0 del punto medio de la imagen SAR, se calcula ahora la coordenada geográfica de un pixel reconocido como destino en la imagen SAR. Las magnitudes importantes en este caso se esbozan en la imagen parcial b de la figura 2. A tal fin, se calculan los vectores tangenciales locales n_r y n_{cr} en el elipsoide WGS84 en el punto P_0 . Puesto que las coordenadas de píxeles p_x y p_y con relación al punto medio de la imagen SAR se conocen, con la ayuda de las resoluciones δ_x y δ_y se puede calcular el vector de desplazamiento d desde el punto P_0 hasta el punto que corresponde al pixel de la siguiente manera:

$$\vec{d} = \delta_x p_x \vec{n}_{cr} + \delta_y p_y \vec{n}_r$$

A partir de las coordenadas geométricas del punto medio de la imagen P_0 y del vector de desplazamiento d se puede calcular entonces a través de simple adición de vectores la coordenada geográfica del pixel de destino. El cálculo de la coordenada geográfica del punto que corresponde al pixel es estado de la técnica y es conocido por un técnico medio.

En la determinación de coordenadas de un destino conocida a partir del estado de la técnica a partir de una imagen SAR, el cono descrito anteriormente determina las coordenadas del destino. La posición de este cono en el espacio se determina, sin embargo, con relación al vector de velocidad. Si este vector de velocidad no se conoce exactamente, entonces resulta un error en la determinación de las coordenadas. Este error puede ser, en el caso de los sistemas SAR convencionales en dirección acimutal la dirección del vector de velocidad, hasta 100 metros. Adicionalmente, después de la determinación de las coordenadas geográficas del punto medio de la imagen, se supone que el plano de destino es plano. Sin embargo, los efectos típicos SAR como artefactos o parada provocan un desplazamiento del pixel que corresponde al punto de destino, lo que da como resultado un error adicional durante el cálculo del vector de desplazamiento con respecto al destino-

Se conoce a partir de H. A. Malliot: "Gecoding the DTEMS digital terrain matrix and radar image products", Aerospace Conference '97, Aspen, 1 Febrero 1997, LNKD-DOI:10.1109/AERO. 1997.577496, Vol. 4, páginas 35-37, XP010214686, ISB: 978-0-7803-3741-1 un procedimiento, en el que por medio de una imagen SAR y del elipsoide WGS84 se calculan las coordenadas geográficas.

Se conoce a partir de G. Nico: "Exact Closed-Form Geolocation for SAR Interferometry", IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 40, Nr.1, 1 Enero 2002, XP011021925, ISSN:0196-2892 un procedimiento correspondiente, en el que se utiliza un procedimiento del tipo indicado al principio, en el que para la determinación de las coordenadas geográficas de píxeles correspondientes a partir de imágenes digitales SAR se utiliza el hiperboloide de rotación del desplazamiento Doppler.

El cometido de la invención es indicar un procedimiento, con el que se puede reducir el error en la determinación de la posición.

Este cometido se soluciona con el procedimiento de acuerdo con las medidas de la reivindicación 1 de la patente vigente. Los desarrollos ventajosos de la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con la invención, a partir de las coordenadas de los píxeles correspondientes en las imágenes SAR y el intervalo de alcance correspondiente se determina la distancia entre una célula de resolución correspondiente en el suelo y la posición de registro respectiva y a partir de las distancias y las posiciones de registro respectivas de las imágenes SAR utilizando el elipsoide WGS84 se determinan las coordenadas geográficas de los píxeles correspondientes en las imágenes SAR.

La invención así como las formas de realización ventajosas del procedimiento de acuerdo con la invención se explican en detalle, por lo demás, con la ayuda de las figuras. En este caso:

La figura 1 muestra representaciones esquemáticas del principio de SAR.

La figura 2 muestra representaciones esquemáticas para la determinación de coordenadas de un objetivo conocida a partir del estado de la técnica a partir de una imagen SAR.

La figura 3 muestra una representación esquemática de la determinación de la distancia de un pixel a partir de una imagen SAR.

La figura 4 muestra una representación esquemática del principio de la determinación de coordenadas de un destino a partir de imágenes SAR según la invención.

5 La figura 5 muestra una representación esquemática del principio de la determinación de coordenadas de un destino a partir de tres imágenes SAR según la invención.

10 La obtención de la información de la distancia a partir de una imagen SAR se realiza de la siguiente manera. En un sistema SAR se ajusta el intervalo de alcance para la generación de la imagen. Este intervalo de alcance determina la distancia entre el sensor SAR y la célula de resolución, que corresponde al punto medio del alcance oblicuo de la imagen SAR, sobre la tierra. A continuación se calcula este píxel con píxel medio. Si se estableció un píxel como destino, entonces se puede calcular la distancia con respecto a la célula de resolución correspondiente al píxel sobre el suelo. Esto se ilustra en la figura 3.

15 En la figura 3 se designa el intervalo de alcance con R_0 . R designa la distancia hasta el píxel de destino. Cuando se indican las coordenadas de píxeles x e y del píxel de destino con relación al píxel medio, se puede calcular la distancia R con respecto a este píxel de la siguiente manera:

$$R = \sqrt{(\delta_x x)^2 + (\delta_y y + R_0)^2} \quad (1)$$

20 Las magnitudes δ_x y δ_y , respectivamente, designan la resolución del alcance oblicuo de la imagen SAR en dirección acimutal o bien la resolución en la dirección del alcance.

Determinación de coordenadas por medio de la utilización de dos imágenes SAR

25 A continuación se describirá ahora la determinación de coordenadas de un destino por medio de dos imágenes SAR. Cuando solamente están disponibles dos imágenes SAR, se pueden extraer dos mediciones de la distancia con respecto a la célula de resolución sobre el suelo a partir del alcance oblicuo de imágenes SAR. No obstante, para una determinación de coordenadas no son suficientes solamente dos mediciones de la distancia. Por lo tanto, en este método se toma la hipótesis adicional de que el destino se encuentra sobre el elipsoide WGS84. En la figura 5 se esboza el principio. A partir de las dos distancias con respecto al objetivo y a las posiciones correspondientes, a partir de las cuales se miden las distancias, resultan dos esferas. El destino tiene la propiedad de que se encuentra sobre la superficie de las dos esferas y del elipsoide WGS84. Por lo tanto, el cometido consiste en calcular la intersección de las tres superficies. La intersección de dos esferas es, en general, una línea circular en el espacio. La intersección de esta línea circular con el elipsoide WGS84 está constituida, en general, por dos puntos. Un punto se puede excluir por razones de factibilidad, puesto que los dos puntos se encuentran normalmente muy separados uno del otro. No obstante, puesto que se conoce la dirección de la visión aproximada en el registro de la imagen SAR, se puede excluir un punto como solución. Si se conoce la altura media en la región de destino, entonces se puede utilizar esta altura para la corrección de la posición de la célula de resolución correspondiente en el suelo.

30 El problema se describe a través de las dos ecuaciones 2 y 3 siguientes. Aquí x , y , z representan las coordenadas buscadas del destino. Las magnitudes iguales con los índices 1 y 2 designan las coordenadas de las dos posiciones de registro de la imagen SAR. Las dos distancias correspondientes con relación al destino están designadas con R_1 y R_2 . Los semi-ejes del elipsoide WGS84 se designan con a y b . La ecuación 3 describe, por lo tanto, que el destino se encuentra en el elipsoide WGS84.

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = R_1^2 \quad (2)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = R_2^2$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (2)$$

Determinación de coordenadas por medio de la utilización de tres imágenes SAR

45 A continuación se describe la determinación de coordenadas de un destino por medio de tres imágenes SAR. En la determinación de coordenadas de un destino con tres imágenes SAR se utiliza la información de la distancia con relación al destino obtenida a partir de las imágenes SAR, para calcular las coordenadas. En la figura 4 se esboza el principio. A partir de las tres distancias con respecto al destino y a las posiciones correspondientes, a partir de las cuales se miden las distancias, resultan tres esferas. El destino tiene la propiedad de que se encuentra sobre la superficie de las tres bolas. Por lo tanto, el cometido consiste en calcular la intersección de las tres esferas. La intersección de dos esferas es, en general, una línea circular en el espacio. La intersección de esta línea circular con la tercera esfera está constituida, en general, por dos puntos. Un punto se puede excluir normalmente por razones de factibilidad, puesto que los dos puntos se encuentran normalmente muy separados uno del otro. La geometría de

la determinación de las coordenadas condiciona que un punto se encuentre sobre la superficie de la tierra, pero el otro se encuentre muy por encima de la superficie de la tierra. Puesto que el destino se encuentra sobre el suelo, el punto que está muy por encima de la superficie de la tierra se puede excluir como solución.

El problema se describe a través de la ecuación 4 siguiente:

$$\begin{aligned}(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 &= R_1^2 \\(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 &= R_2^2 \\(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 &= R_3^2\end{aligned}\tag{4}$$

5

Aquí x , y , z representan las coordenadas buscadas del destino. Las magnitudes iguales con los índices 1, 2 y 3 designan las coordenadas de las tres posiciones de registro de la imagen SAR. Las tres distancias correspondientes con relación al destino están designadas con R_1 , R_2 , R_3 .

10

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Procedimiento para la determinación aeroasistida de las coordenadas geográficas de píxeles correspondientes a partir de imágenes de radar de abertura sintética digital, en el que las imágenes SAR están presentes como imágenes de alcance oblicuo y se conoce la posición de registro de la imagen SAR respectiva, en el que a partir de las coordenadas de los píxeles correspondientes en las imágenes SAR y los intervalos de alcance correspondientes se determina, respectivamente, la distancia entre una célula de resolución correspondiente en el suelo y en la posición de registro de la imagen SAR respectiva, caracterizado por que a partir de las distancias calculadas y las posiciones de registro correspondientes de las imágenes SAR utilizando un elipsoide WGS84 se determinan las coordenadas geográficas de los píxeles correspondientes en las imágenes SAR.
- 10 2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que para la determinación de las coordenadas geográficas de píxeles correspondientes se utiliza una altura media predeterminada para una imagen SAR de una región de destino.
- 15 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que para la determinación de las coordenadas geográficas de píxeles correspondientes se utiliza una tarjeta de alturas predeterminada para una imagen SAR.
- 4.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que para la determinación de las coordenadas geográficas de píxeles correspondientes a partir de imágenes de radar de abertura sintética digital se utilizan dos o tres imágenes SAR.

20

Estado de la técnica

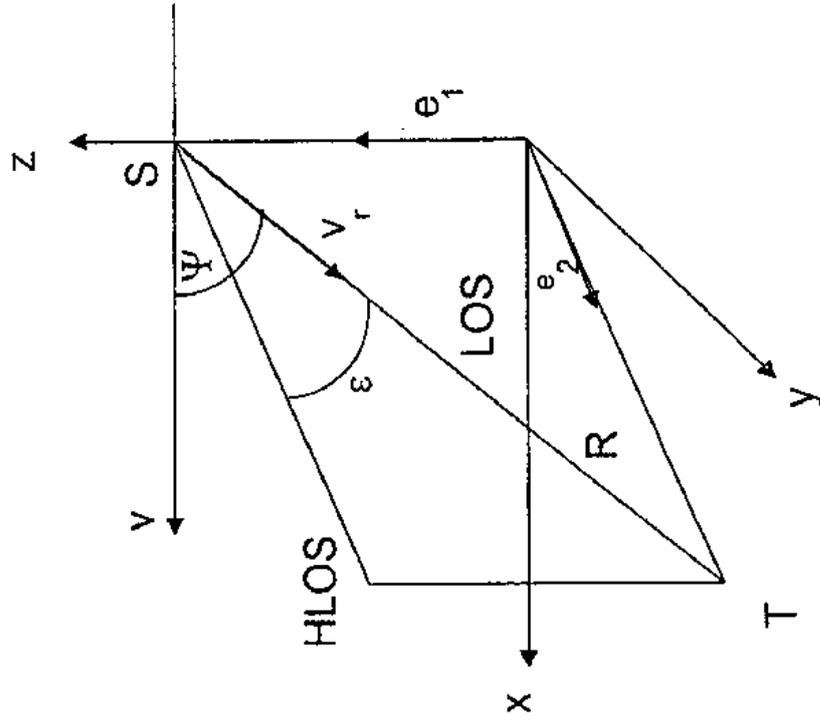


Fig. 1b

Estado de la técnica

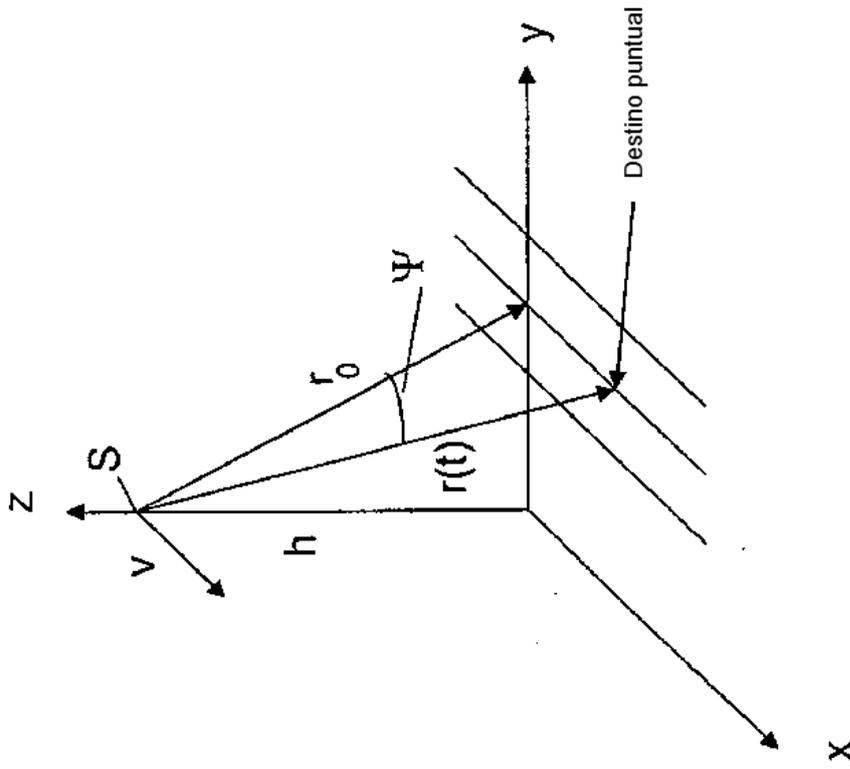
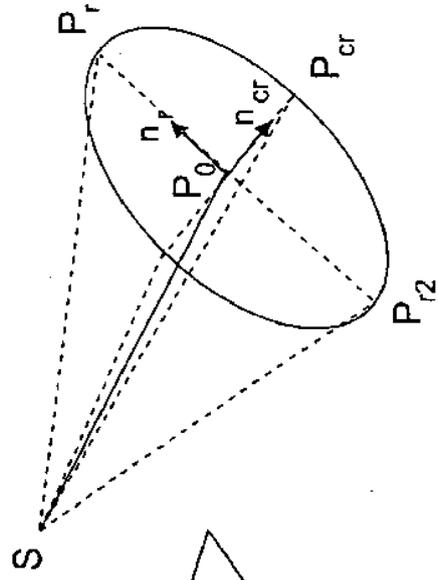


Fig. 1a

Estado de la técnica



Estado de la técnica

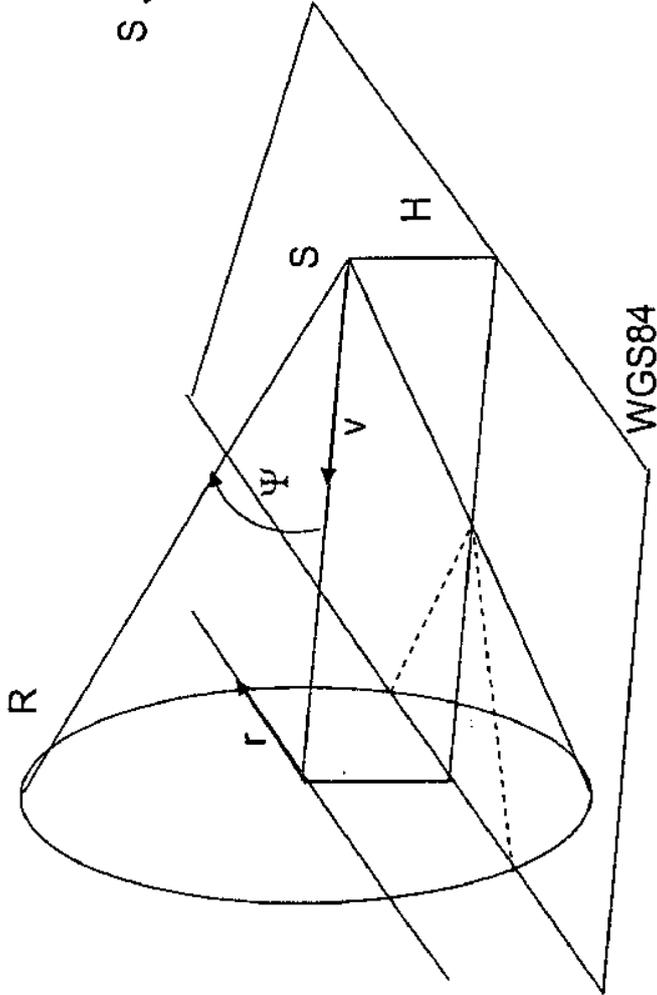


Fig. 2b

Fig. 2a

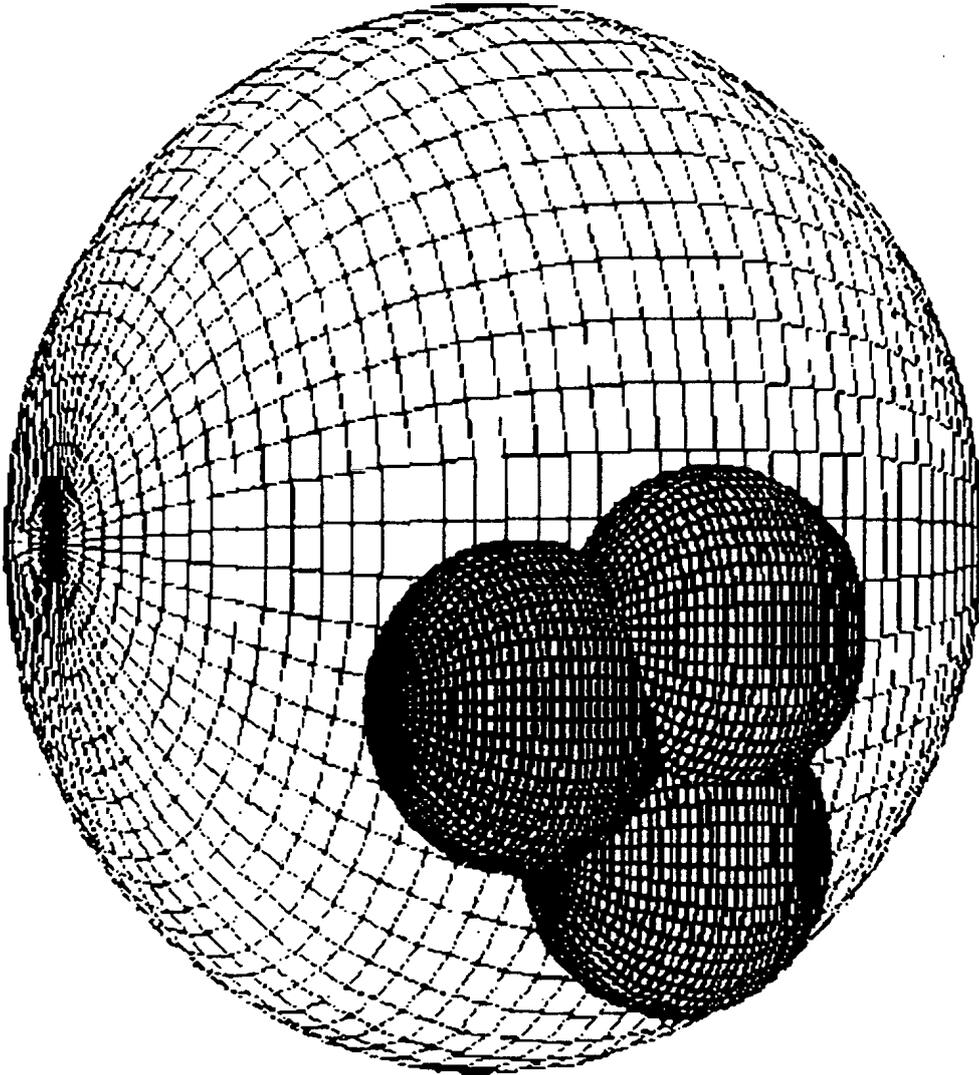


Fig. 4

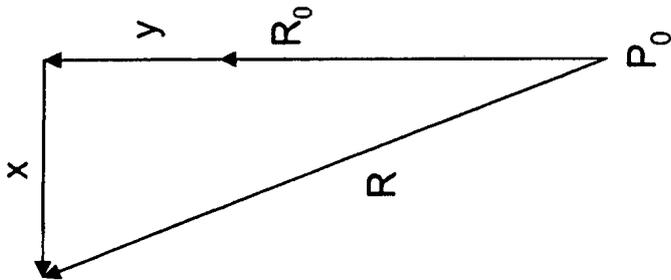


Fig. 3

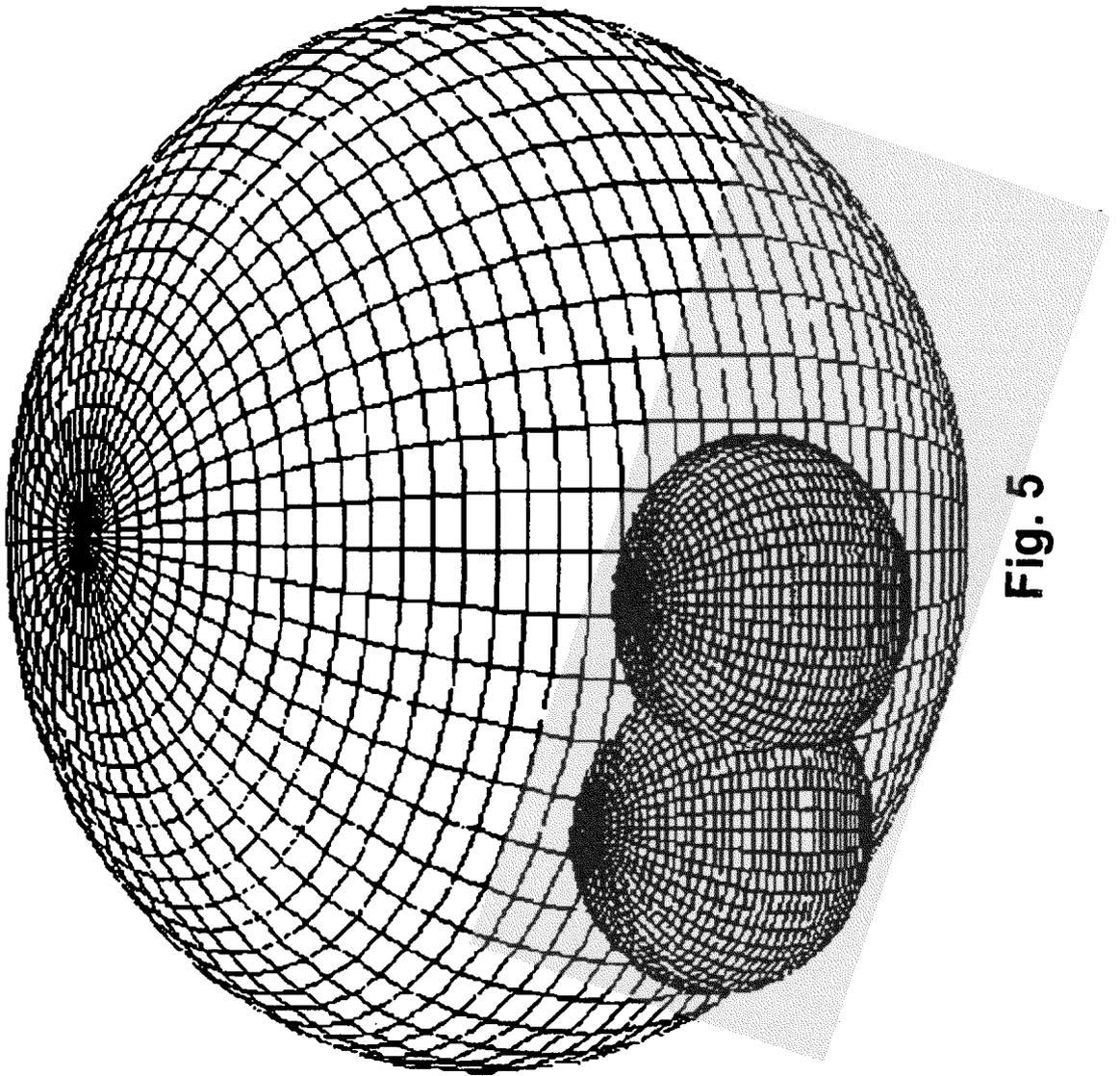


Fig. 5