

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 372 819**

⑯ Int. Cl.:  
**F41G 7/28**  
(2006.01)

⑫

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Número de solicitud europea: **04791201 .9**  
⑯ Fecha de presentación: **12.10.2004**  
⑯ Número de publicación de la solicitud: **1678459**  
⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **12.07.2006**

⑭ Título: **PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO PARA LA REDUCCIÓN DE LA INFLUENCIA DEL EFECTO MULTITRAYECTO EN LA MEDICIÓN DE LA PROPIA POSICIÓN DE UN OBJETO GUIADO POR UN HAZ Y EL SISTEMA DE CONTROL DEL OBJETO GUIADO POR UN HAZ DE RF QUE LO USA.**

⑯ Prioridad:  
**14.10.2003 NL 1024532**

⑬ Titular/es:  
**THALES NEDERLAND B.V.  
ZUIDELIJKE HAVENWEG 40 P.O. BOX 42  
7550 GD HENGelo, NL**

⑮ Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**26.01.2012**

⑭ Inventor/es:  
**Benthem de Grave, Herman**

⑯ Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**26.01.2012**

⑭ Agente: **Carpintero López, Mario**

**ES 2 372 819 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 y dispositivo para la reducción de la influencia del efecto multitrayecto en la medición de la propia posición de un objeto guiado por un haz y el sistema de control del objeto guiado por un haz de RF que lo usa.

La presente invención se refiere a un procedimiento y al dispositivo correspondiente para la reducción del efecto multitrayecto en la medición de la propia posición de un objeto guiado por un haz de radiofrecuencia (RF) y el sistema de control del objeto guiado por un haz de RF que lo usa.

En el guiado por un haz de RF, el objeto guiado por el haz tiene que seguir al haz dirigido en la dirección deseada (montura del haz). Durante el vuelo, el objeto guiado mide su propia posición con respecto al haz de RF y traduce estas mediciones en los comandos apropiados para sus propios medios de control. El uso del guiado por el haz de RF provoca que sus propias mediciones de posición queden afectadas por los efectos multitrayecto cuando el objeto está a baja altura por encima del mar.

La energía electromagnética (EM) se propaga como ondas en la atmósfera y cuando incide en una superficie tiene lugar una reflexión. En el caso de un objeto a baja altura por encima del mar, una parte relativamente grande de la energía EM que llega al objeto vendrá desde reflexiones en la superficie del mar. Cuanto más liso esté el mar comparado con la longitud de onda de RF, más energía se reflejará. En mares lisos, la energía reflejada tiene un valor medio intenso (reflexión especular); en áreas menos lisas, dominará un efecto aleatorio (reflexión difusa).

Debido a las diferencias en las longitudes de las trayectorias de las ondas directa ( $R_1$ ) y reflejada ( $R_2$ ), llegarán con una diferencia (muy pequeña) de tiempo al objeto. Como resultado, esta diferencia de tiempo se traduce en una diferencia de fase. Si la diferencia de fase es pequeña, entonces las dos se sumarán hasta un valor superior que el del recorrido directo solamente, una diferencia de fase cercana a 180 grados puede conducir prácticamente a la anulación. Mientras que la diferencia de alcance varía con la distancia al objetivo, esa interferencia o efecto multitrayecto mostrará también un alcance dependiente de la fluctuación. Cuanto más pequeña sea la longitud de onda (más elevada la frecuencia de radio RF), mayor será la frecuencia a la que éstas fluctuaciones tendrán lugar: más picos y valles de reflexión especular dentro de un abanico de alcances.

Para permitir que el objeto guiado determine su propia posición con respecto a la dirección principal (punto apuntado), se pueden introducir un número predeterminado de desplazamientos en la posición del haz, tanto simultáneamente, como en un sistema monopulso, o secuencialmente. Modulados por el patrón del haz, los diferentes haces darán diferentes respuestas que el objeto guiado usa para estimar su propia posición.

El efecto multitrayecto influencia la precisión del proceso de estimación. En particular, esto se debe al hecho de que las trayectorias indirectas tendrán diferentes ángulos (y ganancias) con respecto al punto apuntado en cada posición del haz. Por lo tanto, el efecto multitrayecto introduce errores adicionales en la medición de la propia posición, incluso cuando el objeto está en el punto apuntado.

En el caso de que el objeto guiado sea un armamento, el haz de guiado de RF está dirigido por medio de una antena de guiado del haz en la dirección del objetivo a ser interceptado. En este caso, los efectos multitrayecto tendrán lugar cuando se captan objetivos en vuelo bajo, tales como seaskimmers.

Los efectos multitrayecto influenciarán directamente el despegue del armamento guiado y reducirán la probabilidad con la que el armamento guiado alcanzará el objetivo. Incluso aunque esté equipado con un detonador por proximidad que detectará el objetivo al pasar y detonará la carga explosiva del armamento guiado, la efectividad de la onda expansiva y la fragmentación sobre el objetivo será menor con una distancia de error mayor (menor probabilidad de destrucción) con respecto al objetivo.

Por ello, los efectos multitrayecto degradan el rendimiento operativo del armamento guiado por RF en términos de la probabilidad de destrucción y alcance de alejamiento.

Un procedimiento para reducir los efectos del multitrayecto es el uso de agilidad de RF, es decir hacer uso de diferentes frecuencias en mediciones posteriores. Debido a que las posiciones de los picos del multitrayecto varían en su alcance con la frecuencia de radio RF, algunas frecuencias están afectadas menos que otras en un alcance particular. El procesamiento del armamento guiado puede hacer uso de esto mediante por ejemplo la selección solamente de mediciones que tengan una relación de señal a ruido (SNR) recibidas suficientemente alta: los picos del multitrayecto se asocian con valores de SNR bajos. Cuanto mayor sea el ancho de banda (anchos de bandas de > 10% de la frecuencia de operación principal son las preferidas a este respecto), más efectivo será el uso de la agilidad de RF.

El estado de la técnica de transmisores que usan Tubos de Ondas Progresivas (TWT) se diseñan para funcionar con un rendimiento óptimo en una banda relativamente estrecha alrededor de la frecuencia de operación principal. Son posibles frecuencias de radio de RF mayores o menores (dentro de un ancho de banda de aproximadamente el 10% de la frecuencia de operación principal), sin embargo, con el coste de una potencia de salida reducida. Hasta cierto punto, estos efectos se pueden compensar con, sin embargo, consecuencias en coste.

Otro procedimiento para reducir los efectos multitrayecto sobre el control del armamento guiado por RF sería por medio de un filtro de datos de medición. El guiado por haz de RF involucra esencialmente un control en bucle cerrado del armamento guiado. El bucle cerrado, en este caso significa que el guiado influencia la posición del armamento guiado con respecto a la guía, lo que obviamente influencia directamente la entrada al guiado, es decir la medición de la propia posición. El filtrado retarda básicamente la influencia de las mediciones tenidas en cuenta en el guiado. Como un ejemplo considérese el siguiente caso:

Debido por ejemplo a una maniobra del objetivo, que se puede seguir casi directamente por la antena del haz de guiado, el armamento guiado elabora un desplazamiento de su posición con respecto al punto apuntado por la antena del haz de guía. Como resultado de este retardo de filtrado, este desplazamiento no se nota inicialmente.

Cuando el armamento guiado finalmente ha notado el desplazamiento y comienza su maniobra de corrección, esto de nuevo no es notado hasta después del retardo. Finalmente cuando el guiado ya ha corregido con éxito el desplazamiento, aún se detecta un error y se mantiene el comando de corrección del armamento guiado, lo que da como resultado un sobrepaso de la posición deseada, etc.

El efecto del filtrado es un movimiento del armamento guiado menos amortiguado (oscilaciones más fuertes y que se mantienen más tiempo), lo que eventualmente dará como resultado unas distancias de error mayores con respecto al objetivo (= menos rendimiento de la destrucción). Nótese en este sentido que el armamento guiado, como sistema dinámico, ya es una clase de filtro en sí misma. Si el filtrado sobre los datos de medición es demasiado fuerte, realmente el sistema completo puede convertirse en inestable y el armamento guiado nunca llegará al objetivo.

Por ello, el control del armamento guiado por RF de elevado ancho de banda requiere un transmisor más caro y el filtrado de medición degradada la estabilidad del armamento guiado.

La patente US 3.290.599 A desvela un modulador de potencia mediante un explorador de haz de transmisor. Un inconveniente de un modulador de ese tipo es que está afectado por el efecto multitrayecto.

La presente invención resuelve los inconvenientes anteriormente mencionados por la delimitación de las mediciones de error del haz de guiado a errores legales, es decir errores debidos a maniobras del objetivo o del armamento guiado.

Un objetivo de la presente invención es un procedimiento para la reducción de los efectos multitrayecto de acuerdo con la reivindicación 1.

Las características adicionales y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la descripción a continuación y de los ejemplos de realizaciones de la invención con referencia a los dibujos, que muestran detalles esenciales de la invención y a partir de las reivindicaciones. Los detalles individuales se pueden implementar en una realización de la invención bien por separado o bien conjuntamente en cualquier combinación.

- Figura 1, una representación de geometría multitrayecto,
- Figura 2, una representación de las posiciones de desplazamiento del haz de guiado y geometría multitrayecto,
- Figura 3, algunos ejemplos de las precisiones de la posición del objeto guiado para la posición medida  $m_k$ ,
- Figura 4, algunos ejemplos de las precisiones de la posición del objeto guiado para la posición procesada  $P_k$  de acuerdo con la invención,
- Figura 5, un diagrama de bloques de un ejemplo del modo de realización del dispositivo de reducción del efecto multitrayecto usando un procedimiento de acuerdo con la invención.

La Figura 1 muestra la geometría multitrayecto y su efecto sobre el haz.

Una antena A transmite un haz cuyo patrón se muestra mediante la Figura 1. Este haz sigue diferentes trayectorias: la trayectoria directa  $R_1$ , la trayectoria reflejada  $R_2$  (también denominada trayectoria especular). Debido a las diferencias en las longitudes de las trayectorias de las ondas directa  $R_1$  y reflejada  $R_2$ , el haz que sigue la trayectoria directa y el haz que sigue la trayectoria especular llegarán con una diferencia (muy pequeña) de tiempo al objeto O. Esta diferencia de tiempo se traduce en una diferencia de fase. Si la diferencia de fase es pequeña, entonces se sumarán las dos hasta un valor mayor que el de la trayectoria directa solamente, una diferencia de fase cercana a 180 grados conducirá casi a la extinción. Mientras que la diferencia de alcance variará con la distancia al objetivo, esa interferencia o efecto multitrayecto mostrará también un alcance dependiente de la fluctuación. Cuanto más pequeña sea la longitud de onda (frecuencia más elevada), mayores serán los picos y valles que se sucederán dentro de un intervalo de alcance particular.

Para permitir que el objeto O determine su propia posición con relación a la dirección de la antena principal, se pueden introducir un número de desplazamientos de posición del haz predeterminados, tanto simultáneamente como en un sistema mono pulso como secuencialmente. Modulados por el patrón del haz, los diferentes haces darán diferentes respuestas que el objeto usa para estimar su propia posición. Por ejemplo en la Figura 2, las trayectorias directa  $R_1$  para los haces discontinuos (haz desplazado C) y de puntos (haz desplazado D) tienen la misma ganancia y en consecuencia reciben la misma cantidad de energía. Como resultado el objeto O se estima que está en el punto apuntado por la antena.

El efecto multirayecto, sin embargo, influencia la precisión del proceso de estimación. En particular debido también a que las trayectorias indirectas I tendrán diferentes ángulos (y ganancias) con respecto al punto apuntado en cada posición del haz. Por lo tanto, el efecto multirayecto introduce errores adicionales en la medición de la posición.

5 Como ejemplo, compárense las flechas indirectas discontinuas y de puntos en la Figura 2 que se muestran diferentes en tamaño para representar diferentes ganancias a partir de los patrones relevantes discontinuos y de puntos del haz. Aunque el objeto está en el punto apuntado de la antena, ahora la contribución del recorrido indirecto provocará un error de estimación.

10 El objetivo es separar los errores de posición medidos "legales" (debidos a maniobras del objetivo y/o del objeto guiado) e "ilegales" (debido al multirayecto y/o ruido en la medición) tanto como sea posible. Teniendo en cuenta las 15 capacidades de maniobra del objetivo así como las capacidades de maniobra del objeto guiado, la invención consiste en limitar la influencia de las variaciones en el error de la posición medida. La idea básica detrás de esta limitación es que grandes cambios en el error de la posición medida sólo se pueden atribuir al multirayecto y/o ruido en la medición, no a maniobras legales.

15 Esta función de limitación puede ser dependiente del alcance, considerando tanto el alcance del objetivo como del objeto guiado. En este sentido, los parámetros de la función de limitación dependen de la maniobrabilidad esperada máxima del objetivo (dominante en un alcance mayor) y las capacidades de maniobra del objeto guiado (dominantes en el alcance corto). Se aplican diferentes funciones para la dirección vertical y horizontal en el marco de referencia del objeto guiado (nótese que debido a la rotación de su marco de referencia con respecto a la vertical local, los efectos multirayecto pueden estar también presentes en la dirección horizontal).

20 El resultado conseguido es una reducción significativa en el error sistemático (medio) así como en el error aleatorio (desviación estándar), sin virtualmente afectar los movimientos legales del objeto guiado y del haz de guía.

25 Las Figuras 3 y 4 muestran ejemplos de precisiones de elevación típicas en función del alcance del objeto guiado para diferentes anchos de banda. La Figura 3 muestra las precisiones en términos de la posición medida  $m_k$ , mientras que la Figura 4 muestra estas precisiones en términos de la posición procesada  $P_k$ . Por posición procesada se entiende la posición obtenida después de la limitación de acuerdo con la invención.

30 El eje X representa el alcance del objeto guiado en metros y el eje Y la precisión de la elevación en  $10^{-3}$  radianes. Realmente, las posiciones medidas del haz del objeto guiado son normalmente datos angulares expresados en radianes. Nótese que como en cualquier sistema de radar estos datos no son realmente medidos como tales, sino calculados en el procesador del objeto guiado a partir de los niveles de tensión medidos. Un convertidor analógico a digital (ADC) proporciona el equivalente digital relevante al procesador.

35 Las líneas continuas  $c_1$  representan la evolución de las precisiones en términos del valor medio respectivamente para la posición medida y para la posición procesada con un ancho de banda del 10%. Las líneas de puntos  $c_2$  representan la evolución de las precisiones en términos del valor medio respectivamente para la posición medida y la posición procesada con un ancho de banda del 3%. Las líneas discontinuas  $c_3$  representan la evolución de las 40 precisiones en términos de la desviación estándar respectivamente para la posición medida y la posición procesada con un ancho de banda del 10%. Las líneas de punto y raya  $c_4$  representan la evolución de las precisiones en términos de la desviación estándar respectivamente para la posición medida y la posición procesada con un ancho de banda del 3%.

45 Estas dos figuras muestran que la posición procesada es más precisa independientemente del ancho de banda que se use.

50 El procedimiento para la reducción del efecto multirayecto sobre la medición de posición de un objeto guiado por haz de acuerdo con la invención limita la influencia de la variación de la posición medida  $m_k$  dentro de un intervalo predeterminado  $[F_2, F_1]$ . Como se ha mencionado anteriormente, el intervalo predeterminado  $[F_2, F_1]$  puede depender de la maniobrabilidad esperada máxima del objetivo y de las capacidades de maniobra del objeto guiado que dependen del alcance, considerando tanto los alcances del objetivo ( $R_{obj}$ ) como del objeto guiado ( $R_{arm}$ ).

55 En una posible realización de este procedimiento para la reducción del efecto multirayecto, la limitación comprende una estimación de la medición de error legal  $\Delta m_{lim}$  a partir de al menos la posición de medición actual  $m_k$  y la posición procesada previa  $P_{k-1}$ . A continuación, se procesa la posición  $P_k$  mediante la adición del error legal estimado a la posición de referencia  $P_{ref}$  :  $P_k = P_{ref} + \Delta m_{lim}$ .

50 La Figura 5 muestra una implementación posible del procedimiento de reducción del efecto multirayecto de acuerdo con la invención como un medio de limitación de la variación (100). Este medio de limitación de la variación (100) comprende un estimador de error legal (110), que recibe al menos la posición medida actual  $m_k$  y la posición procesada previa  $P_{k-1}$  y proporciona  $\Delta m_{lim}$ . Este medio de limitación de la variación (100) comprende también un procesador de posición (120) que añade el error legal estimado  $\Delta m_{lim}$  a la posición de referencia  $P_{ref}$  :  $P_k = P_{ref} + \Delta m_{lim}$ .

55 La estimación de medición de error legal  $\Delta m_k$  se puede realizar por medio de, en primer lugar, el procesamiento de

una variación mediante una resta entre la posición medida actual  $m_k$  y la posición procesada previa  $P_{k-1}$  :  $\Delta m_k = m_k - P_{k-1}$ . En segundo lugar, la variación  $\Delta m_k$  se limita dentro del intervalo predeterminado  $[F_2, F_1]$  proporcionando el error legal estimado  $\Delta m_{lim}$  como igual a:

5

- $\Delta m_k$ , si  $\Delta m_k$  está dentro del intervalo predeterminado  $[F_2, F_1]$
- $F_1$ , si  $\Delta m_k$  es mayor que  $F_1$ ,
- $F_2$ , si  $\Delta m_k$  es menor que  $F_2$ .

Esta primera etapa se puede implementar en un procesador de variación (111) y la segunda etapa en un medio de limitación de la variación procesada (112). En la presente realización de la invención, la posición de referencia  $P_{ref}$  es igual a la estimación de error legal  $P_{k-1}$  (initialmente en  $k=0$ ,  $P_{k-1}$  se fija igual a  $m_k$ ).

10

El retardo  $T$  indica que la diferencia  $\Delta m_k$  en el instante  $k$  se calcula a partir de la muestra de medición  $m_k$  y la posición procesada previa  $P_{k-1}$  en los instantes  $k$  y  $k-1$ , es decir separados en el tiempo por un retardo determinado por la velocidad de muestreo de medición.

Los dos umbrales  $F_x$  ( $x = 1, 2$ ) del intervalo predeterminado se pueden implementar mediante la siguiente función de limitación, que ha sido evaluada en cuanto a su correcto funcionamiento (véase la Figura 3):

15

$$F_x = \max\left(\frac{k_{x_1}}{R_{obj}}, \frac{k_{x_2}}{R_{arm}}\right) \text{ con } x = [1, 2] \text{ y } k_{x_1} > k_{x_2}$$

Los coeficientes  $k_{x_1}$  y  $k_{x_2}$  de esta función han de ser ajustados al comportamiento esperado de la amenaza (por ejemplo misiles contra barco altamente maniobrables) del comportamiento del objeto guiado. Más aun, estos coeficientes dependen obviamente también de la tasa de muestreo de la medición.

20

Como se puede ver a partir de la ecuación anterior para  $F_x$ , la limitación en la parte inicial del despegue del objeto guiado se determina mediante  $k_{x_2}/R_{arm}$ , debido a que en ese momento  $R_{arm} \ll R_{obj}$ . En la etapa de despegue, el objeto guiado estará captando el haz de guía, las maniobras del objetivo son menos importantes debido al alcance más largo  $R_{obj}$ ; un desplazamiento del objetivo de  $M$  metros dará como resultado solamente un desplazamiento del haz de guía en la posición del objeto guiado de  $M \times R_{arm}/R_{obj}$  metros.

25

Con un alcance más largo cuando el objeto guiado se ha establecido sobre el haz de guía, la maniobrabilidad del objetivo se hace más importante. El punto de transición está en  $k_{x_1}/R_{obj} = k_{x_2}/R_{arm}$ . Nótese que esto tiene significado solamente cuando  $k_{x_1} > k_{x_2}$ .

Así inicialmente el valor de la función disminuirá con el tiempo, pero más allá del punto de transición, aumentará de nuevo hasta la interceptación.

30

La función descrita aquí no es necesariamente la única implementación posible. Pueden funcionar igualmente bien otras funciones o incluso mejor que la descrita aquí. La idea básica de la invención es que las mediciones de error "legales" pueden ser causadas solamente por maniobras del objetivo o del objeto guiado y que tales maniobras serán menores que un cierto máximo. Obviamente este máximo depende de las capacidades tanto de la amenaza objetivo como la dinámica/cinemática del objeto guiado, ambas dependientes del alcance.

35

La introducción de limitaciones dependientes del alcance sobre el aumento o disminución de las mediciones de la posición del haz de dirección reduce la influencia de los errores multirayecto hasta un nivel aceptablemente bajo. De esta forma, está permitido el uso de un tipo de transmisor convencional con un ancho de banda del 3% y se obvia la necesidad de un filtrado adicional que afectaría a la estabilidad del objeto guiado. Por lo tanto, la invención es una solución de bajo coste que proporciona una buena estabilidad del objeto guiado.

40

El procedimiento de reducción del efecto multirayecto se puede implementar también como un software adicional en el procesador del ordenador de a bordo existente del sistema de control del objeto guiado por RF.

Más en general, tal procedimiento de reducción del efecto multirayecto se puede usar en cualquier clase de sistemas de control de objetos de direccionamiento por haz, como por ejemplo misiles y armamento guiado.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para reducir la influencia del efecto multirayecto en el control de un objeto guiado por haz, que comprende:

5            - la medición por el objeto guiado por haz de su propia posición con respecto al haz de guía, siendo dicha medición posiblemente afectada por el efecto multirayecto;

          - la determinación de una variación de dicha posición medida con relación a una posición procesada previamente;  
          estando el procedimiento **caracterizado porque** comprende:

10           - la limitación de dicha variación determinada a un intervalo predeterminado para limitar la influencia del efecto multirayecto;

          - el control de dicho objeto guiado por haz en base a dicha variación limitada.

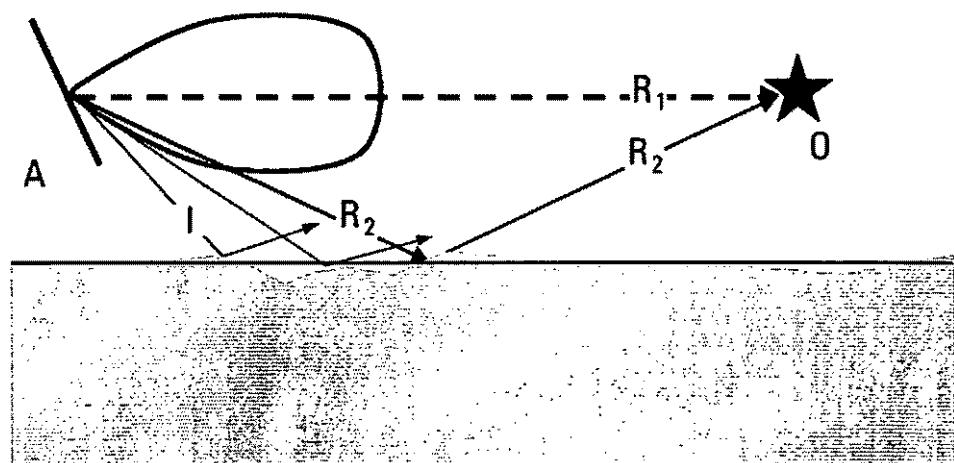


Fig. 1

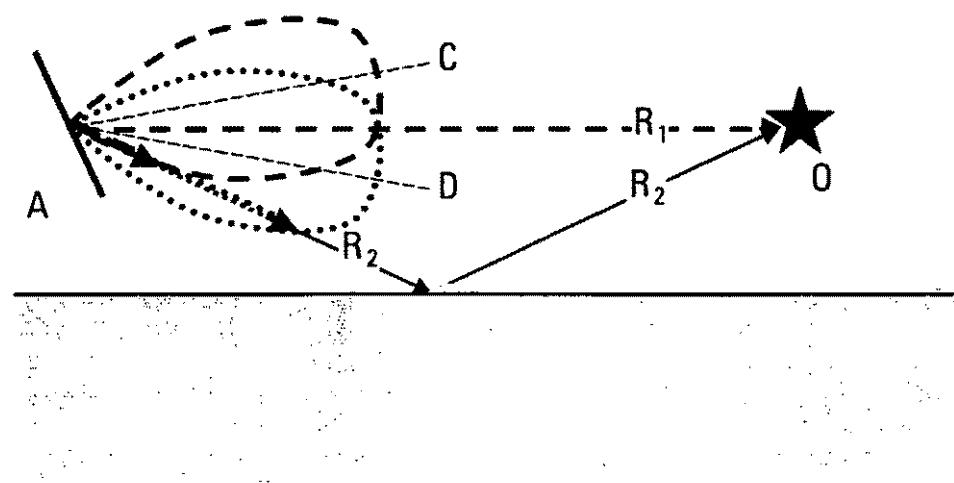


Fig. 2

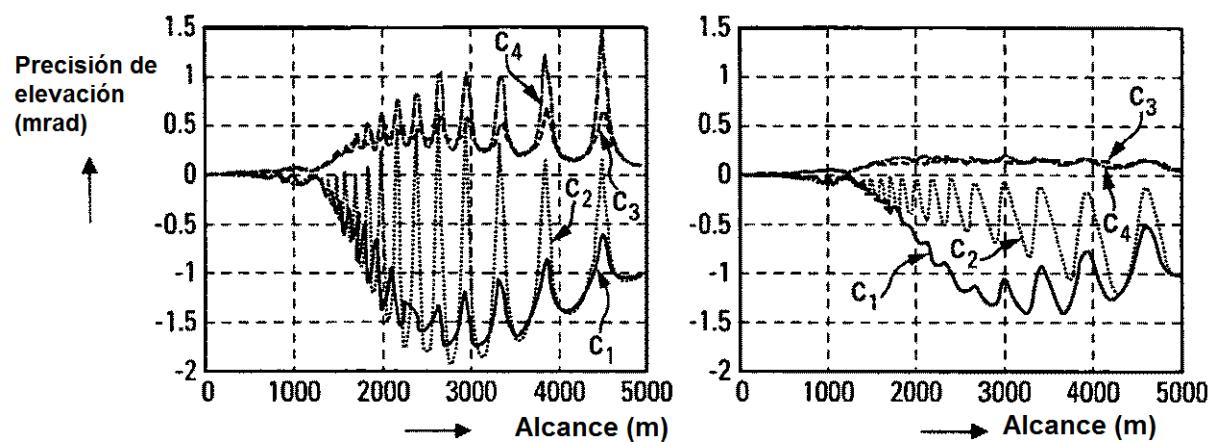


Fig. 3

Fig. 4

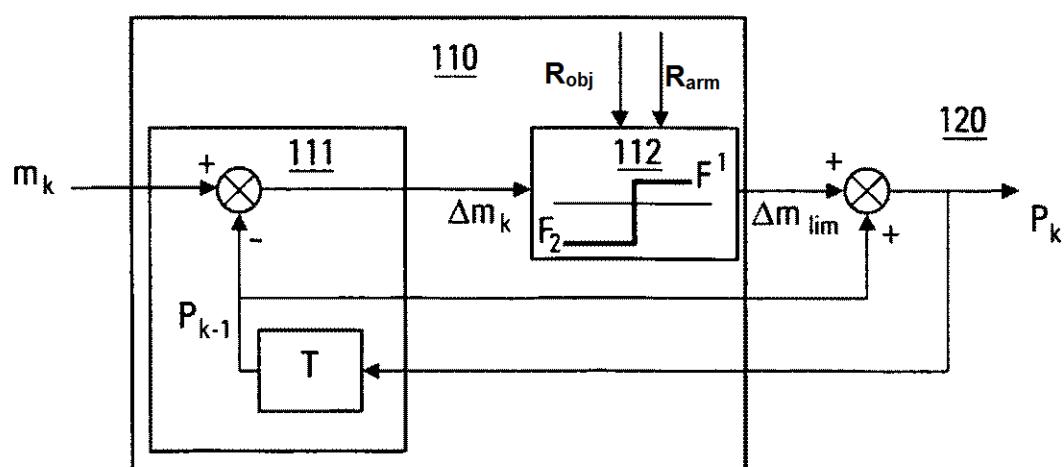
100

Fig. 5