

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 335 199**

51 Int. Cl.:
G01S 1/04 (2006.01)
H04B 1/707 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02753959 .2**
96 Fecha de presentación : **07.08.2002**
97 Número de publicación de la solicitud: **1415175**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.05.2004**

54 Título: **Método y aparato para procesar señales para aplicaciones de determinación de la separación.**

30 Prioridad: **08.08.2001 EP 01870171**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
23.03.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
23.03.2010

73 Titular/es: **Septentrio N.V.**
Greenhill Campus, Interleuvenlaan 150
3001 Leuven, BE

72 Inventor/es: **Sleewaegen, Jean-Marie**

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 335 199 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).

ES 2 335 199 T3

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para procesar señales para aplicaciones de determinación de la separación.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método y un aparato para recibir y procesar señales, esencialmente señales del tipo de espectro ensanchado, tales como las que se usan en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

10 **Estado de la técnica**

En la actualidad, se están usando ampliamente sistemas de posicionamiento basados en satélites. Los más conocidos son el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) desarrollado por el gobierno de los Estados Unidos o el Sistema de Navegación Global por Satélite (GLONASS) desarrollado por el gobierno ruso. La principal finalidad de estos sistemas es proporcionar posición, velocidad y tiempo a cualquier usuario en o cerca de la superficie de la tierra. El usuario determina su posición en el espacio y el tiempo midiendo su separación (*range*) con respecto a por lo menos 4 satélites cuya posición y tiempo se determinan de forma precisa, definiéndose la separación como la distancia entre el usuario y un satélite.

Los satélites GPS transmiten señales sobre dos frecuencias portadoras denominadas L1 a 1.575,42 MHz y L2 a 1.227,6 MHz. Las portadoras son moduladas por códigos de ensanchamiento pseudoaleatorios (PRN) que son exclusivos de cada satélite, y por un mensaje de navegación. Todos los satélites transmiten en las mismas frecuencias. La distinción entre los satélites es posible debido a que todos los códigos PRN se seleccionan de manera que sean ortogonales.

La portadora L1 es modulada por el denominado código de aproximación/adquisición (“código C/A”) y el código de precisión (“código P”). El código C/A tiene una velocidad de transmisión de segmentos de 1,023 MHz y una longitud de 1 ms, y por lo tanto contiene 1.023 segmentos (el término “segmento” se usa para los símbolos de código). Se repiten los mismos 1.023 chips cada milisegundo. El código P tiene una velocidad de transmisión de segmentos de 10,23 MHz y una longitud de 1 semana. De este modo, se repite el mismo patrón cada semana. La portadora L2 es modulada únicamente por el código P. El ancho de banda de la señal en L1 y L2 se limita en el satélite al lóbulo principal del espectro del código P, es decir, 20,46 MHz.

Además de la modulación del código PRN, cada una de las portadoras es modulada también por un mensaje de navegación de 50 Hz, que transporta todos los parámetros necesarios para calcular la posición y el tiempo del satélite.

El seguimiento de la señal implica la sincronización de réplicas locales de la portadora y códigos PRN del satélite del que se va a realizar el seguimiento con la portadora y códigos PRN entrantes de ese satélite. Esto significa que el receptor debe tener la capacidad de generar los códigos PRN de todos los satélites. El seguimiento de la señal se logra modificando continuamente la fase y frecuencia de la réplica de la portadora y retardando o adelantando la réplica del código con el fin de mantenerlas enganchadas a la señal entrante. El seguimiento de la portadora se logra en un bucle de enganche de fase (PLL), mientras que el seguimiento del código se realiza mediante un bucle de enganche de retardo (DLL). Por definición, cuando se logra la sincronización, la fase de la réplica de la portadora es igual a la fase de la portadora entrante, y el retardo que se tuvo que aplicar a la réplica del código es igual que el del código entrante.

La medición de la separación por parte de un receptor GPS se basa en la medición de ese retardo, que es una medida directa del tiempo de desplazamiento de la señal desde el satélite al receptor. Multiplicando el retardo por la velocidad de la luz, el receptor calcula su separación del satélite.

Varias fuentes de errores influyen en la precisión de la medición de la separación al satélite. Uno de los más incómodos es el error por multitrayecto. El multitrayecto es un tipo especial de interferencia en el que la señal recibida está compuesta por la señal deseada de línea de visión directa, y uno o más componentes que han recorrido trayectos ligeramente diferentes debido a reflexiones sobre superficies u objetos en las cercanías de la antena. Las señales multitrayecto llegan al receptor con un retardo, fase y potencia diferentes a los de la señal de línea de visión directa.

El error de determinación de la separación (*ranging*) debido al multitrayecto depende del retardo, la fase y la potencia de la señal multitrayecto con respecto a la señal de línea de visión directa, y del tipo de procesado de la señal que use el receptor. Se han ideado varias técnicas de procesado digital para reducir el efecto del multitrayecto sobre las mediciones de determinación de la separación.

No obstante, un inconveniente común de los métodos disponibles de mitigación del multitrayecto es que los mismos no pueden reducir un multitrayecto que presente un retardo corto. Incluso para las técnicas más recientes de mitigación del error por multitrayecto, un multitrayecto que llegue al receptor con un retardo menor que aproximadamente 20 m influye en la medición de la separación como si no se usara en absoluto ninguna técnica de mitigación. Esta es una limitación importante de las técnicas actuales ya que, en situaciones de la vida real, la mayoría de las señales multitrayecto son del tipo de retardo corto.

ES 2 335 199 T3

El documento US-A-5.390.207 se refiere a un receptor para señales codificadas con ruido pseudoaleatorio. El funcionamiento del dispositivo se basa en estrechar el espaciamiento de anticipación-retraso (*early-late*), a una fracción del tiempo de un segmento de código PRN, con el fin de mitigar errores por multitrayecto. El uso de correladores de anticipación-retraso es una técnica conocida para engancharse a un código PRN entrante, y el espaciamiento de anticipación-retraso, es decir, el espaciamiento de tiempo entre versiones anticipadas y retrasadas del código PRN local es un parámetro importante cuando se trata de mitigar errores por multitrayecto. La definición exacta de este término se proporciona en el párrafo siguiente.

El documento US-A-5.734.674 se refiere también a un receptor para señales codificadas por PRN; el receptor descrito en este documento tiene la capacidad de ajustar dinámicamente el espaciamiento de anticipación-retraso entre señales de correlación.

El documento US-A-5.809.064 se refiere a mejoras en el mismo tipo de receptor que el descrito en el documento US-A-5.734.674, y se basa también en el ajuste dinámico del espaciamiento de anticipación-retraso.

Todas las técnicas relacionadas con el ajuste y la reducción esencial del espaciamiento de anticipación-retraso están vinculadas con una modificación del discriminador de DLL. Un nombre genérico para estas técnicas es el “espaciamiento estrecho”, en oposición a técnicas en las que no tiene lugar ninguna mitigación del error por multitrayecto (técnicas de “espaciamiento amplio”). Se ha observado que los planteamientos de “espaciamiento estrecho” de la técnica anterior reducen el error máximo de la separación con un factor 10 en comparación con los planteamientos de “espaciamiento amplio”. No obstante, sigue quedando un error importante por multitrayecto para una amplia gama de retardos multitrayectos.

El documento US-A-5.414.729 se refiere a un receptor para señales codificadas por PRN, en el que una pluralidad de señales de correlación se alimenta a un estimador de parámetros, a partir del cual se pueden estimar los parámetros de retardo, amplitud y fase de la señal de trayecto directo, así como cualquier señal multitrayecto. No obstante, esta estimación tiene lugar resolviendo un sistema de ecuaciones, por ejemplo, a través de un cálculo de mínimos cuadrados, que requiere capacidades complejas y caras de hardware y software.

El documento US-A-5.953.367 se refiere a un receptor para señales codificadas por PRN, que comprende una pluralidad de correladores de DLL dispuestos en cada uno de los múltiples canales de procesamiento del receptor. Estos correladores se combinan de tal manera que se construye un discriminador de DLL que no se ve afectado por la mayoría de los errores de multitrayecto. Esto mejora el seguimiento en presencia del multitrayecto, aunque requiere una modificación significativa de la arquitectura DLL, en comparación con DLLs de espaciamiento amplio y de espaciamiento estrecho.

El documento US-A-5.901.183 se refiere a un receptor para señales codificadas por PRN, en el que los bucles tanto del código DLL como de la portadora PLL del receptor incluyen un componente de bucle que detecta un error en su bucle principal provocado por la presencia de una señal multitrayecto. Un bucle correlador compuesto está formado por un correlador principal y un correlador secundario que detecta y corrige un error de seguimiento del correlador principal, inducido por un multitrayecto.

Los tres últimos documentos representan la técnica anterior más próxima, por cuanto describen métodos que permiten una eliminación total de errores por multitrayecto para una amplia gama de retardos multitrayecto. No obstante, con retardos multitrayecto menores que 20 m, que, en la práctica, son los más comunes, ni siquiera estas técnicas no consiguen tener ninguna influencia sobre errores de multitrayecto.

En la figura 1 se proporciona una visión general de las capacidades y limitaciones de métodos de la técnica anterior. La gráfica muestra la envolvente del error de separación para tres técnicas diferentes de procesamiento de la señal. Cada envolvente representa el error máximo y mínimo de separación en función del retardo de la señal multitrayecto, para una relación determinada de potencia de la señal con respecto al multitrayecto; en este caso, esta relación es igual a 4. La curva 100 se refiere a técnicas de “espaciamiento amplio”, es decir, técnicas en las que no se utiliza ninguna mitigación multitrayecto. La curva 101 es válida para las técnicas de “espaciamiento estrecho” a las que se ha hecho referencia anteriormente, mientras que la curva 102 se corresponde con las técnicas descritas más arriba como representativas de la técnica anterior más próxima. Es evidente que ningún planteamiento de la técnica anterior es capaz de reducir errores por multitrayecto en los retardos multitrayecto más bajos (entre 0 y 20 m).

La patente US nº 5.781.152 se refiere a un método en el que se usan cuatro réplicas de código pseudoaleatorio, a saber, un primer conjunto de códigos de anticipación y retraso, con un primer espaciamiento 2d de anticipación-retraso, y un segundo conjunto con un segundo espaciamiento 2kd de anticipación-retraso. El error por multitrayecto se estima a partir de una extrapolación basándose en valores de correlación medidos con estos dos conjuntos de códigos.

La patente US nº 5.966.403 se refiere a un método y un aparato para minimizar la señal de distorsión multitrayecto residual presente en una señal recibida, usando una función de ponderación no uniforme para dicha estimación/minimización.

Objetivos de la invención

5 El objetivo de la presente invención es proporcionar un método y un dispositivo para recibir y procesar señales del tipo de espectro ensanchado, que permitan una reducción de errores por multitrayecto en el intervalo más bajo de retardos multitrayecto, comparándose dicha reducción con la técnica anterior más próxima.

Otro objetivo de la presente invención es proponer un método y un dispositivo que sean técnicamente simples y económicos en comparación con métodos y dispositivos existentes.

10

Sumario de la invención

La presente invención se refiere a un método y un receptor según las reivindicaciones adjuntas.

15

La presente invención se refiere a un método para procesar por lo menos una señal enviada por un transmisor, usándose preferentemente dicha señal para medir la separación, es decir, la distancia entre dicho transmisor y un receptor, comprendiendo dicha señal una señal portadora modulada por un código de ruido pseudoaleatorio (PRN), comprendiendo dicho método las etapas siguientes:

20

- mezclar dicha señal con una réplica de la señal portadora, para adquirir una señal de banda base, que representa dicho código PRN,

25

- multiplicar dicha señal de banda base respectivamente con por lo menos cuatro réplicas del código PRN, estando desplazadas dichas réplicas en el tiempo una con respecto a otra,

30

- calcular los valores de correlación de dicha señal de banda base con respecto a cada una de dichas por lo menos cuatro réplicas del código PRN,

- calcular, a partir de dichos valores de correlación, una estimación del error por multitrayecto, basándose dicho cálculo en una fórmula predefinida, que iguala dicho error por multitrayecto a una función predefinida de dichos valores de correlación (I_{-M}, \dots, I_{+N}).

35

En particular, el método incluye el cálculo real de la distancia entre dicho transmisor y receptor, y por lo tanto comprende las etapas siguientes:

40

- mezclar dicha señal con una réplica de la señal portadora, para adquirir una señal de banda base, que representa dicho código PRN,

- multiplicar dicha señal de banda base respectivamente con tres réplicas, espaciadas equitativamente, de dicho código PRN, a saber una réplica anticipada, puntual y retrasada, con un espaciamiento determinado de anticipación-retraso,

45

- multiplicar dicha señal de banda base con por lo menos una réplica adicional de dicho código PRN, estando desplazada en el tiempo dicha réplica adicional con respecto a dichas réplicas anticipada, retrasada y puntual,

50

- calcular los valores de correlación de dicha señal de banda base con respecto a cada una de dichas por lo menos cuatro réplicas del código PRN,

55

- enganchar el código puntual a la señal de banda base manteniendo iguales entre sí los dos valores de correlación entre dicha señal de banda base y dichas réplicas anticipada y retrasada,

- calcular la separación multiplicando el retardo del código puntual por la velocidad de la luz,

60

- calcular, a partir de dichos valores de correlación, una estimación del error por multitrayecto, basándose dicho cálculo en una fórmula predefinida,

- filtrar dicha estimación del error por multitrayecto y se resta de dicha separación calculada dicha estimación del error por multitrayecto, produciéndose un valor de separación corregido.

65

Según la invención, dicha fórmula predefinida es una combinación lineal de dichos valores de correlación, estando normalizado cada uno de dichos valores por el valor de correlación de dicha réplica puntual.

ES 2 335 199 T3

Según la invención, dicha combinación lineal es de la forma siguiente:

$$MP = \sum_{i=-M..N} \alpha_i \frac{1}{I_0} \frac{I_i}{1 - |i| \frac{d}{2}}$$

en la que MP representa el error por multitrayecto, d representa el espaciamiento de anticipación-retraso, I_0 representa el valor de correlación de dicha réplica puntual, I_{-M}, \dots, I_{+N} representa los valores de correlación, α_i representan uno o más valores predefinidos.

Se prefiere también que cada una de dichas por lo menos cuatro réplicas esté desplazada el mismo retardo de tiempo con respecto a la réplica siguiente y/o previa.

Según la forma de realización preferida de la invención, se usan cuatro réplicas, el espaciamiento de anticipación-retraso es 1/15 de la longitud de un segmento, la cuarta réplica (P_{+2}) es 1/15 de la longitud de un segmento posterior a dicha réplica puntual (P_0), y dicha estimación del error por multitrayecto (MP) se calcula como:

$$MP = -0,42 \left(I - \frac{I_{+2}}{I_0} \frac{1}{1-d} \right)$$

La presente invención se refiere también a un receptor para aplicaciones de determinación de la separación según el método de la invención, comprendiendo dicho receptor una pluralidad de canales para detectar y engancharse a una pluralidad de señales codificadas por PRN, comprendiendo cada canal:

- una línea de retardo, que comprende por lo menos cuatro tomas,
- una pluralidad de mezcladores y acumuladores para calcular dichos por lo menos cuatro valores de correlación,
- un módulo estimador de multitrayecto para calcular dicha estimación del error por multitrayecto,
- un filtro paso bajo.

Según una primera forma de realización del receptor de la invención, dicho módulo estimador de multitrayecto comprende medios de software para calcular la estimación del error por multitrayecto basándose en una fórmula predefinida.

De acuerdo con una segunda forma de realización, dicho módulo estimador de multitrayecto comprende medios de hardware para calcular la estimación del error por multitrayecto basándose en una fórmula predefinida.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra las envolventes del error de determinación de la separación para técnicas anteriores de procesamiento de la señal.

La figura 2 ilustra el procesamiento de la señal en un receptor para una aplicación de determinación de la separación según la técnica anterior.

Las figuras 3a y 3b ilustran el efecto de errores por multitrayecto sobre el punto de seguimiento en dispositivos de la técnica anterior.

La figura 4 ilustra el concepto general del método y el dispositivo de la invención.

Las figuras 5a y 5b ilustran el fundamento del módulo estimador de multitrayecto.

La figura 6 representa una forma de realización preferida de la invención.

La figura 7 compara la invención con la técnica anterior en términos de envolvente del error de determinación de la separación.

Descripción detallada de la invención

En la figura 2, se representa una implementación típica de la técnica de procesado de la señal según la técnica anterior para aplicaciones de determinación de la separación (*ranging*). La señal entrante 1 se mezcla en primer lugar con una réplica local de la portadora, producida por el generador 2 de portadoras, con el fin de llevar la señal a banda base. La frecuencia y fase de la portadora local son controladas por un PLL (no mostrado). La señal de banda base representa esencialmente el código PRN, modulado por la señal de navegación de 50 Hz.

El bucle de enganche de retardo se representa mediante el grupo de elementos 4. Como es sabido en la técnica, en primer lugar se realiza una etapa de adquisición para adquirir una coincidencia “aproximada” entre la señal entrante y una versión local del código PRN. Después de eso, es necesario enganchar el código local en la señal entrante. La presente invención se refiere a esta etapa de enganche.

Haciendo referencia nuevamente a la figura 2, el código PRN local se genera en el generador 3 de códigos a una velocidad que es controlada continuamente por el discriminador de DLL y el filtro 10. El código entra en una línea 5 de retardo en la que se generan tres réplicas diferentes del código: P_0 es la réplica de código puntual, que debe mantenerse alineada con el código entrante. P_{-1} es la réplica anticipada, que está adelantada en una fracción de un segmento con respecto a P_0 , y P_{+1} es la réplica retrasada, retardada en una fracción de un segmento con respecto a P_0 . El retardo entre dos tomas adyacentes cualesquiera en la línea de retardo es el inverso de la frecuencia del reloj 6 de la línea de retardo, y al mismo se le hace referencia tradicionalmente como “ $d/2$ ” en unidades de segmentos de código.

Para el código C/A del GPS, la duración del segmento de código es próxima a $1 \mu s$, y la longitud del segmento próxima a 293 m. El retardo entre las tomas anticipada y retrasada es un parámetro importante del diseño, al que se hace referencia como espaciamiento de anticipación-retraso, y se indica como “ d ”. Muchos receptores usan un denominado “espaciamiento amplio” de $d=1$ segmento de código. Se dice que el espaciamiento es estrecho si d es menor que un segmento.

Volviendo a la figura 2, los multiplicadores 7 seguidos por los acumuladores 8 calculan la correlación entre las señales de banda base en la salida del mezclador 9 de portadoras y cada una de las versiones de código locales. Las tres correlaciones resultantes I_0 , I_{-1} e I_{+1} se representan en la figura 3a en función de la desalineación de retardo $\Delta\tau$ entre el código entrante y el código puntual local (P_0). La figura 3a se corresponde con el caso en el que no hay presentes señales multitrayecto. Cuando $\Delta\tau$ es positivo, el código puntual local está retrasado con respecto al código entrante, y la correlación anticipada (I_{-1}) es mayor que la correlación retrasada (I_{+1}). Se produce lo contrario cuando $\Delta\tau$ es negativo. Tal como puede esperarse, la correlación entre el código puntual y el entrante (I_0) alcanza su pico cuando los mismos están alineados, es decir, cuando $\Delta\tau=0$.

La función del DLL 4 es mantener el código puntual P_0 alineado con el código entrante. Se pone de manifiesto, a partir de la figura 3a, que esto se logra si las dos correlaciones laterales I_{-1} e I_{+1} son iguales. Por lo tanto, el DLL se diseña de tal manera que adapte la frecuencia del código local de modo que se verifique la igualdad $I_{-1}=I_{+1}$. Mientras el DLL consiga realizar esto, el código puntual P_0 se engancha a la señal entrante.

Esta implementación proporciona el punto de seguimiento correcto en ausencia de multitrayecto. No obstante, cuando hay presente multitrayecto, ya no se aplican las correlaciones representadas en la figura 3a. Los valores de correlación de I_0 , I_{-1} e I_{+1} son la suma de la correlación del código local con la señal entrante de línea de visión directa y de la correlación del código local con la señal multitrayecto entrante. El resultado es que el perfil de la correlación se distorsiona. La figura 3b ilustra la distorsión de las funciones de correlación en el caso de presencia de una señal multitrayecto que tenga un retardo de 60 m, y un cuarto de la potencia de la señal directa, y que esté en fase con la señal entrante.

Puede observarse que el punto de seguimiento, definido por la igualdad $I_{+1} = I_{-1}$, ya no está posicionado en $\Delta\tau=0$. Esto significa que el DLL ya no puede alinear correctamente el código puntual y el código entrante. Existe un error de seguimiento, que, en la figura 3b, es aproximadamente 0,1 segmento, ó 30 metros. Este error de seguimiento se traduce directamente en un error de separación equivalente.

El espaciamiento de anticipación-retraso tiene una gran influencia sobre la sensibilidad del DLL para señales multitrayecto. Por ejemplo, la envolvente indicada “espaciamiento estrecho” (curva 101) en la figura 1 se corresponde con un espaciamiento de $d=0,1$ segmento. La amplitud de las partes horizontales de la envolvente de error 101 en la figura 1 es proporcional a d .

Los planteamientos del estado de la técnica para reducir los errores de separación provocados por el multitrayecto se basan en una modificación del DLL de manera que la desviación del punto de seguimiento con respecto a la condición de $\Delta\tau=0$ se mantiene lo más pequeña posible en presencia de multitrayecto. Tal como se ha descrito anteriormente, muchos planteamientos de la técnica anterior se basan en una reducción y/o un ajuste dinámico del espaciamiento de anticipación-retraso d , con el fin de mitigar errores por multitrayecto. Otros utilizan técnicas de cálculo elaboradas.

La presente invención usa un enfoque diferente, basado en un hecho conocido, a saber, que la medición de la amplitud de la señal (o, de forma equivalente, la medición de la relación portadora/ruido) comunicada por un receptor está en una correlación elevada con el error de separación provocado por el multitrayecto. Esto se da a conocer en el

documento "Multipath Mitigation, Benefits from Using the Signal to Noise Ratio". J.M. Sleewaegen, Proceeding of the ION GPS-97 Meeting, Págs. 531 a 540, 1997. Una de las propiedades clave de la medición de la amplitud de la señal es que es la más sensible a retardos cortos por multitrayecto. La presente invención hace uso de esta propiedad para obtener un estimador de errores multitrayecto que funciona incluso para retardos multitrayecto cortos.

5 En la invención, para el seguimiento se usa un DLL de espaciamiento estrecho convencional, es decir, un DLL con un espaciamiento bajo de anticipación-retraso, por ejemplo, $d=1/15$ de la longitud de un segmento. De este modo, el seguimiento se realiza de la manera típica, es decir, manteniendo iguales entre sí los valores de correlación de anticipación y retraso (véase figura 3b). Se calcula por lo menos un valor de correlación adicional, basándose en por lo menos una réplica adicional del código PRN, desplazada en el tiempo con respecto a las versiones puntual, anticipada y retrasada. Los errores por multitrayecto son estimados *a posteriori* por un módulo estimador independiente de multitrayecto, sobre la base de una fórmula predefinida, que comprende por lo menos el valor de correlación entre la señal entrante y dicha por lo menos una réplica adicional del código PRN. El método de la invención produce un impacto mínimo sobre el proceso de seguimiento, y permite activar o desactivar fácilmente el proceso de estimación del multitrayecto, sin modificar el proceso de seguimiento.

La figura 4 ilustra el método de la invención, y muestra también los bloques constitutivos característicos que es necesario que estén presentes en un receptor según la invención. En la implementación convencional mostrada en la figura 2, el pico de correlación se mide en tres puntos diferentes, proporcionando una versión anticipada, retrasada y puntual del código. En la invención propuesta, el pico de correlación se mide con respecto a las mismas tres versiones del código, y adicionalmente con respecto a por lo menos una versión más, desplazada en el tiempo con respecto a las primeras tres.

Según el caso general presentado en la figura 4, se calculan $M+N+1$ valores de correlación, a saber, M versiones anticipadas (P_{-M}, \dots, P_{-1}), una versión puntual (P_0), y N versiones retrasadas (P_{+1}, \dots, P_{+N}). Esto se realiza usando una línea 20 de retardo que tiene $M+N+1$ tomas, controlada por un reloj 21 de línea de retardo y que genera $M+N+1$ versiones del código local. El retardo entre las tomas se sigue indicando como $d/2$, y el retardo entre la toma i y la toma 0 es $id/2$ ($i=-M, \dots, +N$).

Tal como en el receptor de la técnica anterior, se usan un generador 2 de portadoras y un generador 3 de códigos, y una pluralidad de mezcladores 7 y acumuladores 8. Todos estos elementos son idénticos en sí mismos a los usados en los receptores de la técnica anterior. Para el seguimiento, se usa un discriminador y filtro 10 convencional de DLL, para realizar el seguimiento de la forma típica, a saber, basándose en una versión del PRN anticipada (P_{-1}), una puntual (P_0) y una retrasada (P_{+1}). Independientemente, la totalidad de los $M+N+1$ valores de correlación (I_{-M}, \dots, I_{+N}) se alimenta hacia el módulo estimador 23 de multitrayecto en cada cálculo de la separación. Este módulo obtiene $M+N+1$ estimaciones independientes de la amplitud de la señal escalando cada uno de los $M+N+1$ valores de correlación según $1/(1-|i|d/2)$, $i=(-M, \dots, N)$. Cuando hay presente un multitrayecto, cada una de estas estimaciones de amplitud de la señal presenta un error que tiene una correlación elevada con el error de separación, aunque es diferente para cada estimación. La invención se basa en aprovecharse de estas diferencias para construir un estimador de errores de separación por multitrayecto. Más específicamente, se puede demostrar que una combinación lineal apropiada de las $M+N+1$ estimaciones de amplitud de la señal, normalizadas por el valor de correlación puntual I_0 , coincide notablemente con el error de determinación de la separación debido al multitrayecto. En otras palabras, se puede realizar una aproximación fiel del error de separación debido al multitrayecto mediante la siguiente fórmula:

$$MP = \sum_{i=-M \dots N} \alpha_i \frac{1}{I_0} \frac{I_i}{1 - |i| \frac{d}{2}}$$

Esta estimación del error por multitrayecto MP es característica de la invención. Los coeficientes α_i son constantes. Se calculan solamente una vez, durante el diseño del receptor. Después del cálculo según la fórmula predefinida, el filtro sobre la estimación (MP) se filtra por medio de un filtro paso bajo 24. A continuación, el resultado se resta de la separación obtenida a partir del seguimiento de anticipación-retraso por medio del DLL, dando como resultado una eliminación considerable del error por multitrayecto con respecto a la medición de la separación.

Esta fórmula predefinida permite una estimación muy rápida del error por multitrayecto, en comparación con técnicas existentes, en particular en comparación con la técnica presentada en la patente US n° 5.414.729 en el que el error por multitrayecto se halla en cada etapa de determinación de la separación, resolviendo un sistema de ecuaciones. En el método de la invención, no se realiza ninguna estimación de parámetros multitrayecto tales como retardo, fase y amplitud. Únicamente se realiza una estimación del propio error por multitrayecto.

Como ejemplo, y para clarificar en cierta medida la fórmula anterior, se podría proponer la siguiente combinación lineal para $M=2$, $N=3$ y $d=1/15$:

$$MP = -0,6 \frac{I_{-2}}{I_0} \frac{1}{1-d} - 0,43 \frac{I_0}{I_0} + 0,48 \frac{I_{+1}}{I_0} \frac{1}{1-d/2} + 0,75 \frac{I_{+2}}{I_0} \frac{1}{1-d} - 0,2 \frac{I_{+3}}{I_0} \frac{1}{1-3d/2}$$

ES 2 335 199 T3

Las figuras 5a y 5b comparan el error de determinación de la separación debido al multitrayecto y la estimación del mismo a partir de la fórmula anterior, en función del retardo multitrayecto, para dos amplitudes diferentes de la señal multitrayecto. En las figuras 5a y 5b, la curva superior se corresponde con un componente multitrayecto que llega en fase con el componente de la línea de visión directa, la curva inferior se corresponde con un desplazamiento de fase de 180°. Es evidente que la estimación multitrayecto (curvas 30) proporcionada por la combinación lineal dada anteriormente para M=2 y N=3 coincide considerablemente con el error de separación (curvas 31), incluso para retardos multitrayecto muy breves. Los coeficientes α_i en la fórmula anterior se han optimizado para obtener una mejor aproximación del error del multitrayecto con una amplitud de una décima parte de la señal directa (caso de la fig. 5a). No obstante, el mismo conjunto de coeficientes proporciona una aproximación bastante buena del error para otras amplitudes del multitrayecto (véase fig. 5b, relación de amplitud de la señal con respecto al multitrayecto =2).

Un receptor según la invención permite un seguimiento de la señal y una mitigación del multitrayecto según el método de la invención. Dicho receptor comprende una pluralidad de canales, pudiendo detectar y engancharse cada canal a una señal diferente codificada por PRN (de un satélite diferente). Cada canal comprende los elementos mostrados en la figura 4: un generador 2 de portadoras, un mezclador 9 de señales portadoras, una línea 20 de retardo y un reloj 21 de línea de retardo, un generador 3 de códigos locales, los mezcladores 7 y los acumuladores 8 para todas las versiones del PRN P_{-M}, \dots, P_{+N} , así como un discriminador y filtro 10 de DLL, diseñado para un seguimiento del tipo "espaciamento estrecho" ($d < 1$ segmento). El discriminador y filtro pueden ser aplicaciones basadas en software, que produzcan señales de órdenes a usar como entradas para el generador 3 de códigos PRN locales. Un receptor según la invención está caracterizado por la presencia del módulo estimador 23 de multitrayecto y el filtro paso bajo 24. Este módulo estimador de multitrayecto puede ser una aplicación de software, que realice la acción de calcular el error estimado por multitrayecto sobre la base de los valores de correlación (I_{-M}, \dots, I_{+N}). El estimador también se puede realizar en hardware, tal como un chip semiconductor, además, el filtro 24 puede ser una aplicación de software o una aplicación de hardware.

Los parámetros de diseño que se deben optimizar en el diseño del receptor son el número de correladores M+N+1 y los coeficientes α_i . Los mismos son el resultado de una solución de compromiso entre la complejidad del receptor, la precisión de la estimación del error por multitrayecto, y el ruido sobre la estimación. Hablando en términos generales, el uso de más correladores (necesidad de aumentar el número de tomas de la línea de retardo) da como resultado que se pueda estimar mejor el error por multitrayecto, a costa de la complejidad del receptor, y el ruido.

Descripción de una forma de realización preferida de la invención

Simulaciones han demostrado que se puede lograr un buen compromiso entre la precisión de la estimación del error por multitrayecto y el ruido sobre la estimación usando solamente un correlador adicional, en la posición +2 en la línea de retardo (M=1, N=2), es decir, basándose en una versión del código PRN que está retardada durante un tiempo igual a d con respecto a la versión puntual. En la figura 6, se representa el diseño preferido. Los componentes impresos en negrita son los componentes adicionales con respecto al receptor convencional.

El estimador 23 de multitrayecto de la figura 6 calcula la siguiente función de sus entradas:

$$MP = -0,42 \cdot \left(1 - \frac{I_{+2}}{I_0} \frac{1}{1-d} \right)$$

El coeficiente -0,42 es el resultado de una optimización de los parámetros α_i de manera que la estimación resultante del multitrayecto se ajusta del mejor modo al error real por multitrayecto en términos de mínimos cuadrados, para una gama amplia de relaciones de potencia de señal/multitrayecto. En el diseño preferido, el parámetro d se fija a 1/15.

A continuación, la estimación se alimenta a un filtro paso bajo 24. En el diseño preferido, el filtro paso bajo tiene un ancho de banda equivalente de ruido B_n de entre 0,1 y 1 Hz.

Para concluir, la figura 7 presenta una comparación entre las envolventes multitrayecto obtenidas usando un DLL convencional con un espaciamento estrecho de $d=1/15$ segmentos (curva 101), los planteamientos que representan la técnica anterior más próxima (curva 102) y el nuevo planteamiento propuesto (curva 103). Las curvas son relativas a una relación de potencia de señal con respecto a multitrayecto de 100. Puede observarse que el planteamiento propuesto produce los mejores resultados para retardos multitrayecto menores que aproximadamente 20 m. Aunque los planteamientos existentes se comportan mejor para retardos multitrayecto medianos a grandes, el planteamiento nuevo produce mejores resultados en situaciones de vida real ya que la mayoría de las señales multitrayecto se incluyen en la zona de los retardos cortos.

Además, en contraposición a los planteamientos de la técnica anterior, la estimación multitrayecto se filtra independientemente de la medición de la separación en el filtro paso bajo 24, permitiendo el uso de un ancho de banda

ES 2 335 199 T3

equivalente de ruido B_n bajo, y por lo tanto el mantenimiento a un nivel bajo de ruido sobre la estimación. Esto tiene sentido ya que los errores por multitrayecto solamente contienen de forma típica componentes de frecuencia muy baja. Como ilustración, se puede demostrar que la desviación estándar del ruido en el estimador preferido de errores por multitrayecto viene dada por:

5

$$\sigma_{MP} = 0,42 \lambda_c \sqrt{B_n \frac{N_0}{S}} \sqrt{\frac{d(2-d)}{(1-d)^2}}$$

10

en la que $\lambda_c = 293$ m para el código GPS C/A. Como ejemplo, σ_{MP} es solamente 0,1 m para $d=1/15$, $B_n=0,1$ Hz y una C/N_0 nominal de 45 dB-Hz.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Método para procesar por lo menos una señal enviada por un transmisor, usándose dicha señal para medir la separación, es decir, la distancia entre dicho transmisor y un receptor, comprendiendo dicha señal una señal portadora modulada por un código de ruido pseudoaleatorio (PRN), comprendiendo dicho método las etapas siguientes:

- mezclar dicha señal con una réplica de la señal portadora, para adquirir una señal de banda base, que representa dicho código PRN,
- multiplicar dicha señal de banda base respectivamente con por lo menos cuatro réplicas (P_{-M}, \dots, P_{+N}) del código PRN, estando desplazadas dichas réplicas en el tiempo una con respecto a otra,
- calcular los valores de correlación (I_{-M}, \dots, I_{+N}) de dicha señal de banda base con respecto a cada una de dichas por lo menos cuatro réplicas del código PRN,
- calcular, a partir de dichos valores de correlación (I_{-M}, \dots, I_{+N}), una estimación del error por multitrayecto,

caracterizado porque dicho cálculo se basa en una fórmula predefinida, que iguala dicho error por multitrayecto a una función predefinida de dichos valores de correlación (I_{-M}, \dots, I_{+N}), siendo dicha fórmula predefinida una combinación lineal de dichos valores de correlación (I_{-M}, \dots, I_{+N}), estando normalizado cada uno de dichos valores por el valor de correlación (I_0) de dicha réplica puntual (P_0), siendo dicha combinación lineal de la siguiente forma:

$$MP = \sum_{i=-M \dots N} \alpha_i \frac{1}{I_0} \frac{I_i}{1 - \frac{|i|d}{2}}$$

en la que MP representa el error por multitrayecto, d representa el espaciamiento de anticipación-retraso, I_0 representa el valor de correlación de dicha réplica puntual, I_{-M}, \dots, I_{+N} representan los valores de correlación, α_i representan uno o más valores predefinidos, siendo dichos valores α_i constantes y siendo calculados solamente una vez durante el diseño del receptor, y obteniéndose dicho o dichos valores predefinidos α_i mediante una optimización de manera que la estimación resultante del multitrayecto se ajusta del mejor modo al error real por multitrayecto en términos de mínimos cuadrados para una gama amplia de relaciones de potencia de señal/multitrayecto.

2. Método según la reivindicación 1, que comprende las etapas siguientes:

- mezclar dicha señal con una réplica de la señal portadora, para adquirir una señal de banda base, que representa dicho código PRN,
- multiplicar dicha señal de banda base respectivamente con tres réplicas (P_0, P_{-1}, P_{+1}), espaciadas equitativamente, de dicho código PRN, es decir, una réplica anticipada (P_{-1}), puntual (P_0) y retrasada (P_{+1}), con un espaciamiento determinado (d) de anticipación-retraso,
- multiplicar dicha señal de banda base con por lo menos una réplica adicional de dicho código PRN, estando desplazada en el tiempo dicha réplica adicional con respecto a dichas réplicas anticipada, retrasada y puntual,
- calcular los valores de correlación (I_{-M}, \dots, I_{+N}) de dicha señal de banda base con respecto a cada una de dichas por lo menos cuatro réplicas del código PRN,
- enganchar el código puntual (P_0) a la señal de banda base manteniendo iguales entre sí los dos valores de correlación (I_{-1}, I_{+1}), es decir, los valores de correlación entre dicha señal de banda base y dichas réplicas anticipada y retrasada (P_{-1}, P_{+1}),
- calcular la separación multiplicando el retardo del código puntual (P_0) por la velocidad de la luz,
- calcular, a partir de dichos valores de correlación (I_{-M}, \dots, I_{+N}), una estimación del error por multitrayecto, basándose dicho cálculo en dicha fórmula predefinida,
- filtrar dicha estimación del error por multitrayecto y se resta de dicha separación calculada dicha estimación del error por multitrayecto, produciéndose un valor de separación corregido.

3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que cada una de dichas por lo menos cuatro réplicas se desplaza el mismo retardo de tiempo con respecto a la réplica siguiente y/o previa.

ES 2 335 199 T3

4. Método según la reivindicación 3, en el que se utilizan cuatro réplicas, y en el que el espaciamento (d) de anticipación-retraso es 1/15 de la longitud de un segmento, y en el que la cuarta réplica (P₊₂) es 1/15 de la longitud de un segmento posterior a dicha réplica puntual (P₀), y en el que dicha estimación del error por multitrayecto (MP) se calcula como:

5

$$MP = -0,42 \left(I - \frac{I_{+2}}{I_0} \frac{1}{1-d} \right)$$

10

5. Receptor adaptado para realizar el método según la reivindicación 1, comprendiendo dicho receptor una pluralidad de canales para detectar y engancharse a una pluralidad de señales codificadas por PRN, comprendiendo cada canal:

15

- una línea (20) de retardo, que comprende por lo menos cuatro tomas, para crear una réplica anticipada (P₋₁) de un código PRN, una réplica puntual (P₀), una réplica retrasada (P₊₁), y por lo menos una réplica adicional,

20

- una pluralidad de mezcladores (7) y acumuladores (8) para calcular por lo menos cuatro valores de correlación (I_{-M}, ..., I_{+N}),

caracterizado porque dicho receptor comprende además:

25

- un módulo estimador (23) de multitrayecto para calcular una estimación del error por multitrayecto (MP), sobre la base de una fórmula predefinida, en la que dicha fórmula predefinida es una combinación lineal de dichos valores de correlación (I_{-M}, ..., I_{+N}), estando normalizado cada uno de dichos valores por el valor de correlación (I₀) de dicha réplica puntual (P₀),

30

- un filtro paso bajo (24).

6. Receptor según la reivindicación 5, en el que dicho módulo estimador (23) de multitrayecto comprende unos medios de software para calcular la estimación del error por multitrayecto basándose en una fórmula predefinida.

35

7. Receptor según la reivindicación 5, en el que dicho módulo estimador (23) de multitrayecto comprende unos medios de hardware para calcular la estimación del error por multitrayecto basándose en una fórmula predefinida.

40

45

50

55

60

65

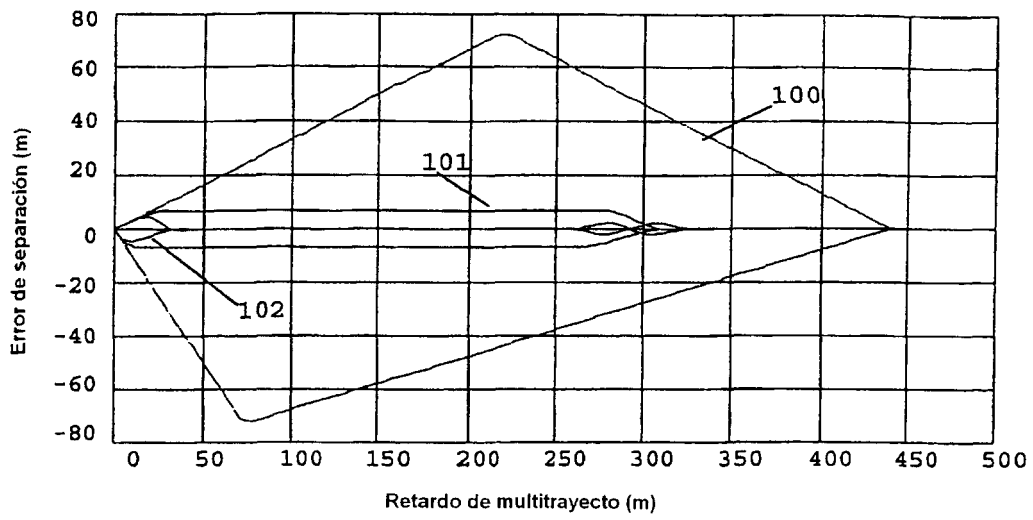


FIG. 1

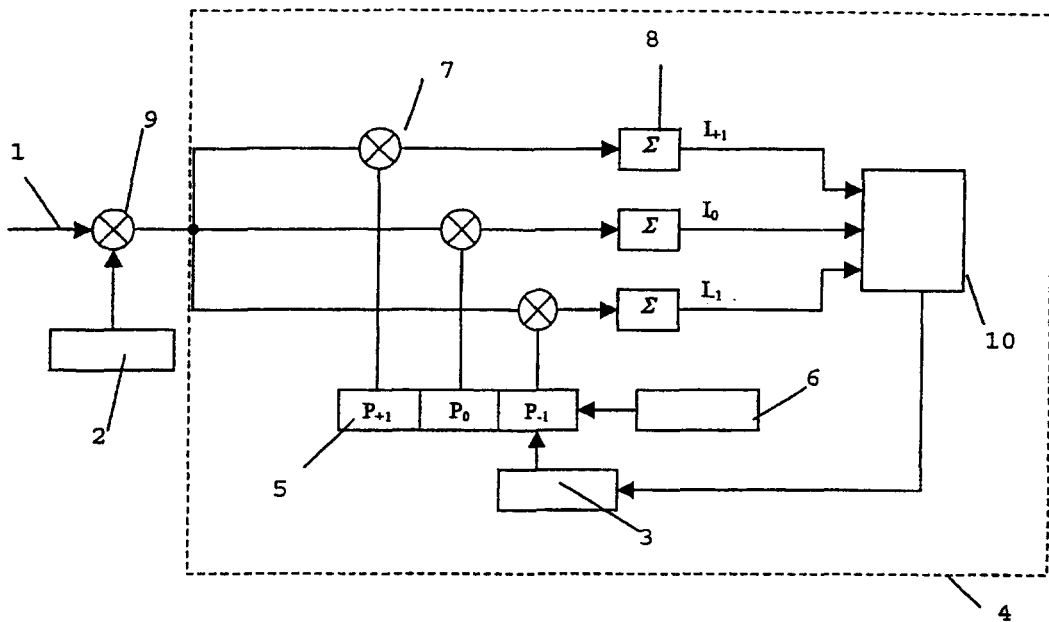


FIG. 2

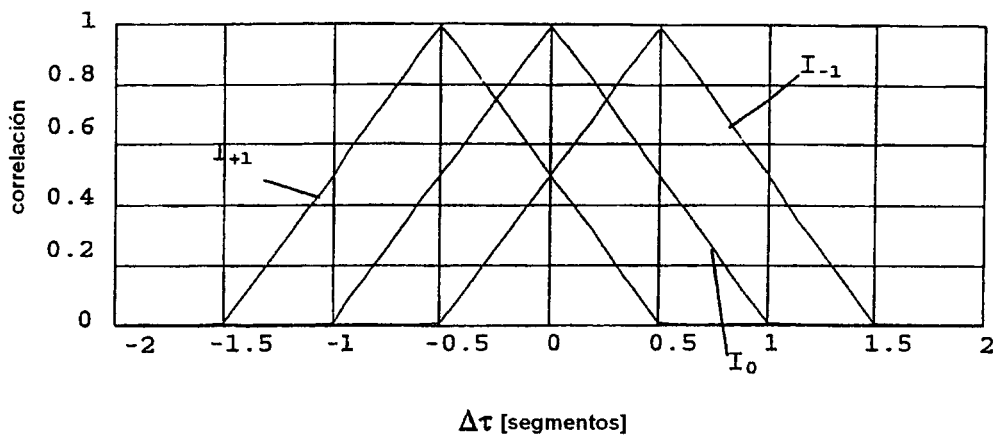


FIG. 3a

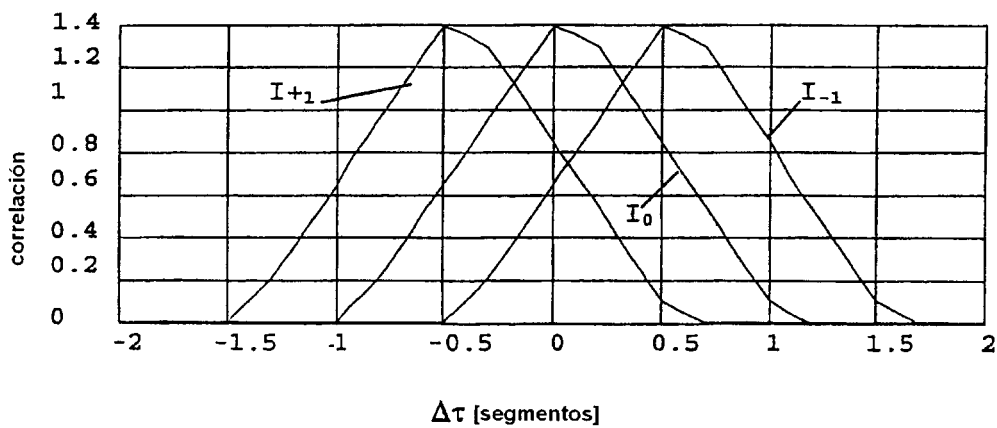


FIG. 3b

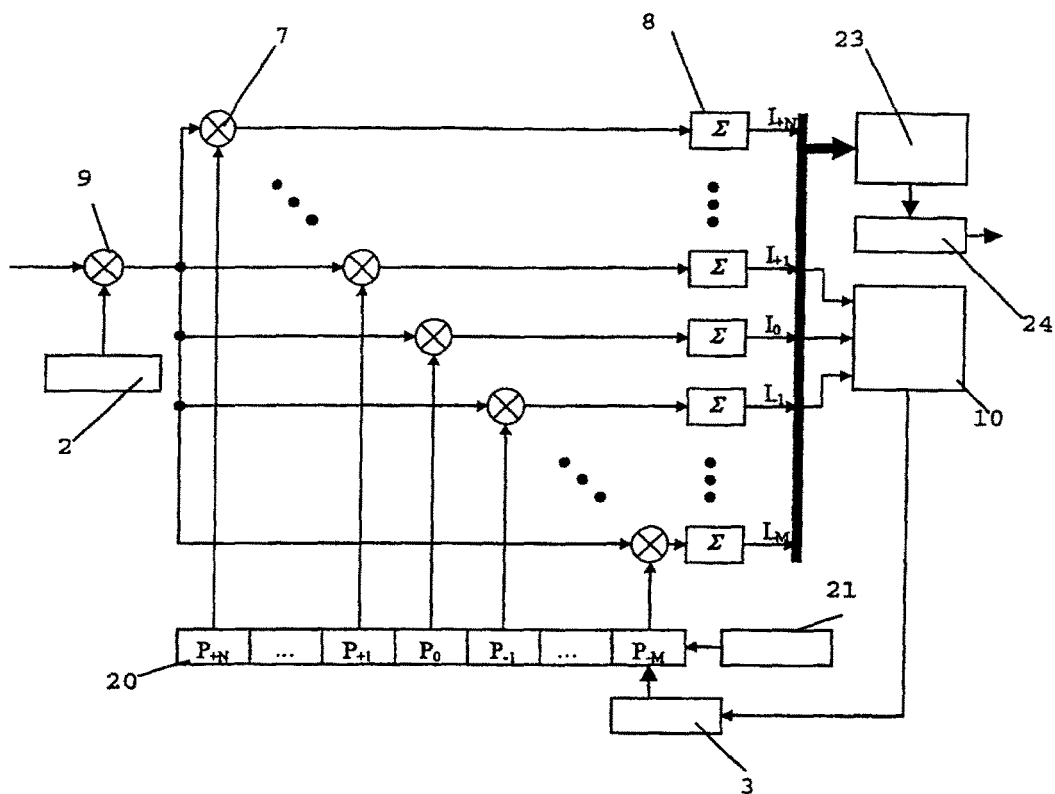


FIG. 4

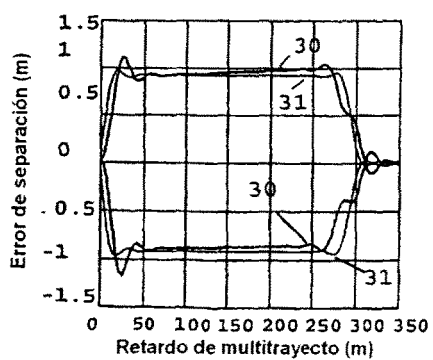


FIG. 5a

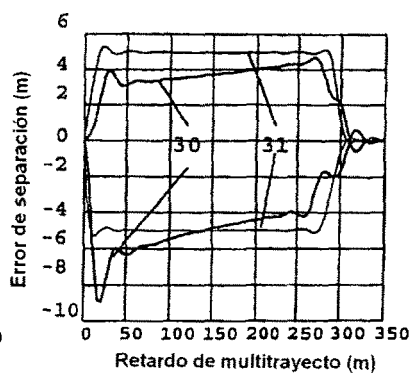


FIG. 5b

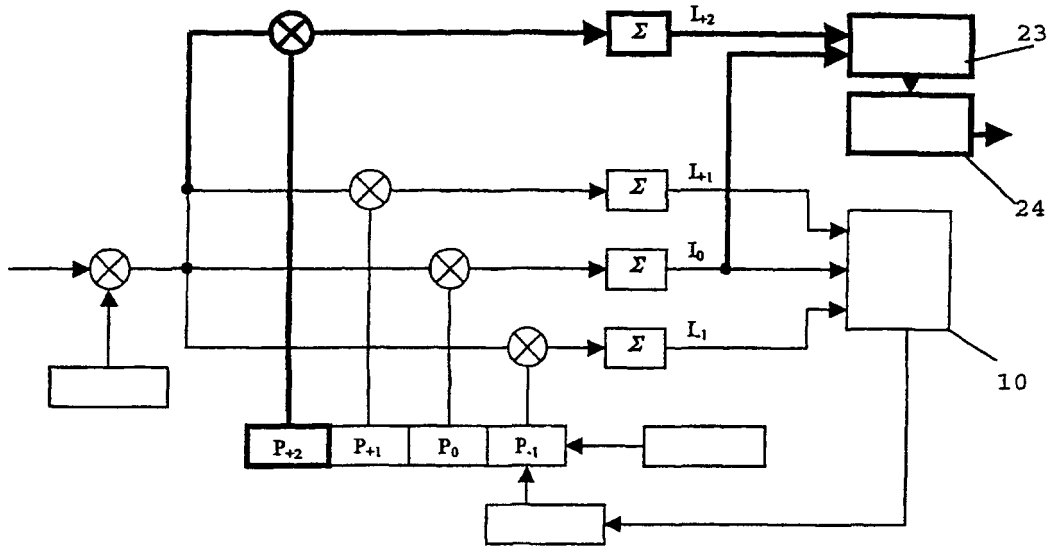


FIG. 6

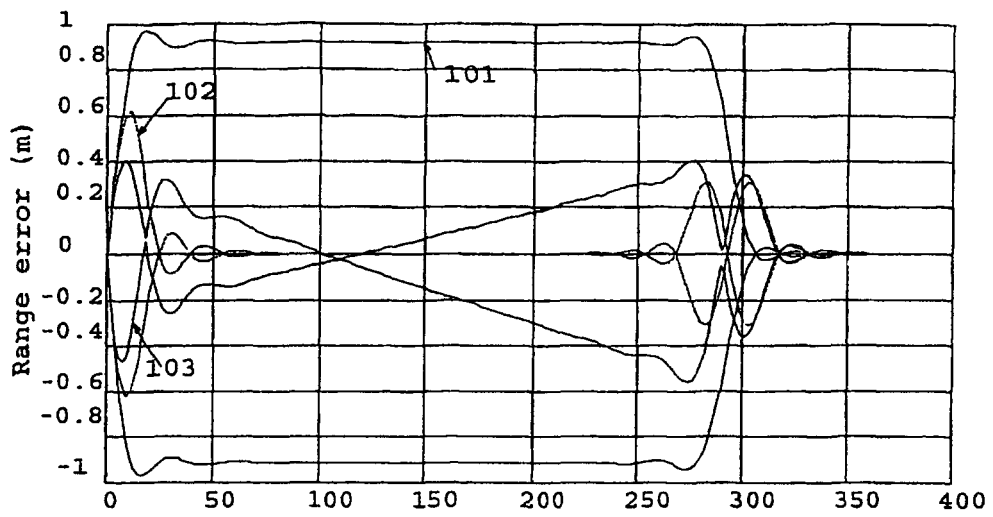


FIG. 7