

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 633 013**

51 Int. Cl.:

**G01S 19/22** (2010.01)

**G01S 19/30** (2010.01)

**G01S 19/23** (2010.01)

**H04B 1/7085** (2011.01)

**H04B 1/7075** (2011.01)

**H04B 1/711** (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.07.2014 PCT/IB2014/063523**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.02.2015 WO15015422**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2014 E 14759327 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.05.2017 EP 3028069**

54 Título: **Receptor electrónico con correladores de bucle abierto para mitigar la interferencia de múltiples trayectorias, y método para estimar un error de alineación**

30 Prioridad:  
**29.07.2013 IT TO20130638**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.09.2017**

73 Titular/es:  
**LEONARDO S.P.A. (100.0%)  
Piazza Monte Grappa 4  
00195 Roma, IT**

72 Inventor/es:  
**MARGARIA, DAVIDE;  
FALLETTI, EMANUELA;  
PARIZZI, FRANCESCO;  
BAGNASCO, ALBERTO y  
TORCHI, AUGUSTO**

74 Agente/Representante:  
**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 633 013 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

Receptor electrónico con correladores de bucle abierto para mitigar la interferencia de múltiples trayectorias, y método para estimar un error de alineación

### Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a un receptor electrónico y a un método para estimar un error de alineación. En particular, la presente invención se refiere a un receptor electrónico para un sistema global de navegación por satélite (GNSS), que comprende correladores que funcionan en modo de bucle abierto.

### Técnica anterior

- 10 Tal como se conoce, los receptores usados en sistemas globales de navegación por satélites, tales como por ejemplo el GPS (sistema de posicionamiento global), determinan su posición global basándose en señales recibidas por satélites que forman parte de una constelación.

Por ejemplo, los satélites más recientes que forman parte de la constelación de GPS transmiten señales usando tres portadoras denominadas L1, L2 y L5, en las que la portadora L1 tiene una frecuencia de 1575,42 MHz, la portadora L2 tiene una frecuencia de 1227,60 MHz y la portadora L5 tiene una frecuencia de 1176,45 MHz.

- 15 Cada portadora es de tipo sinusoidal y está modulada mediante una o más señales (canales), cada una de las cuales está formada por al menos una secuencia pseudoaleatoria (ruido pseudoaleatorio, PRN), que puede ser periódica o no periódica y está formada por una secuencia binaria (periódica o no periódica) modulada de manera apropiada mediante una forma de onda que se repite de manera periódica. En particular, la modulación se obtiene basándose en técnicas denominadas de "espectro ensanchado" y permite la transmisión de posibles datos de navegación.
- 20

Los unos y los ceros presentes en las secuencias de PRN se denominan generalmente mediante la expresión "chips de código" o simplemente "chips", mientras que las transiciones desde 1 hasta 0 y viceversa se denominan generalmente "transiciones de chips". En el lenguaje técnico, las secuencias de PRN también se denominan "códigos de distancia", ya que permiten la estimación de las pseudodistancias entre el receptor y los satélites.

- 25 Cada satélite de GPS usa una secuencia de PRN muy precisa propia para cada canal transmitido que es distinta de la de los otros satélites; por este motivo, el receptor puede asociar la señal recibida con el satélite que la ha emitido, tras determinar qué secuencia de PRN está incluida en la señal.

- 30 El receptor calcula la diferencia entre el instante en el que el satélite ha transmitido la señal, estando dicha información contenida en la propia señal, y el instante en el que el receptor ha recibido la señal. Basándose en esta diferencia de tiempo, el receptor calcula su propia distancia desde el satélite, que se conoce como "pseudodistancia". Usando las pseudodistancias para al menos cuatro satélites, el receptor puede calcular su propia posición global.

- 35 Para determinar la diferencia de tiempo entre el instante en el que el satélite transmite la señal y el instante en el que el receptor la recibe, el receptor sincroniza una secuencia de PRN generada localmente con la secuencia de PRN presente en la señal recibida. Esta sincronización se obtiene por medio de alineación de los chips de código presentes en las secuencias. De esta manera, el receptor determina el grado de desviación en el tiempo de la secuencia de PRN generada localmente con respecto al "tiempo de GNSS", es decir, la escala de tiempo usada por el satélite para generar su propia secuencia de PRN, y calcula la pseudodistancia.

- 40 Cuanto mayor sea la precisión con la que el receptor alinea la secuencia de PRN generada localmente con la secuencia de PRN presente dentro de la señal recibida, mayor es la precisión con la que el receptor de GPS puede determinar la desviación en el tiempo entre estas secuencias, la pseudodistancia y, por consiguiente, su propia posición global.

- 45 Las operaciones de sincronización incluyen normalmente adquisición de la secuencia de PRN del satélite y rastreo de la misma. Para adquirir la secuencia de PRN, el receptor realiza normalmente una serie de mediciones de correlación con etapas inferiores o iguales a la mitad de un chip. Una vez adquirida la secuencia, el receptor la rastrea, usando normalmente un denominado bucle de enganche de retardo (DLL). Además de esto, el receptor puede rastrear las variaciones de la frecuencia y de la fase de la portadora usada por el satélite para transmitir la secuencia de PRN y los datos de navegación. Para hacer esto, el receptor usa normalmente un bucle de enganche de fase (PLL).

- 50 En la figura 1 se ilustra un ejemplo de receptor. En particular, la figura 1 muestra un receptor 1, que comprende una antena 2, una etapa de entrada 4 y una etapa para el procesamiento numérico de la señal 6, denominada a continuación en el presente documento "etapa de rastreo" 6.

La antena 2 está diseñada para recibir señales de navegación y está conectada a la etapa de entrada 4, que, tal como se ilustra en la figura 2, está formada por un oscilador de coincidencia 7, un amplificador de entrada 8, un

multiplicador de coincidencia (también conocido como “mezclador”) 9, un filtro paso banda 10, un amplificador de control de ganancia automático 12 y un convertidor analógico-digital (A/D) 14.

5 El amplificador de entrada 8, el multiplicador de coincidencia 9, el filtro paso banda 10, el amplificador de control de ganancia automático 12 y el convertidor A/D 14 están dispuestos en cascada y están eléctricamente conectados entre sí.

El multiplicador de coincidencia 9, además de tener una primera entrada conectada a la salida del amplificador de entrada 8, tiene una segunda entrada conectada a la salida del oscilador de coincidencia 7, que funciona en modo de bucle abierto.

10 En uso, si se denomina “señal de entrada analógica  $s_i(t)$ ” a la señal eléctrica que se genera por la antena 2 como función de una o más señales de navegación (si están presentes) y se suministra al amplificador de entrada 8, el convertidor A/D 14 suministra una señal de entrada muestreada  $s_i(n)$ , en la salida de la etapa de entrada 4. En particular, el convertidor A/D 14 funciona a una frecuencia de muestreo  $f_s$ .

15 En la práctica, la etapa de entrada 4 es una etapa de recepción heterodina y puede contener componentes electrónicos adicionales. Además, la etapa de entrada 4 es de tal manera que el espectro de la señal de entrada muestreada  $s_i(n)$  es una réplica centrada en una denominada “frecuencia intermedia”  $f_i$  del espectro de la señal de entrada analógica  $s_i(t)$ .

20 La etapa de rastreo 6 comprende un generador de portadora 20, un primer multiplicador de entrada 22a y un segundo multiplicador de entrada 22b, un primer filtro de subcanal 23a y un segundo filtro de subcanal 23b, y un primer subcanal de correlación 21a y un segundo subcanal de correlación 21b. Además, la etapa de rastreo 6 comprende un discriminador 30, un filtro de discriminación 32 y un generador de forma de onda local 34. En la práctica, la etapa de rastreo 6 forma un denominado “bucle de enganche de retardo” (DLL).

25 El generador de portadora 20 tiene una primera salida y una segunda salida y genera, a una frecuencia igual a la frecuencia de muestreo  $f_s$ , muestras de señales sinusoidales. En particular, presentes respectivamente en la primera salida y en la segunda salida del generador de portadora 20, hay una primera señal local  $s_{\cos}(n)$  y una segunda señal local  $s_{\text{sen}}(n)$ , que son reales y presentan desplazamiento de fase una con respecto a la otra de  $90^\circ$ ; con más detalle, las señales locales primera y segunda  $s_{\cos}(n)$ ,  $s_{\text{sen}}(n)$  están formadas por muestras que vienen dadas por  $\cos(2\pi \cdot f_{\text{loc}} \cdot n/f_s)$  y  $\text{sen}(2\pi \cdot f_{\text{loc}} \cdot n/f_s)$ , respectivamente, donde  $f_{\text{loc}}$  es una frecuencia local, o bien por sus aproximaciones.

El primer multiplicador de entrada 22a tiene una primera entrada y una segunda entrada, que están conectadas a la salida del convertidor A/D 14 y a la primera salida del generador de portadora 20, respectivamente.

30 El segundo multiplicador de entrada 22b tiene una primera entrada y una segunda entrada, que están conectadas a la salida del convertidor A/D 14 y a la segunda salida del generador de portadora 20, respectivamente.

Los filtros de subcanales primero y segundo 23a, 23b son ambos de tipo numérico y paso bajo y tienen entradas conectadas, respectivamente, a las salidas de los multiplicadores de entrada primero y segundo 22a, 22b.

35 Tal como se ilustra en la figura 3, la etapa de rastreo 6 incluye tres correladores, denominados a continuación en el presente documento “correlador inmediato” P, “correlador temprano” E y “correlador tardío” L.

Cada uno de los tres correladores, el correlador inmediato P, el correlador temprano E y el correlador tardío L, comprende una parte en fase respectiva 24a, que forma el primer subcanal de correlación 21a, y una parte de cuadratura respectiva 24b, que forma el segundo subcanal de correlación 21b. El generador de forma de onda local 34 está compartido entre el correlador inmediato P, el correlador temprano E y el correlador tardío L.

40 En detalle, cada parte en fase 24a comprende un multiplicador de correlación respectivo 26a y un acumulador respectivo 28a.

El multiplicador de correlación 26a tiene una primera entrada y una segunda entrada, estando la primera entrada conectada a la salida del primer filtro de subcanal 23a; además, el multiplicador de correlación 26a tiene una salida, que está conectada a la entrada del acumulador correspondiente 28a.

45 Cada acumulador 28a tiene una salida respectiva, que está conectada en la entrada al discriminador 30. Además, el discriminador 30 tiene una salida, que está conectada a la entrada del filtro de discriminación 32, cuya salida está conectada a la entrada del generador de forma de onda local 34. A su vez, el generador de forma de onda local 34 tiene tres salidas; cada salida del generador de forma de onda local 34 está conectada a la segunda entrada de un multiplicador de correlación correspondiente 26a y por tanto forma uno del correlador inmediato P, el correlador temprano E y el correlador tardío L.

Cada parte de cuadratura 24b del correlador inmediato P, correlador temprano E y correlador tardío L comprende un multiplicador de correlación respectivo y un acumulador respectivo, que se designan, respectivamente, mediante 26b y 28b; el multiplicador de correlación 26b tiene una primera entrada conectada a la salida del segundo filtro de entrada 23b y una segunda entrada conectada a una de las tres salidas del generador de forma de onda local 34.

Las salidas de los acumuladores 28b del segundo subcanal de correlación 21b se suministran en la entrada al discriminador 30.

5 En la práctica, los subcanales de correlación primero y segundo 21a, 21b son iguales entre sí pero reciben en la entrada muestras diferentes. Además, considerando uno cualquiera de los tres correladores, el correlador inmediato P, el correlador temprano E y el correlador tardío L, las partes en fase y de cuadratura respectivas 24a, 24b comparten la misma salida del generador de forma de onda local 34. En otras palabras, las segundas entradas de los multiplicadores de correlación de la parte en fase y la parte de cuadratura del correlador considerado están conectadas a la misma salida del generador de forma de onda local 34.

10 En funcionamiento, suponiendo que la antena 2 recibe una señal de navegación que está modulada con una primera secuencia PRN1 y tiene una portadora a una primera frecuencia  $f_{c1}$ , las señales locales primera y segunda  $s_{\cos}(n)$ ,  $s_{\text{sen}}(n)$  tienen una frecuencia igual a la frecuencia intermedia mencionada anteriormente  $f_i$ , aunque en estas condiciones se menciona generalmente que las señales locales primera y segunda  $s_{\cos}(n)$ ,  $s_{\text{sen}}(n)$  están enganchadas a la portadora de la señal de navegación, que, tal como se mencionó, tiene una frecuencia igual a la primera frecuencia  $f_{c1}$ . Por tanto, se encuentra que la frecuencia local  $f_{\text{loc}}$  es igual a la frecuencia intermedia  $f_i$ .

15 Aunque no se ilustra en la figura 1, con el fin de generar las señales locales primera y segunda  $s_{\cos}(n)$ ,  $s_{\text{sen}}(n)$ , el generador de portadora 20 comprende normalmente un discriminador propio, un filtro y un oscilador controlado digitalmente, que están conectados en secuencia, estando la entrada del discriminador conectada a una o más de las salidas de los acumuladores de los subcanales de correlación primero y segundo 21a, 21b para formar un bucle de enganche de fase.

20 Los multiplicadores de entrada primero y segundo 22a, 22b suministran, respectivamente, una primera señal de multiplicación  $s_{m1}(n)$  y una segunda señal de multiplicación  $s_{m2}(n)$ . Además, los filtros de entrada primero y segundo 23a, 23b suministran, respectivamente, una señal en fase  $I(n)$  y una señal de cuadratura  $Q(n)$ , cuyas muestras son reales. La señal en fase  $I(n)$  y la señal de cuadratura  $Q(n)$  representan las componentes en fase y de cuadratura de la señal de entrada muestreada  $s_i(n)$ , y por tanto son una función, respectivamente, de las componentes en fase y de cuadratura de la señal de entrada analógica  $s_i(t)$ . Desde otro punto de vista, la señal en fase  $I(n)$  y la señal de cuadratura  $Q(n)$  representan el resultado de una operación de demodulación de la señal de navegación; además, normalmente, la señal de navegación está alternativamente modulada en cuadratura o, más frecuentemente, modulada en fase con la primera secuencia PRN1; por consiguiente, la señal de cuadratura  $Q(n)$  o, más frecuentemente, la señal en fase  $I(n)$  representa la misma primera secuencia PRN1, demodulada a partir de la señal de navegación.

30 El generador de forma de onda local 34 suministra, en cada una de sus propias salidas, una señal local correspondiente, de un tipo digital y pseudoaleatorio, que se denomina en general "secuencia de correlación". Por ejemplo, cada secuencia de correlación puede estar formada por la repetición periódica de una misma secuencia de PRN básica, entendida como conjunto de "chips de código", modulada con una forma de onda apropiada (por ejemplo, una función de compuerta, en el caso de señales con modulación de un tipo BPSK, o bien con formas de onda más complejas en el caso de modulaciones BOC,  $\text{BOC}_c$ , CBOC, TMBOC, AltBOC, etc.). Las muestras de las secuencias de correlación se suministran a la frecuencia de muestreo  $f_s$ .

35 Las secuencias de correlación están desalineadas en el tiempo una con respecto a la otra. En particular, la secuencia de correlación del correlador inmediato P, que en la figura 3 se designa mediante  $cr_0(n)$ , y se denomina "secuencia local", representa la secuencia que va a alinearse en el tiempo con la contenida en la señal de navegación recibida.

40 La secuencia de correlación del correlador temprano E, que en la figura 3 se designa mediante  $cr_{-1}(n)$ , y que se denomina "réplica temprana" de la secuencia local, tiene un adelanto en el tiempo con respecto a la secuencia local igual a un desplazamiento de fase  $\Delta$ .

45 La secuencia de correlación del correlador tardío L, que en la figura 3 se designa mediante  $cr_1(n)$ , y que se denomina "réplica tardía" de la secuencia local, tiene un retardo en el tiempo con respecto a la secuencia local igual al desplazamiento de fase  $\Delta$ .

50 Desde otro punto de vista, cada uno de los tres correladores, el correlador inmediato P, el correlador temprano E y el correlador tardío L, comprende una parte en fase respectiva 24a, que actúa sobre la componente en fase de la señal de entrada muestreada  $s_i(n)$ , y una parte de cuadratura 24b, que actúa sobre la componente de cuadratura de la señal de entrada muestreada  $s_i(n)$ .

55 Con más detalle, con referencia, por ejemplo, al primer subcanal de correlación 21a, suponiendo un índice  $z = -1, 0, 1$  para identificar individualmente las partes en fase 24a del correlador inmediato P, el correlador temprano E y el correlador tardío L que lo forman, y si por "señal intermedia de primer subcanal  $s_{\text{cl},z}(n)$ " se designa, dada la  $z$ -ésima parte en fase 24a, la señal presente en la salida del multiplicador de correlación correspondiente 26a, el acumulador correspondiente 28a está diseñado para añadir un número  $K$  de muestras de la señal intermedia de primer subcanal  $s_{\text{cl},z}(n)$  y para dividir el resultado de esta adición entre el propio número  $K$ , determinando así una muestra de una señal de correlación de primer subcanal correspondiente  $s_{\text{dl},z}(w)$ . La figura 3 adopta una notación tal que los

símbolos  $s_{cl,-1}(n)$ ,  $s_{cl,0}(n)$  y  $s_{cl,1}(n)$  se refieren al correlador temprano E, al correlador inmediato P y al correlador tardío L, respectivamente.

En la práctica, los acumuladores 28a funcionan como bloques de "integración y vaciado". Además, las muestras de las señales de correlación de primer subcanal  $s_{dl,z}(w)$  se suministran a una frecuencia igual a  $f_s/K$ , es decir, el índice  $w$  puede interpretarse como la razón  $n/K$  redondeada al mayor número entero anterior. En otras palabras, dado cualquier acumulador 28a y dada una primera muestra y una segunda muestra de una misma señal de correlación de primer subcanal  $s_{dl,z}(w)$ , la primera muestra es una función de un primer conjunto de  $K$  muestras de la señal intermedia de primer subcanal correspondiente  $s_{cl,z}(n)$ , mientras que la segunda muestra es una función de un segundo conjunto de  $K$  muestras de dicha señal intermedia de primer subcanal  $s_{cl,z}(n)$ , siendo las muestras del segundo conjunto diferentes de las muestras del primer conjunto.

El funcionamiento de las partes de cuadratura 24b del segundo subcanal de correlación 21b es el mismo que el funcionamiento de las partes en fase 24a del primer subcanal de correlación 21a, excepto porque, en el presente tratamiento, dada la  $z$ -ésima parte de cuadratura 24b, se denomina "señal intermedia de segundo subcanal  $s_{cq,z}(n)$ " a la señal presente en la salida del multiplicador de correlación correspondiente 26b. Además, dada de nuevo la  $z$ -ésima parte de cuadratura 24b del segundo subcanal de correlación 21b, se denomina "señal de correlación de segundo subcanal  $s_{dq,z}(w)$ " a la señal presente en la salida del acumulador correspondiente 28b.

El discriminador 30 recibe en la entrada las tres señales de correlación de primer subcanal  $s_{dl,z}(w)$  y las tres señales de correlación de segundo subcanal  $s_{dq,z}(w)$ , en función de lo cual genera, en su propia salida, una señal de accionamiento  $s_p(w)$  de tipo numérico, con muestras emitidas a una frecuencia, por ejemplo, de  $f_s/K$ . La señal de accionamiento  $s_p(w)$  se filtra mediante el filtro de discriminación 32, que también es de tipo numérico paso bajo, de tal manera que se suministra una señal de accionamiento filtrada  $s_{pf}(w)$ . La señal de accionamiento filtrada  $s_{pf}(w)$  se suministra en la entrada al generador de forma de onda local 34.

En detalle, el discriminador 30 determina puntos de la denominada función de correlación, a una frecuencia igual a  $f_s/K$ ; es decir, actualiza los puntos de la función de correlación a cada periodo de integración  $T = K/f_s$ .

Con más detalle, para cada periodo de integración  $T$ , el discriminador 30 determina un vector correspondiente, formado por tres elementos. Más en particular, considerando un periodo de integración  $T$ , y considerando cualquier elemento entre los tres elementos del vector correspondiente, dicho elemento puede ser, por ejemplo, igual a i) el valor de la señal de correlación de primer subcanal correspondiente  $s_{dl,z}(w)$ , o bien ii) la raíz cuadrada de la suma del cuadrado del valor de la señal de correlación de primer subcanal correspondiente  $s_{dl,z}(w)$  y el cuadrado del valor de la señal de correlación de segundo subcanal correspondiente  $s_{dq,z}(w)$ . En el caso i), se dice que el discriminador 30 es coherente, mientras que en el caso ii) se dice que el discriminador 30 no es coherente.

En la práctica, para cada periodo de integración  $T$ , el vector correspondiente contiene los tres puntos de la función de correlación. Las figuras 4a y 4b muestran dos ejemplos de funciones de correlación ideales, basándose en la hipótesis de que la señal de navegación está modulada por BOC(1,1) y en el caso de discriminador coherente y no coherente, respectivamente; en ambos casos, las abscisas identifican los retardos con respecto al pico de la función de correlación, que se produce, de manera ideal, cuando la secuencia local está alineada en el tiempo con la secuencia contenida en la señal de navegación. Además, en cada una de las figuras 4a y 4b se ilustran los tres puntos del vector, que se designan mediante VE, VP y VL, respectivamente. En particular, el punto VP es el punto de la función de correlación calculado basándose en los valores de las señales de correlación de primer subcanal y de segundo subcanal para el correlador inmediato P, que se designan, respectivamente, mediante  $s_{dl,0}(w)$  y  $s_{dq,0}(w)$ . El punto VE es el punto de la función de correlación calculado basándose en los valores de las señales de correlación de primer subcanal y de segundo subcanal para el correlador temprano E, que se designan, respectivamente, mediante  $s_{dl,-1}(w)$  y  $s_{dq,-1}(w)$ . El punto VL es el punto de la función de correlación calculado basándose en los valores de las señales de correlación de primer subcanal y de segundo subcanal para el correlador tardío L, que se designan, respectivamente, mediante  $s_{dl,1}(w)$  y  $s_{dq,1}(w)$ .

Los puntos de la función de correlación representan medidas de correlación, es decir, medidas que indican la diferencia entre la primera secuencia PRN1 de la señal de navegación recibida por la antena 2 y réplicas con desplazamiento en el tiempo correspondientes.

Dicho esto, el discriminador 30 funciona de tal manera que la secuencia local se mantiene alineada en el tiempo con la primera secuencia PRN1, según está presente en la señal de navegación recibida por la antena 2, que también se denomina "secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión (LOS)". Con este fin, el discriminador 30 puede generar, por ejemplo, la señal de accionamiento  $s_p(w)$  de tal manera que es proporcional a la diferencia entre los puntos VE y VL de la función de correlación y por tanto es proporcional a la desalineación en el tiempo entre la secuencia local y la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión. Además, el generador de forma de onda local 34 funciona de tal manera que se minimiza la señal de accionamiento  $s_p(w)$ , trasladando de manera apropiada la secuencia local en el tiempo, así como, en el mismo grado, la réplica temprana de la secuencia local y la réplica tardía de la secuencia local.

Tal como se ilustra con más detalle en la figura 5, al formar la señal de navegación, el satélite (designado mediante

40) genera la primera secuencia PRN1, de una manera sincronizada con un reloj 42 propio, que está sincronizado con el tiempo de GNSS (por ejemplo, la escala de tiempo de GPS, es decir, el denominado "tiempo de GPS"). A su vez, el receptor 1 tiene un reloj 44 propio, que solo de manera ideal está sincronizado con el tiempo de GNSS. Además, el generador de forma de onda local 34 genera la secuencia local de una manera sincronizada con su propio reloj, pero la desplaza un retardo D con respecto a este último, siendo este retardo D tal que la correlación entre la secuencia local y la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión es máxima. Por tanto, el retardo D es una función de la diferencia de tiempo entre el instante de transmisión de la primera secuencia PRN1, con respecto al reloj 42 del satélite 40, y el instante de recepción de la primera secuencia PRN1, con respecto al reloj 44 del receptor 1. Además, el retardo D puede usarse para calcular la pseudodistancia entre el satélite 40 y el receptor 1.

En las figuras 6a-6d se ilustran ejemplos que representan el funcionamiento del DLL, que muestran, por motivos de simplicidad de representación, chips individuales de la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión, de la secuencia local  $cr_0(n)$ , de la réplica temprana de la secuencia local  $cr_{-1}(n)$  y de la réplica tardía de la secuencia local  $cr_1(n)$ . En cada una de las figuras 6a-6d, la función de correlación está normalizada y se representa en un sistema cartesiano, cuyas abscisas indican el retardo en el tiempo, expresado en fracciones de chip, de la secuencia local, o réplica de la secuencia local, con respecto a la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión. Además, el retardo en el tiempo está normalizado de tal manera que el máximo de la función de correlación se produce en el punto cero de las abscisas; por tanto el retardo en el tiempo se normaliza como función del retardo D mencionado anteriormente, lo que por tanto permite la alineación de la secuencia local con la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión. En otras palabras, las abscisas están normalizadas con respecto al tiempo de propagación de la señal de navegación a lo largo de la trayectoria de línea de visión.

En la práctica, en el caso en el que la antena 2 solo recibe la señal de navegación, a lo largo de la trayectoria de línea de visión presente entre el satélite 40 que ha generado la señal de navegación y la antena 2, el discriminador 30 funciona de tal manera que se obtiene lo que se representa a modo de ejemplo en la figura 6c. Por consiguiente, se produce una maximización de los valores de las muestras de la señal de correlación de primer subcanal  $s_{dl,0}(w)$  del correlador inmediato P. En estas condiciones, de hecho, hay una alineación entre la secuencia local y la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión; en particular, se dice que la secuencia local está alineada con el pico principal de la función de correlación y se dice que el correlador inmediato P está enganchado al pico principal. Por consiguiente, el receptor 1 demodula de manera apropiada los datos contenidos en la señal de navegación y determina de manera apropiada la pseudodistancia desde el satélite 40, usándose esta información en las etapas posteriores que conducen a la determinación de la posición global del receptor 1.

En vez de eso, cuando la antena 2 también recibe, a través de múltiples trayectorias, réplicas reflejadas de la señal de navegación, debido a estas réplicas puede producirse una desalineación entre la secuencia local y la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión. Esto se debe al hecho de que la presencia de las múltiples trayectorias provoca una especie de deformación de la función de correlación con respecto al caso en el que no hay múltiples trayectorias. Con respecto a esto, en presencia de múltiples trayectorias, la función de correlación calculada por el discriminador 30 considera la señal formada por el conjunto de todas las réplicas de la primera secuencia PRN1 según se reciben por el receptor 1 a lo largo de todas las trayectorias que alcanzan el propio receptor 1. En particular, la función de correlación determinada por el discriminador 30 considera la combinación (suma algebraica) de todas las réplicas de la primera secuencia PRN1 recibidas por el receptor 1 y de la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión.

La presencia de múltiples trayectorias puede provocar una asimetría de la función de correlación y/o alterar la posición del máximo de la función de correlación. Por tanto, es posible que el máximo de la función de correlación calculada por el discriminador 30 se produzca para una alineación en el tiempo errónea entre la secuencia local y la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión. Además, es posible que la secuencia local esté alineada con un pico secundario (menores) de la función de correlación. En particular, la probabilidad de alineación en un pico secundario aumenta a medida que aumenta el número de picos secundarios dentro de la función de correlación, y además a medida que aumentan las amplitudes de los picos secundarios con respecto a la amplitud del pico principal.

Por tanto, se produce un error de alineación entre la secuencia local y la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión, es decir, un error en la determinación del retardo con el que se necesita desplazar la secuencia local para alinearla con la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión; este error tiene repercusiones sobre el cálculo de la pseudodistancia y, por consiguiente, sobre la determinación de la posición global del receptor 1. En particular, la pseudodistancia puede resultar afectada por errores en la región de varios metros.

Con el fin de mitigar los efectos de múltiples trayectorias, se han propuesto numerosas técnicas. Algunas técnicas tienen el objetivo de prevenir que las señales reflejadas alcancen posiblemente el receptor, mientras que otras consideran procesar las señales recibidas para mitigar el efecto de las múltiples trayectorias.

El artículo "Evaluation of GNSS Receiver Correlation processing Techniques for Multipath and Noise Mitigation", de

5 A.J. Van Dierendonck y M. S. Braasch, Proceedings of the 1997 National Technical Meeting of the Institute of Navigation (ION-NTM '97), 14-16 de enero de 1997, Santa Mónica, CA., EE.UU., describe, entre otras técnicas, el denominado "rastreador E1/E2", que considera tener, para cada subcanal de correlación, dos correladores adicionales, que están conectados al discriminador y funcionan en modo de bucle cerrado. Gracias a la presencia de los correladores adicionales, el discriminador se esfuerza por rastrear un punto de la función de correlación que no se ve alterado por la presencia de las múltiples trayectorias. Esta técnica garantiza un buen rendimiento; sin embargo, el DLL así implementado es particularmente vulnerable al ruido térmico; por tanto, el rendimiento disminuye en presencia de señales de navegación desvanecidas.

10 El documento n.º WO01/39 698 describe un método de mitigación de múltiples trayectorias, que comprende las etapas de localizar un punto de una función de correlación ideal, invariable con respecto a múltiples trayectorias posibles, y medir la distancia de este punto desde un DLL. Además se localiza el mismo punto en una función de correlación real, y el método comprende además la etapa de medir la distancia entre dicho punto y el DLL; la diferencia entre las dos distancias medidas representa el error de rastreo provocado por las múltiples trayectorias.

### Divulgación de la invención

15 Por tanto, el objetivo de la presente invención es proporcionar un receptor que resuelva al menos en parte los inconvenientes de la técnica conocida.

Según la presente invención, se proporcionan un receptor y un método de estimación tal como se definen en las reivindicaciones adjuntas.

### Breve descripción de los dibujos

20 Para entender mejor la invención, se describen ahora realizaciones de la misma meramente a modo de ejemplo no limitativo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 muestra un diagrama de bloques de un receptor de un sistema global de navegación por satélite de un tipo conocido;

- las figuras 2 y 3 muestran diagramas de bloques de partes del receptor ilustrado en la figura 1;

25 - las figuras 4a-4b y 15 muestran ejemplos de funciones de correlación;

- la figura 5 muestra un diagrama cualitativo que ilustra los mecanismos de generación de una secuencia de PRN local, como función de una secuencia de PRN transmitida;

30 - cada una de las figuras 6a-6d muestra la disposición mutua en el tiempo de chips individuales de una secuencia de PRN recibida por un receptor y de tres secuencias de PRN generadas localmente por el receptor, así como la función de correlación correspondiente (normalizada a uno) y la disposición con respecto a esta última de las tres secuencias de PRN generadas localmente;

- la figura 7 muestra un diagrama de bloques de una parte del presente receptor;

- las figuras 8a-8b muestran partes de funciones de correlación, representadas en un sistema cartesiano, y posiciones de correladores con respecto a dichas funciones de correlación;

35 - las figuras 9, 10 y 14 muestran diagramas de bloques de operaciones de filtrado implementadas mediante realizaciones del presente receptor;

- la figura 11 muestra un diagrama de flujo de operaciones realizadas mediante una realización del presente receptor durante una etapa de calibración y una etapa de funcionamiento posterior;

- la figura 12 muestra el gráfico de un ejemplo de función de calibración en un sistema cartesiano; y

40 - la figura 13 muestra un diagrama de flujo de operaciones realizadas mediante una realización del presente receptor.

### Mejor modo de llevar a cabo la invención

45 Básicamente, el presente receptor considera la disponibilidad de correladores adicionales, que funcionan en modo de bucle abierto y permiten la determinación de una estimación del error de la alineación entre la secuencia local y la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión. Esta estimación puede usarse para corregir el valor de pseudodistancia. Por consiguiente, no se implementa ninguna corrección de la distorsión de la función de correlación, caracterizándose tales correcciones en general por una alta complejidad computacional.

50 Más en particular, el presente receptor se basa en el hecho de que, considerando un punto  $O_x$  de la función de correlación de una señal modulada con una secuencia de PRN y recibida a través de la trayectoria de línea de visión, dicho punto  $O_x$  no se ve distorsionado por la presencia de una posible trayectoria reflejada si el retardo de

esta última con respecto a la trayectoria de línea de visión, es decir, la diferencia entre los tiempos de propagación respectivos, es mayor que un retardo umbral  $\tau_{\min}$ , que es igual a  $\tau_{\min} = T_{\text{chip}} - t_{O_x}$ , donde  $T_{\text{chip}}$  es la duración de un chip individual, y  $t_{O_x}$  es igual a la distancia en el tiempo del punto  $O_x$  con respecto al máximo de la función de correlación en ausencia de múltiples trayectorias. En otras palabras, alrededor del punto  $O_x$ , la función de correlación de la señal dada por la combinación de la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión y la réplica recibida a lo largo de la trayectoria reflejada coincide con la función de correlación de la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión sola.

El retardo umbral  $\tau_{\min}$  también puede expresarse en fracciones de chip, dividiendo la expresión anterior entre  $T_{\text{chip}}$ , en cuyo caso es igual a  $\tau_{\min}^{(\text{chip})} = 1 - s_{O_x}$ , donde  $s_{O_x}$  es igual a la separación, es decir, al retardo en fracciones de chip, del punto  $O_x$  con respecto al máximo de la función de correlación en ausencia de múltiples trayectorias. Sin embargo, a medida que aumenta el módulo de la separación  $s_{O_x}$ , disminuye la relación señal-ruido que caracteriza al mismo punto  $O_x$ .

Dicho esto, la figura 7 muestra un receptor 50, que se describe ahora únicamente en cuanto a las diferencias con respecto al receptor 1 ilustrado en la figura 1. Además, los elementos del receptor 50 ya presentes en el receptor 1 se designan mediante las mismas referencias. Además, se supone, sin que esto implique ninguna pérdida de generalidad, que el tiempo mencionado anteriormente  $\Delta$ , es decir, el módulo de la separación entre la secuencia local ( $cr_0(n)$ ) y las réplicas temprana y tardía de la secuencia local ( $cr_{-1}(n)$  y  $cr_1(n)$ ) es más corto que la duración de un único chip. Además, se supone, sin que esto implique ninguna pérdida de generalidad, que el discriminador 30 es de tipo no coherente.

En detalle, el receptor 1 comprende una unidad de procesamiento 52. Además, el receptor 50 comprende un primer correlador adicional 51 y un segundo correlador adicional 53, que, en un modo de funcionamiento denominado "mitigación de los efectos de múltiples trayectorias", se controlan en modo de bucle abierto; es decir, las salidas respectivas no afectan a las entradas respectivas.

Con más detalle, el primer correlador adicional 51 comprende una parte en fase 54, que forma el primer subcanal de correlación 21a, y una parte de cuadratura 64, que forma el segundo subcanal de correlación 21b. El segundo correlador adicional 53 comprende una parte en fase respectiva 56, que forma el primer subcanal de correlación 21a, y una parte de cuadratura respectiva 66, que forma el segundo subcanal de correlación 21b.

Cada una de la parte en fase 54 del primer correlador adicional 51 y la parte en fase 56 del segundo correlador adicional 53 comprende un multiplicador de correlación respectivo 58a y un acumulador respectivo 60a conectados entre sí. Las salidas de los acumuladores 60a de las partes en fase de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 están conectadas en la entrada a la unidad de procesamiento 52, en vez de al discriminador 30.

El multiplicador de correlación 58a de la parte en fase 54 del primer correlador adicional 51 tiene una primera entrada y una segunda entrada, estando la primera entrada conectada a la salida del primer filtro de subcanal 23a para recibir la señal en fase  $l(n)$ , estando la segunda entrada conectada al generador de forma de onda local 34 para recibir una primera señal adicional  $A1(n)$ , generada por el propio generador de forma de onda local 34.

El multiplicador de correlación 58a de la parte en fase 56 del segundo correlador adicional 53 tiene una primera entrada y una segunda entrada, estando la primera entrada conectada a la salida del primer filtro de subcanal 23a para recibir la señal en fase  $l(n)$ , estando la segunda entrada conectada al generador de forma de onda local 34 para recibir una segunda señal adicional  $A2(n)$ , generada por el propio generador de forma de onda local 34.

Tal como se mencionó, además de la secuencia local  $cr_0(n)$ , la réplica temprana de la secuencia local  $cr_{-1}(n)$  y la réplica tardía de la secuencia local  $cr_1(n)$ , el generador de forma de onda local 34 genera por tanto la primera señal adicional  $A1(n)$  y la segunda señal adicional  $A2(n)$ , que también son réplicas de la secuencia local, con respecto a la cual están adelantadas, respectivamente, una cantidad  $s_{A1}$  y una cantidad  $s_{A2}$ , que están normalizadas con respecto al tiempo de chip  $T_{\text{chip}}$  y vienen dadas por

$$s_{A1} = (\tau_p - \tau_{A1}) / T_{\text{chip}} > 0, \quad s_{A1} < 1, \quad y$$

$$s_{A2} = (\tau_p - \tau_{A2}) / T_{\text{chip}} > 0, \quad s_{A2} < 1 \quad (1)$$

donde  $\tau_p$  es el retardo de la secuencia local  $cr_0(n)$  (es decir, del correlador inmediato P) con respecto a una referencia de tiempo local, sincronizada con el reloj 44 del receptor, mientras que  $\tau_{A1}$  y  $\tau_{A2}$  son, respectivamente, los retardos de las señales adicionales primera y segunda  $A1(n)$ ,  $A2(n)$  con respecto a la referencia de tiempo mencionada anteriormente. Las cantidades  $s_{A1}$  y  $s_{A2}$  se expresan en fracciones de chip; a continuación, se entiende que estas cantidades se expresan en fracciones de chip, a menos que se especifique lo contrario.

Cada una de la parte de cuadratura 64 del primer correlador adicional 51 y la parte de cuadratura 66 del segundo correlador adicional 53 comprende un multiplicador de correlación respectivo 58b y un acumulador respectivo 60b conectados entre sí. Las salidas de los acumuladores 60b de las partes de cuadratura de los correladores



adicionales primero y segundo 51, 53 están conectadas en la entrada a la unidad de procesamiento 52, en vez de al discriminador 30.

5 El multiplicador de correlación 58b de la parte de cuadratura 64 del primer correlador adicional 51 tiene una primera entrada y una segunda entrada, estando la primera entrada conectada a la salida del segundo filtro de subcanal 23b para recibir la señal de cuadratura Q(n), estando la segunda entrada conectada al generador de forma de onda local 34 para recibir la primera señal adicional A1(n).

10 El multiplicador de correlación 58b de la parte de cuadratura 66 del segundo correlador adicional 53 tiene una primera entrada y una segunda entrada, estando la primera entrada conectada a la salida del segundo filtro de subcanal 23b para recibir la señal de cuadratura Q(n), estando la segunda entrada conectada al generador de forma de onda local 34 para recibir la segunda señal adicional A2(n).

15 En la práctica, las partes en fase de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 actúan sobre la componente en fase de la señal de entrada muestreada  $s_i(n)$ , mientras que las partes de cuadratura de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 actúan sobre la componente de cuadratura de la señal de entrada muestreada  $s_i(n)$ . Además, las salidas de las partes en fase y de cuadratura de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 no se usan por el discriminador 30 y por tanto no afectan al funcionamiento del generador de forma de onda local 34, y en particular no afectan al control del retardo  $\tau_p$  de la secuencia local mediante el bucle de enganche de retardo, es decir, la posición del correlador inmediato P. Con respecto a esto, a continuación se usará el término "posición de un correlador" para indicar el retardo de la secuencia local / réplica de la secuencia local presente en la segunda entrada de los multiplicadores de correlación de dicho correlador. Un ejemplo de la colocación de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 se representa en la figura 4b, en la que las posiciones de los dos correladores adicionales se designan  $P_{A1}$  y  $P_{A2}$ .

20 Con fines prácticos, es probable que el gráfico de la función de correlación para los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 no se vea distorsionado por ninguna trayectoria múltiple. Además, las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53, y por tanto las separaciones correspondientes, están fijas con respecto a las posiciones del correlador inmediato P, el correlador temprano E y el correlador tardío L. En otras palabras, en el modo de mitigación de los efectos de múltiples trayectorias, las cantidades mencionadas anteriormente  $s_{A1}$  y  $s_{A2}$  están fijadas en el tiempo; por tanto las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 varían en el tiempo de manera fija con las posiciones del correlador inmediato P, correlador temprano E y correlador tardío L.

30 Un error de la alineación en el tiempo de la secuencia local con respecto a la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión, provocado por la presencia de múltiples trayectorias, induce una traslación rígida en el tiempo de las posiciones del correlador inmediato P, correlador temprano E y correlador tardío L, así como de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53, y por tanto conduce a que las medidas de correlación en la salida de los correladores adicionales 51, 53 se desplacen de manera proporcional a lo largo de la función de correlación. En particular, dado que los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 están dispuestos en una zona lineal de la función de correlación, la desviación con respecto al caso en ausencia de múltiples trayectorias es proporcional al error de alineación provocado por las múltiples trayectorias en el correlador inmediato P; por consiguiente, al conocer de antemano la forma de la función de correlación en ausencia de múltiples trayectorias, es posible estimar, y por tanto compensar, el error de alineación provocado por la presencia de múltiples trayectorias.

40 Con más detalle, a continuación se usa el término "parte en fase de la primera señal de correlación adicional  $s_{d\_A1\_I}(w)$ " para indicar las muestras en la salida del acumulador 60a de la parte en fase 54 del primer correlador adicional 51, y se usa el término "parte de cuadratura de la primera señal de correlación adicional  $s_{d\_A1\_Q}(w)$ " para indicar las muestras en la salida del acumulador 60b de la parte de cuadratura 64 del primer correlador adicional 51. Además, se usa el término "parte en fase de la segunda señal de correlación adicional  $s_{d\_A2\_I}(w)$ " para indicar las muestras en la salida del acumulador 60a de la parte en fase 56 del segundo correlador adicional 53, y se usa el término "parte de cuadratura de la segunda señal de correlación adicional  $s_{d\_A2\_Q}(w)$ " para indicar las muestras en la salida del acumulador 60b de la parte de cuadratura 66 del segundo correlador adicional 53. Además, se usan los términos "módulo de la primera señal de correlación adicional  $y_1(w)$ " y "módulo de la segunda señal de correlación adicional  $y_2(w)$ " para indicar dos señales calculadas mediante la unidad de procesamiento 52 y dadas, respectivamente, por:

$$\begin{aligned} Y_1(W) &= [ (S_{d\_A1\_I}(W))^2 + (S_{d\_A1\_Q}(W))^2 ]^{1/2} \\ Y_2(W) &= [ (S_{d\_A2\_I}(W))^2 + (S_{d\_A2\_Q}(W))^2 ]^{1/2} \end{aligned} \quad (2)$$

55 Tal como se ilustra en la figura 8a, en ausencia de múltiples trayectorias, los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 están colocados, respectivamente, en  $x_1^0$  y  $x_2^0$ , con  $x_1^0=1-s_{A1}$  y  $x_2^0=1-s_{A2}$ , y son de tal manera que los módulos de las señales de correlación adicionales primera y segunda son, respectivamente, iguales a  $y_1^0$  e  $y_2^0$ ; es decir, son respectivamente iguales a los valores de la función de correlación de la primera secuencia PRN1 en ausencia de múltiples trayectorias, calculados, respectivamente, a una distancia igual a  $s_{A1}$  y  $s_{A2}$  desde el pico principal de dicha función de correlación. A continuación, por motivos de brevedad, se usa el término "función de

5 correlación de referencia" para indicar la función de correlación de la primera secuencia PRN1, según se recibe por el receptor 1 a lo largo de la trayectoria de línea de visión y en ausencia de múltiples trayectorias; dicha función puede determinarse de una manera conocida en sí misma durante una etapa de calibración, que se caracteriza no solo por la ausencia de múltiples trayectorias sino también por la presencia, preferiblemente, de un ruido despreciable. En teoría, en ausencia de condiciones no ideales de la etapa de entrada 4, la función de correlación de referencia tiene la misma forma que la denominada función de autocorrelación de la primera secuencia PRN1. Por tanto, la función de correlación de referencia tiene un perfil predeterminado; además, la función de correlación de referencia puede almacenarse, por ejemplo dentro de una memoria de la unidad de procesamiento 52.

La diferencia de posición entre los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 viene dada por

$$10 \quad d = x_2^0 - x_1^0 = S_{A1} - S_{A2} \quad (3)$$

Tal como se ilustra en la figura 8b, en presencia de un error de alineación  $\tau$  debido a la presencia de múltiples trayectorias, las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 se vuelven iguales a  $x_1^1$  y  $x_2^1$ , con  $x_1^1 = x_1^0 + \tau$  y  $x_2^1 = x_2^0 + \tau = x_1^0 + d + \tau$ ; además, los módulos de las señales de correlación adicionales primera y segunda son respectivamente iguales a  $y_1^1$  e  $y_2^1$ . Por tanto, se aplica la siguiente relación

$$15 \quad x_1^1 + x_2^1 = x_1^0 + x_2^0 + 2\tau = 2x_1^0 + d + 2\tau \quad (4)$$

Ya que la pendiente (distinta de cero)  $m$  de la función de correlación no cambia, dado que puede suponerse que la parte de la función de correlación comprendida entre  $x_1^0$  y  $x_2^1$  no se ve distorsionada por múltiples trayectorias, se tiene

$$m = (y_2^0 - y_1^0) / (x_2^0 - x_1^0) = (y_2^1 - y_1^1) / (x_2^1 - x_1^1) \quad (5)$$

20 Por tanto, se aplica la siguiente relación:

$$m = (y_2^0 - y_1^0) / d = (y_2^1 - y_1^1) / d \quad (6)$$

25 Si se supone adoptar un sistema de referencia que tiene su origen en el retardo igual a  $-T_{\text{chip}}$  con respecto al máximo de la función de correlación de referencia, y se representa localmente, es decir, en la región de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53, la función de correlación como línea recta que pasa a través de los puntos  $(x_1^1, y_1^1)$  y  $(x_2^1, y_2^1)$ , se aplican las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} y_1^1 &= mx_1^1 \\ y_2^1 &= mx_2^1 \end{aligned} \quad (7)$$

que, al sumarse entre sí, proporcionan

$$y_1^1 + y_2^1 = m(x_1^1 + x_2^1) \quad (8)$$

Por tanto, se obtiene la relación

$$30 \quad y_1^1 + y_2^1 = (y_2^1 - y_1^1) * (2x_1^0 + d + 2\tau) / d \quad (9)$$

que puede resolverse para  $\tau$ , de la siguiente manera:

$$\tau = dy_1^1 / (y_2^1 - y_1^1) - x_1^0 \quad (10)$$

De manera equivalente, se tiene

$$\tau = (dy_1^1 + x_1^0 y_1^1 - x_1^0 y_2^1) / (y_2^1 - y_1^1) \quad (11)$$

35 En el caso particular en el que  $x_1^0 = d$  y  $x_2^0 = 2d$ , la expresión de  $\tau$  se simplifica de la siguiente manera

$$\tau = dy_1^1 / (y_2^1 - y_1^1) - d = d * (2y_1^1 - y_2^1) / (y_2^1 - y_1^1) \quad (12)$$

Las consideraciones anteriores también se aplican en el caso en el que  $\tau$  es negativo, dado que la parte de la función de correlación comprendida entre  $x_1^1$  y  $x_2^0$  no se ve distorsionada por las múltiples trayectorias.

40 Basándose en las ecuaciones anteriores, la unidad de procesamiento 52 calcula  $\tau$ , es decir, calcula una estimación del error de alineación de la secuencia local con respecto a la secuencia de PRN recibida a lo largo de la trayectoria

de línea de visión. Además, basándose en  $\tau$ , la unidad de procesamiento 52 corrige el valor de pseudodistancia. Esta corrección se obtiene en modo de bucle abierto, es decir, sin afectar al discriminador 30, ni en general al DLL. Por ejemplo, la corrección de la pseudodistancia puede realizarse a la misma frecuencia con la que se calcula la pseudodistancia, es decir, con una frecuencia inferior a la frecuencia de funcionamiento de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53.

En la práctica, dado que los puntos  $(x_1^0, y_1^0)$ ,  $(x_2^0, y_2^0)$ ,  $(x_1^1, y_1^1)$  y  $(x_2^1, y_2^1)$  definen un relación lineal, la unidad de procesamiento 52 determina una estimación del error de alineación basándose en dicha relación. De hecho, los puntos  $(x_1^1, y_1^1)$  y  $(x_2^1, y_2^1)$  se trasladan una misma cantidad con respecto al punto  $(x_1^0, y_1^0)$  y el punto  $(x_2^0, y_2^0)$ , respectivamente, a lo largo de la función de correlación, siendo dicha cantidad proporcional al error de alineación; además, la parte de la función de correlación comprendida entre los puntos  $(x_1^1, y_1^1)$  y  $(x_2^1, y_2^1)$  es lineal, por los motivos explicados anteriormente.

Incluso más en particular,  $\tau$  se calcula como función de las posiciones de los puntos  $(x_1^1(w), y_1^1(w))$  y  $(x_2^1(w), y_2^1(w))$ , en las que la función de correlación de referencia adopta valores iguales a los valores de los módulos de las señales de correlación adicionales primera y segunda  $y_1^1$  e  $y_2^1$ , respectivamente, con respecto a al menos un punto de referencia (en el ejemplo descrito, el punto  $(x_1^0, y_1^0)$ , sin que esto implique ninguna pérdida de generalidad) de la función de correlación de referencia, que está separado del pico principal de la función de correlación de referencia una distancia igual al desplazamiento de tiempo presente entre la primera señal adicional  $A1(n)$  y la secuencia local  $cr_0(n)$ .

Dado que, debido a la amplitud inferior de la función de correlación, las salidas de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 tienen una baja relación señal-ruido, ventajosamente la unidad de procesamiento 52 puede calcular la estimación  $\tau$  como función de  $y_{m1}(w)$  e  $y_{m2}(w)$ , en lugar de  $y_1^1(w)$  e  $y_2^1(w)$ , respectivamente.

En detalle, la unidad de procesamiento 52 puede implementar, tal como se ilustra en la figura 9, un primer filtro de procesamiento 102, un segundo filtro de procesamiento 104, un tercer filtro de procesamiento 106 y un cuarto filtro de procesamiento 108, que reciben en la entrada, respectivamente, la parte en fase de la primera señal de correlación adicional  $s_{d\_A1\_I}(w)$ , la parte de cuadratura de la primera señal de correlación adicional  $s_{d\_A1\_Q}(w)$ , la parte en fase de la segunda señal de correlación adicional  $s_{d\_A2\_I}(w)$  y la parte de cuadratura de la segunda señal de correlación adicional  $s_{d\_A2\_Q}(w)$ . En la salida, los filtros de procesamiento primero, segundo, tercero y cuarto 102-108 suministran, respectivamente, una parte en fase filtrada de la primera señal de correlación adicional  $s_{M\_A1\_I}(w)$ , una parte de cuadratura filtrada de la primera señal de correlación adicional  $s_{M\_A1\_Q}(w)$ , una parte en fase filtrada de la segunda señal de correlación adicional  $s_{M\_A2\_I}(w)$  y una parte de cuadratura filtrada de la segunda señal de correlación adicional  $s_{M\_A2\_Q}(w)$ .

La unidad de procesamiento 52 implementa además un primer bloque de extracción de módulo 110 y un segundo bloque de extracción de módulo 112. El primer bloque de extracción de módulo 110 recibe en la entrada la parte en fase filtrada de la primera señal de correlación adicional  $s_{M\_A1\_I}(w)$  y la parte de cuadratura filtrada de la primera señal de correlación adicional  $s_{M\_A1\_Q}(w)$ , y suministra las muestras  $y_{m1}(w)$ , que se denominan, en su conjunto, "módulo filtrado de la primera señal de correlación adicional". En particular, se tiene

$$Y_{m1}(W) = [ (S_{M\_A1\_I}(W))^2 + (S_{M\_A1\_Q}(W))^2 ]^{1/2} \quad (13)$$

Asimismo, el segundo bloque de extracción de módulo 112 recibe en la entrada la parte en fase filtrada de la segunda señal de correlación adicional  $s_{M\_A2\_I}(w)$  y la parte de cuadratura filtrada de la segunda señal de correlación adicional  $s_{M\_A2\_Q}(w)$ , y proporciona las muestras  $y_{m2}(w)$ , que se denominan, en su conjunto, "módulo filtrado de la segunda señal de correlación adicional". En particular, se tiene

$$Y_{m2}(W) = [ (S_{M\_A2\_I}(W))^2 + (S_{M\_A2\_Q}(W))^2 ]^{1/2} \quad (14)$$

Con más detalle, los filtros de procesamiento primero, segundo, tercero y cuarto 102-108 pueden implementar, cada uno, un filtrado de un tipo de paso bajo en los valores de entrada, por ejemplo implementando un operador de media móvil, que tiene una ventana igual a un número  $N_{coh}$  de muestras, siendo  $N_{coh}$ , por ejemplo, igual a  $(A_p/A_{c1})^2$ , donde  $A_p$  es la amplitud máxima de la función de correlación de referencia, y  $A_{c1}$  es la amplitud de la función de correlación de referencia a una distancia en el tiempo igual a  $s_{A1}$  desde el máximo de la función de correlación.

Alternativamente, los filtros de procesamiento primero, segundo, tercero y cuarto 102-108 pueden estar formados cada uno, por ejemplo, por una etapa diseñada para calcular un promedio exponencial de memoria infinita, también conocido como "filtro de Hatch". En este caso, la unidad de procesamiento 52 almacena solo un valor en cada etapa; más en particular, el filtro de Hatch puede implementarse por medio de un filtro numérico de IIR (respuesta de impulso infinito) de primer orden.

Ventajosamente, los filtros de procesamiento primero, segundo, tercero y cuarto 102-108 pueden estar formados, cada uno, por un filtro de Butterworth de IIR de segundo orden, que tiene una etapa respuesta rápida y solo usa dos elementos de almacenamiento.

- Independientemente de los detalles de implementación anteriores, la unidad de procesamiento 52 implementa adiciones coherentes de las muestras suministradas por el primer y el segundo correladores adicionales 51, 53 con el fin de aumentar la relación señal-ruido presente en las salidas de estos últimos. Sin embargo, son posibles realizaciones en las que las adiciones son de tipo no coherente, tal como se ilustra a modo de ejemplo en la figura 5 10.
- Según la realización ilustrada en la figura 10, el primer bloque de extracción de módulo 110 recibe en la entrada la parte en fase de la primera señal de correlación adicional  $s_{d\_A1\_I}(w)$  y la parte de cuadratura de la primera señal de correlación adicional  $s_{d\_A1\_Q}(w)$ . El segundo bloque de extracción de módulo 112 recibe en la entrada la parte en fase de la segunda señal de correlación adicional  $s_{d\_A2\_I}(w)$  y la parte de cuadratura de la segunda señal de correlación adicional  $s_{d\_A2\_Q}(w)$ . En la práctica, los bloques de extracción de módulo primero y segundo 110, 112 implementan las ec. anteriores (2). Además, los filtros de procesamiento primero y segundo 102, 104 reciben en la entrada, respectivamente, las muestras suministradas por los bloques de extracción de módulo primero y segundo 110, 112. Cada uno de los filtros de procesamiento primero y segundo 102, 104 puede estar formado, por ejemplo, por un filtro de media móvil, un filtro de Hatch, o bien un filtro de Butterworth de IIR de segundo orden.
- Según la realización ilustrada en la figura 10, en primer lugar se calculan el módulo de la primera señal de correlación adicional  $y_1(w)$  y el módulo de la segunda señal de correlación adicional  $y_2(w)$ , y después se obtienen las muestras del módulo filtrado de la primera señal de correlación adicional  $y_{m1}(w)$  y las muestras del módulo filtrado de la segunda señal de correlación adicional  $y_{m2}(w)$  filtrando los módulos de las señales de correlación adicionales primera y segunda  $y_1(w)$ ,  $y_2(w)$ .
- Dado que es posible, incluso en ausencia de múltiples trayectorias, que la etapa de entrada 4 introduzca distorsiones en la señal recibida y por tanto en la función de correlación, además, es posible que la unidad de procesamiento 52 implemente un mecanismo de compensación de las distorsiones introducidas por la etapa de entrada 4.
- En detalle, es posible llevar a cabo un procedimiento de calibración, tal como se ilustra en la figura 11. El procedimiento de calibración se lleva a cabo fuera de línea, es decir, en ausencia de múltiples trayectorias y, posiblemente, también en ausencia de ruido, o en cualquier caso con un valor alto de relación señal-ruido, así como usando una señal modulada como las señales de navegación que se espera recibir en uso.
- Inicialmente, la unidad de procesamiento 52, cuyas conexiones con el generador de forma de onda local 34 no se ilustran, varía (bloque 120) las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 con etapas discretas  $\theta_j$ , alrededor de las posiciones respectivas  $x_1^0$  y  $x_2^0$ , manteniendo la distancia  $d$  entre los mismos constante. En particular, las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 se varían para ser iguales a  $x_1^0 + \theta_j$  y  $x_2^0 + \theta_j$ , donde  $j$  es un número entero igual a  $-j_{\max}$ ,  $-j_{\max} + 1$ , ...,  $j_{\max} - 1$ ,  $j_{\max}$ . Los valores de las desviaciones  $\theta_j$  son, por ejemplo, negativos para  $j = -j_{\max}$ , ...,  $-1$  y positivos para  $j = 1$ , ...,  $j_{\max}$ .
- Para cada valor de  $j$ , la unidad de procesamiento 52 determina (bloque 122) los módulos de las señales de correlación adicionales primera y segunda, designados en el presente documento mediante  $y_{t1}(\theta_j)$  e  $y_{t2}(\theta_j)$ .
- A continuación, para cada valor de  $j$ , la unidad de procesamiento 52 calcula (bloque 124) un valor de calibración correspondiente  $\tau_{cal}$ , basándose en la ec. (11), donde los valores  $y_{t1}(\theta_j)$  e  $y_{t2}(\theta_j)$  sustituyen a los valores  $y_1^1$  e  $y_2^1$ .
- Por tanto, tal como se ilustra en la figura 12, la unidad de procesamiento 52 presenta una curva de calibración  $\tau_{cal}(\theta_j)$ , que correlaciona los valores  $\theta_j$  con los valores de calibración correspondientes  $\tau_{cal}(\theta_j)$ . En ausencia de condiciones no ideales de la etapa de entrada 4, la curva de calibración  $\tau_{cal}(\theta_j)$  es una línea recta, porque las desviaciones  $\theta_j$  representan desviaciones con respecto a las posiciones  $x_1^0$ ,  $x_2^0$ .
- Posteriormente, cuando se funciona en condiciones normales, es decir, no en modo de calibración, la unidad de procesamiento 52 usa la curva de calibración  $\tau_{cal}(\theta_j)$  para mejorar la precisión de la estimación del error de alineación  $\tau$ . En particular, dado un valor del error de alineación  $\tau$  obtenido aplicando las ec. (11) o (12) (las operaciones que han conducido a la determinación de  $\tau$  se designan mediante 126 en la figura 11), la unidad de procesamiento 52 determina (bloque 128) un valor corregido correspondiente  $\tau_{acc}$ , que es igual al valor de desviación  $\theta_j$  de tal manera que la curva de calibración  $\tau_{cal}(\theta_j)$  adopta, con precisión, el valor  $\tau$ .
- Con el fin de implementar las operaciones de bloque 128, la unidad de procesamiento 52 puede determinar, por ejemplo, basándose en la curva de calibración  $\tau_{cal}(\theta_j)$ , una función de corrección  $e(\tau)$  igual a  $\theta_j - \tau_{cal}(\theta_j)$ , de tal manera que se aplica la relación  $\tau_{acc} = \tau + e(\tau)$ . A su vez, la función de corrección  $e(\tau)$  puede almacenarse por puntos, usando una denominada "tabla de consulta". Alternativamente, la unidad de procesamiento 52 puede almacenar los coeficientes de un polinomio de interpolación, que interpola los valores de la función de corrección  $e(\tau)$  anteriormente determinados para limitar la cantidad de memoria usada para calcular el valor corregido  $\tau_{acc}$ .
- Además, son posibles realizaciones en las que la unidad de procesamiento 52 almacena una estimación del valor máximo de error de alineación, obtenido, por ejemplo, de una manera conocida basándose en las denominadas curvas de envolvente de error de múltiples trayectorias. En este caso, la unidad de procesamiento 52 determina una

ventana de valores aceptables para estimar el error de alineación  $\tau$ ; los valores de  $\tau$  que se encuentran fuera de esta ventana no se consideran aceptables y por tanto no se usan para corregir la pseudodistancia.

5 Según una realización diferente, el receptor 50 puede implementar, además de las operaciones mencionadas anteriormente que permiten la mitigación de los efectos de múltiples trayectorias, una técnica que impide el enganche en un pico secundario de la función de correlación; es decir, impide que la posición del correlador inmediato P se alinee con un pico secundario de la función de correlación calculado por el discriminador 30, en vez de con el pico principal. Esta técnica se describe a continuación con referencia, meramente a modo de ejemplo, al caso en el que la señal de navegación está modulada con una modulación de portadora desviada binaria de un tipo BOC(1,1), y no está presente ninguna trayectoria múltiple.

10 Con referencia a la figura 13, el receptor 50 ejecuta (bloque 200) operaciones de inicialización, que prevén, de manera conocida en sí misma, un enganche de frecuencia y un enganche de código basto, así como la adquisición, por la unidad de procesamiento 52, de parámetros para el formato de modulación (en el presente ejemplo, los parámetros para la modulación BOC(1,1)) de las señales de navegación que se recibirán, en uso, por el receptor 50.

15 A continuación, la unidad de procesamiento 52 establece (bloque 202) las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 en un modo para prevenir un enganche falso. En particular, en este modo, las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 son respectivamente iguales a  $x_1^{sp} = 1 - s_{A1}^{sp}$  y  $x_2^{sp} = 1 - s_{A2}^{sp}$ , teniendo  $s_{A2}^{sp}$  su signo opuesto a  $s_{A1}^{sp}$ . En la práctica, en este modo de prevención de enganche falso, los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 están dispuestos en lados opuestos con respecto al correlador inmediato P. Además, en este modo, las cantidades  $s_{A2}^{sp}$  y  $-s_{A1}^{sp}$  están fijadas en el tiempo, y los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 todavía funcionan en modo de bucle abierto.

25 En particular, dado que se ha supuesto que la señal de navegación está modulada con una modulación BOC(1,1), se tiene  $s_{A2}^{sp} = -s_{A1}^{sp}$ , y además se tiene preferiblemente  $|s_{A1}^{sp}| < |s_{A1}|$  y  $|s_{A2}^{sp}| < |s_{A2}|$ , de tal manera que los correladores adicionales 51, 53 actúan en una región de la función de correlación con una relación señal-ruido superior. Además,  $s_{A1}^{sp}$  es de tal manera que el primer correlador adicional 51 está separado del correlador inmediato P la misma distancia presente entre el pico principal de la función de correlación de referencia y el pico secundario de la misma función de correlación establecido a la izquierda del pico principal. Asimismo,  $s_{A2}^{sp}$  es tal que el segundo correlador adicional 53 está separado del correlador inmediato P la misma distancia presente entre el pico principal de la función de correlación de referencia y el pico secundario de la misma función de correlación establecido a la derecha del pico principal. Debe observarse en cualquier caso que, con diferentes formatos de modulación, caracterizados por un número de picos secundarios mayor de dos, cada uno de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 puede establecerse, con respecto al correlador inmediato P, a una distancia diferente de la distancia entre uno de los dos picos secundarios adyacentes al pico principal y el propio pico principal. Por ejemplo, en el caso de modulación BOC<sub>c</sub>(15, 2.5), esta distancia puede ser igual a la distancia entre el pico principal y un pico secundario que tiene una amplitud igual a la mitad de la amplitud del pico principal.

35 A continuación, la unidad de procesamiento 52 determina (bloque 204), tal como se explicó anteriormente con referencia a la figura 9 (adiciones coherentes), los módulos filtrados de las señales de correlación adicionales primera y segunda, que en el presente documento se designan, respectivamente, mediante  $y_{m1}^{sp}(w)$  e  $y_{m2}^{sp}(w)$ . Además, en el modo de prevención de enganche falso, los filtros de procesamiento primero, segundo, tercero y cuarto 102-108 pueden estar formados por sumadores correspondientes (es decir, acumuladores coherentes), aunque, en cualquier caso, son posible realizaciones en las que también en el modo de prevención de enganche falso los filtros de procesamiento primero, segundo, tercero y cuarto 102-108 están formados, cada uno, por ejemplo, por un filtro de media móvil, o por un filtro de Hatch o por un filtro de Butterworth de IIR de segundo orden.

45 Además, si por "parte en fase de la señal de correlación inmediata  $s_{dl,0}(w)$ " se indican las muestras en la salida del acumulador 28a de la parte en fase 24a del correlador inmediato P, y por "parte de cuadratura de la señal de correlación inmediata  $s_{dq,0}(w)$ " se indican las muestras en la salida del acumulador 28b de la parte de cuadratura 24b del correlador inmediato P, la unidad de procesamiento 52 determina un módulo filtrado de la señal de correlación inmediata  $y_{mP}^{sp}(w)$  como función de la parte en fase de la señal de correlación inmediata  $s_{dl,0}(w)$  y de la parte de cuadratura de la señal de correlación inmediata  $s_{dq,0}(w)$ . Con este fin, aunque no se ilustra, la unidad de procesamiento 52 también está conectada a los acumuladores del correlador inmediato P.

50 Tal como se ilustra en la figura 14, con el fin de determinar el módulo filtrado de la señal de correlación inmediata  $y_{mP}^{sp}(w)$ , la unidad de procesamiento 52 puede implementar, por ejemplo, un quinto filtro de procesamiento 114 y un sexto filtro de procesamiento 116, que reciben en la entrada, respectivamente, la parte en fase de la señal de correlación inmediata  $s_{dl,0}(w)$  y la parte de cuadratura de la señal de correlación inmediata  $s_{dq,0}(w)$  y generan en la salida, respectivamente, una parte en fase filtrada de la señal de correlación inmediata  $s_{M,P_j}(w)$  y una parte de cuadratura filtrada de la señal de correlación inmediata  $s_{M,P_q}(w)$ . Además, la unidad de procesamiento 52 implementa un tercer bloque de extracción de módulo 118, que recibe en la entrada la parte en fase filtrada de la señal de correlación inmediata  $s_{M,P_j}(w)$  y la parte de cuadratura filtrada de la señal de correlación inmediata  $s_{M,P_q}(w)$  y genera el módulo filtrado de la señal de correlación inmediata  $y_{mP}^{sp}(w)$ . Cada uno de los filtros de procesamiento quinto y sexto 114, 116 puede estar formado, por ejemplo, por un sumador, o bien por un filtro de media móvil, o bien por un filtro de Hatch, o bien por un filtro de Butterworth de IIR de segundo orden. En la práctica,

el diagrama de bloques ilustrado en la figura 14 implementa una suma coherente, que permite la limitación de los efectos del ruido.

Una vez más, con referencia a la figura 13, la unidad de procesamiento 52 calcula (bloque 206) el valor de un parámetro U, que viene dado por

$$5 \quad U = [Y_{m2}^{sp}(w) - Y_{m1}^{sp}(w)] / Y_{mp}^{sp}(w) \quad (15)$$

Tal como se ilustra de manera cualitativa en la figura 15, el parámetro U adopta valores de cero (o casi cero) en el caso de enganche correcto en el pico principal; de lo contrario, adopta valores negativos o positivos, en un estado de enganche falso, permitiendo la discriminación entre errores de alineación temprano o tardío.

10 En particular, las posiciones del correlador inmediato P y de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 se designan, respectivamente, en el caso de enganche en el pico principal, mediante  $P_P^P$ ,  $P_{A1}^P$ ,  $P_{A2}^P$ . Las posiciones de estos correladores se designan asimismo, respectivamente, mediante  $P_P^{sx}$ ,  $P_{A1}^{sx}$ ,  $P_{A2}^{sx}$ , en el caso de enganche en el pico secundario a la izquierda del pico principal, y mediante  $P_P^{dx}$ ,  $P_{A1}^{dx}$ ,  $P_{A2}^{dx}$ , en el caso de enganche en el pico secundario a la derecha del pico principal. Además, en el caso de enganche en el pico principal, U es aproximadamente igual a 0, mientras que U es aproximadamente igual a -2 en el caso de enganche en el pico secundario a la derecha del pico principal, y U es aproximadamente igual a +2, en el caso de enganche en el pico secundario a la izquierda del pico principal.

20 Debe observarse además que el discriminador 30 y el generador de portadora 20 funcionan, de una manera conocida en sí misma, de modo que no puede producirse, excepto en un estado transitorio, una situación en la que el correlador inmediato P no esté enganchado en ningún pico de la función de correlación determinado por el discriminador 30. En otras palabras, en condiciones de estado estacionario, el correlador inmediato P está enganchado en un pico, ya sea el pico principal o un pico secundario de la función de correlación de referencia, en el caso de ausencia de múltiples trayectorias, o bien, en el caso de presencia de múltiples trayectorias, un pico de la función de correlación de la combinación de las secuencias recibidas a lo largo de las trayectorias que alcanzan el receptor 50.

25 Siguiendo a las operaciones de 206, la unidad de procesamiento 52 compara el parámetro U con un primer umbral TH\_U1 y un segundo umbral TH\_U2, por ejemplo iguales a -1 y +1, respectivamente.

30 Por ejemplo, los umbrales primero y segundo TH\_U1, TH\_U2 pueden calcularse basándose en un parámetro de referencia U\*, que es igual, para cada punto de la función de correlación de referencia considerado, a (TEO2-TEO1)/TEO0, donde TEO0, TEO1 y TEO2 son, respectivamente, los valores de la función de correlación de referencia en el punto considerado y en los dos puntos establecidos, respectivamente, a la izquierda y a la derecha del punto considerado y separados del mismo la misma distancia (en módulo) que existe entre el pico principal y uno cualquiera de los dos picos secundarios de la función de correlación. En otras palabras, el parámetro de referencia U\* representa, en ausencia de múltiples trayectorias, un análogo del parámetro U. Dicho esto, el primer umbral TH\_U1 es igual a la mitad de la diferencia entre los valores adoptados por el parámetro de referencia U\* cuando se calcula en el pico secundario a la derecha y en el pico principal de la función de correlación. Además, el segundo umbral TH\_U2 es igual a la mitad de la diferencia entre los valores adoptados por el parámetro de referencia U\* cuando se calcula en el pico secundario a la izquierda y en el pico principal.

40 Independientemente de los detalles referentes a la determinación de los umbrales primero y segundo TH\_U1 y TH\_U2, la unidad de procesamiento 52 verifica (bloque 208) si el parámetro U está comprendido entre los umbrales primero y segundo TH\_U1, TH\_U2.

45 En el caso en el que el parámetro U se encuentra fuera del intervalo [TH\_U1-TH\_U2] (salida NO del bloque 208), significa que se ha enganchado un pico secundario. En particular, si el signo del parámetro U es positivo, significa que se ha enganchado el pico secundario a la izquierda del pico principal. Si el signo del parámetro U es negativo, significa que se ha enganchado el pico secundario a la derecha del pico principal. Por consiguiente, la unidad de procesamiento 52 modifica (bloque 210) las posiciones del correlador inmediato P, el correlador temprano E y el correlador tardío L, así como las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53, modificando los retardos de las réplicas respectivas de la secuencia local una misma cantidad (con signo), igual a la distancia en el tiempo presente entre el pico principal de la función de correlación de referencia y el pico secundario que se ha enganchado. Esta última separación se conoce de antemano y se almacena, por ejemplo, dentro de una "tabla de consulta". De esta manera, los correladores se aproximan al pico principal de la función de correlación determinada mediante el discriminador 30.

55 En la práctica, tanto en presencia como en ausencia de múltiples trayectorias, si el parámetro U se encuentra en el intervalo [TH\_U2, +infinito[, las posiciones del correlador inmediato P, correlador temprano E y correlador tardío L y las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 están retardadas un tiempo +T\_CORR, igual a la diferencia entre la posición del pico principal y la posición del pico secundario a la izquierda. En vez de eso, si el parámetro U se encuentra en el intervalo ]-infinito, TH\_U1], las posiciones de correlador inmediato P, correlador temprano E y correlador tardío L y las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51,

53 están adelantadas un tiempo  $-T_{CORR}$ , igual a la diferencia entre la posición del pico principal y la posición del pico secundario a la derecha.

A continuación, la unidad de procesamiento 52 repite las operaciones de los bloques 204-208.

5 En el caso en el que el parámetro  $U$  está comprendido, en vez de eso, dentro del intervalo  $[TH_{U1}, TH_{U2}]$  (salida Sí del bloque 208), significa que el pico principal se ha enganchado de manera apropiada. Por consiguiente, la unidad de procesamiento 52 puede comenzar a llevar a cabo las operaciones de mitigación de múltiples trayectorias. Por consiguiente, la unidad de procesamiento 52 modifica (bloque 214) las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 para llevarlos, respectivamente, a las posiciones mencionadas anteriormente  $x_1^0 = 1 - s_{A1}$  y  $x_2^0 = 1 - s_{A2}$ . En otras palabras, la unidad de procesamiento 52 conmuta su modo de funcionamiento y entra en el modo de mitigación de los efectos de múltiples trayectorias, cuyas operaciones se designan en su conjunto mediante 216 en la figura 13.

La unidad de procesamiento 52 puede permanecer, por ejemplo, en el modo de mitigación de los efectos de múltiples trayectorias durante un periodo de tiempo predeterminado, tras el cual, es decir, una vez transcurrido este periodo, realiza de nuevo las operaciones del bloque 202.

15 Debe observarse que, en el caso en el que la señal de navegación está modulada con un formato de modulación tal que la función de correlación de referencia tiene un número  $Num\_S > 2$  de picos secundarios, el número de umbrales para el parámetro  $U$  puede ser igual, por ejemplo, a  $Num\_S$  de tal manera que se define un número  $Num\_S + 1$  de intervalos, de los cuales dos están abiertos. Además, los umbrales pueden establecerse como función de los valores adoptados por el parámetro de referencia  $U^*$  en los picos de la función de correlación de referencia y basándose en la hipótesis de que los puntos a los que corresponden, cada vez, los valores  $TE01$  y  $TE02$  están separados unos de otros por el doble de la distancia entre picos, es decir, la distancia que separa dos picos adyacentes. Con más detalle, los umbrales pueden establecerse de tal manera que existe una correspondencia entre cada intervalo y cada pico. En particular, los umbrales, y por tanto los intervalos, pueden establecerse de tal manera que, si el parámetro  $U$  se encuentra dentro del intervalo central, es decir, el intervalo que incluye cero, significa que se ha enganchado el pico principal. De lo contrario, si el parámetro  $U$  se encuentra en el  $r$ -ésimo intervalo, significa que se ha enganchado el pico secundario que corresponde a dicho  $r$ -ésimo intervalo. De esta manera, es posible corregir la desalineación. Además, los valores de los umbrales también pueden establecerse como función de posibles distorsiones introducidas por componentes del receptor 50 en la señal de navegación, que pueden conducir a variaciones de las posiciones y de las amplitudes de los picos.

20 Según otros ejemplos del presente receptor 50 (no reivindicados), las operaciones de los bloques 200-210 se realizan aunque no se lleven a cabo las operaciones de los bloques 214-216. En otras palabras, en estos ejemplos, la unidad de procesamiento 52 solo funciona en el modo de prevención de enganche falso.

25 Según una realización adicional, la unidad de procesamiento 52 deshabilita la determinación del retardo  $\tau$  en el caso en el que la relación portadora-ruido  $C/N_0$  de la señal de entrada analógica  $s_i(t)$  es inferior a un umbral igual, por ejemplo, a 40 dB/Hz. En este caso, de hecho es posible que la estimación del retardo  $\tau$  no sea precisa.

30 Las ventajas que proporciona el presente receptor se desprenden claramente de la descripción anterior. En particular, el presente receptor determina un valor de corrección que puede usarse directamente para compensar la componente de error de estimación de la pseudodistancia provocada por las múltiples trayectorias. Además, el presente receptor puede funcionar en presencia de señales de navegación moduladas con múltiples formatos de modulación, incluyendo, por ejemplo, señales con modulación BOC(1,1), CBOC, TMBOC, AltBOC, BOC<sub>c</sub>(15, 2,5), y BOC<sub>c</sub>(10, 5) modulación.

Además, el presente receptor comprende un bucle de enganche de retardo de un tipo tradicional. Por consiguiente, las modificaciones introducidas por el presente receptor en comparación con receptores tradicionales no son particularmente pesadas desde el punto de vista computacional.

45 Además, el presente receptor permite una corrección sustancialmente total del error de alineación de la secuencia local provocado por la presencia de múltiples trayectorias con un retardo con respecto a la trayectoria de línea de visión más largo que un retardo umbral, que depende de la posición de los dos correladores adicionales.

Finalmente, resulta evidente que pueden realizarse modificaciones y variaciones en el presente receptor, sin por ello apartarse del alcance de la presente invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

50 Por ejemplo, los módulos filtrados de las señales de correlación adicionales primera y segunda  $y_{m1}^{sp}(w)$  e  $y_{m2}^{sp}(w)$  y el módulo filtrado de la señal de correlación inmediata  $y_{mP}^{sp}(w)$  pueden calcularse basándose en adiciones no coherentes, en vez de adiciones coherentes. Además, con respecto a la ec. (15), es posible que el denominador sea diferente de  $y_{mP}^{sp}(w)$ ; por ejemplo, el denominador puede ser igual a uno de  $y_{m1}^{sp}(w)$  e  $y_{m2}^{sp}(w)$ , o bien puede ser igual a una expresión algebraica que es una función de dos o tres de  $y_{m1}^{sp}(w)$ ,  $y_{m2}^{sp}(w)$  e  $y_{mP}^{sp}(w)$ .

55 Además, en el caso en el que la señal de navegación también incluye transiciones debidas a la presencia de datos modulados, o bien a la presencia de un denominado código secundario, las operaciones de filtrado descritas

anteriormente e ilustradas en las figuras 9, 10 y 14 pueden implementarse para considerar también el signo actual, es decir, instantáneo, de los datos, usando técnicas conocidas. De hecho, es posible multiplicar por el signo actual presente a la salida de la parte en fase del correlador inmediato P cada señal entre la parte en fase de la primera señal de correlación adicional  $s_{d\_A1\_I}(w)$ , la parte de cuadratura de la primera señal de correlación adicional  $s_{d\_A1\_Q}(w)$ , la parte en fase de la segunda señal de correlación adicional  $s_{d\_A2\_I}(w)$ , la parte de cuadratura de la segunda señal de correlación adicional  $s_{d\_A2\_Q}(w)$ , la parte en fase de la señal de correlación inmediata  $s_{dI,0}(w)$  y la parte de cuadratura de la señal de correlación inmediata  $s_{dQ,0}(w)$ . A su vez, se proporciona una estimación del signo actual, de una manera conocida en sí misma, mediante el signo de la razón  $s_{dI,0}(w)/|s_{dI,0}(w)|$ . Además, en este caso los filtros de procesamiento primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto 102-116 actúan sobre las señales obtenidas tras la multiplicación con el signo actual. De esta manera, el procesamiento se vuelve independiente del signo actual de los datos.

Además, la etapa de rastreo 6 puede comprender un bucle de enganche de retardo de un tipo diferente del descrito. Por ejemplo, el bucle de enganche de retardo puede estar formado por un número de correladores distinto de tres. La propia función de discriminación del discriminador 30 puede elegirse de manera arbitraria de funciones de discriminación conocidas. En general, además, el discriminador 30 puede ser de un tipo coherente o no coherente. Además, es posible que la señal de navegación se module con una secuencia de PRN no periódica, en cuyo caso la secuencia local y las réplicas correspondientes también son no periódicas.

Dentro del receptor pueden estar presentes igualmente decimadores y/o acumuladores adicionales, que permiten la variación de las frecuencias a las que se generan las muestras en diferentes partes del propio receptor. Además, los acumuladores descritos pueden ser de un tipo diferente; por ejemplo, los acumuladores pueden no llevar a cabo la operación de división entre K.

Además, es posible que cada uno de los correladores del bucle de enganche de retardo, así como cada uno de los correladores adicionales primero y segundo, esté formado únicamente por la parte en fase respectiva, es decir, que no tengan la parte de cuadratura correspondiente.

Además, aunque se ha descrito la etapa de rastreo 6 con referencia al caso en el que funciona en banda base, también son posibles variantes en las que funciona en una banda trasladada, es decir, alrededor de una frecuencia intermedia apropiada.

Finalmente, son posibles realizaciones que comprenden un tercer correlador adicional y un cuarto correlador adicional, dispuestos de manera simétrica con respecto al correlador inmediato P y usados para prevenir el enganche en un pico secundario. En este caso, las posiciones de los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 con respecto al correlador inmediato P no se modifican; en particular, los correladores adicionales primero y segundo 51, 53 siempre funcionan adelantados con respecto al correlador inmediato P ya que se usan solo para mitigar los efectos de múltiples trayectorias.



**REIVINDICACIONES**

1. Receptor electrónico para un sistema global de navegación por satélite, configurado para recibir, a lo largo de una trayectoria de línea de visión, una señal de navegación ( $s_i(t)$ ) modulada con una secuencia de un tipo pseudoaleatorio, y para recibir, a lo largo de trayectorias reflejadas, varias réplicas de la señal de navegación, comprendiendo dicho receptor:
- 5 - una etapa de entrada (4) configurada para generar una señal de entrada ( $s_i(n)$ ) de tipo numérico, como función de la señal de navegación y de las réplicas de la señal de navegación;
- un bucle de enganche de retardo (6) que incluye un generador de forma de onda local (34) configurado para generar una secuencia local ( $cr_0(n)$ ), estando dicho bucle de enganche de retardo configurado para recibir la señal de entrada y alinear en el tiempo la secuencia local con la secuencia recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión; y
- 10 - un primer correlador (51) y un segundo correlador (53), que están configurados para recibir la señal de entrada y para generar, respectivamente, una primera réplica de la secuencia local ( $A1(n)$ ) y una segunda réplica de la secuencia local ( $A2(n)$ ), estando dichos correladores primero y segundo configurados además para generar, respectivamente, una primera señal de correlación ( $y_1(w)$ ,  $y_{m1}(w)$ ) y una segunda señal de correlación ( $y_2(w)$ ,  $y_{m2}(w)$ ), indicando la primera señal de correlación la correlación entre la combinación de las secuencias recibidas y la primera réplica de la secuencia local, indicando la segunda señal de correlación la correlación entre la combinación de las secuencias recibidas y la segunda réplica de la secuencia local;
- 15 caracterizado porque, en un primer modo de funcionamiento, los correladores primero y segundo funcionan en modo de bucle abierto y dichas réplicas primera y segunda de la secuencia local están ambas adelantadas con respecto a la secuencia local, comprendiendo además dicho receptor una unidad de procesamiento (52) configurada para determinar una primera estimación de un error de alineación ( $\tau$ ) entre la secuencia recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión y la secuencia local, como función de las señales de correlación primera y segunda y de los desplazamientos de fase entre la secuencia local y las réplicas primera y segunda de la secuencia local; y en el que, en dicho primer modo de funcionamiento, la primera réplica de la secuencia local ( $A1(n)$ ) está adelantada con respecto a la secuencia local ( $cr_0(n)$ ) una primera cantidad ( $s_{A1}$ ), estando la segunda réplica de la secuencia local ( $A2(n)$ ) adelantada con respecto a la secuencia local una segunda cantidad ( $s_{A2}$ ), estando dichas cantidades primera y segunda fijadas; y en el que la unidad de procesamiento (52) está configurada para determinar un tiempo que indica las posiciones de un primer punto ( $(x_1^1(w), y_1^1(w))$ ) y un segundo punto ( $(x_2^1(w), y_2^1(w))$ ) de una función de correlación de referencia, en el que dicha función de correlación de referencia adopta valores iguales a los valores de las señales de correlación primera y segunda ( $y_1^1(w)$ ,  $y_2^1(w)$ ;  $y_{m1}(w)$ ,  $y_{m2}(w)$ ), respectivamente con respecto a un primer punto de referencia ( $(x_1^0(w), y_1^0(w))$ ) y un segundo punto de referencia ( $(x_2^0(w), y_2^0(w))$ ) de dicha función de correlación de referencia, estando dichos puntos de referencia primero y segundo separados del pico principal de dicha función de correlación de referencia distancias proporcionales, respectivamente, a las cantidades primera y segunda; y en el que dicha función de correlación de referencia indica la función de correlación en ausencia de múltiples trayectorias de la secuencia recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión.
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40 2. Receptor según la reivindicación 1, en el que dicha función de correlación de referencia tiene un perfil predeterminado entre dichos puntos de referencia primero y segundo ( $(x_1^0(w), y_1^0(w))$ ;  $(x_2^0(w), y_2^0(w))$ ).
3. Receptor según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la primera estimación de error de alineación es proporcional a la razón:
- 45
- $$(dy_1^1 + x_1^0 y_1^1 - x_1^0 y_2^1) / (y_2^1 - y_1^1)$$
- donde d es una función del desplazamiento de tiempo entre las réplicas primera y segunda de la secuencia local ( $A1(n)$ ,  $A2(n)$ ), y los valores de los parámetros  $y_1^1$ ,  $y_2^1$  y  $x_1^0$  son una función, respectivamente, de la primera señal de correlación ( $y_1(w)$ ;  $y_{m1}(w)$ ), de la segunda señal de correlación ( $y_2(w)$ ;  $y_{m2}(w)$ ), y del desplazamiento de tiempo de la primera réplica de la secuencia local con respecto a la secuencia local ( $cr_0(n)$ ).
- 50 4. Receptor según la reivindicación 3, en el que las réplicas primera y segunda de la secuencia local ( $A1(n)$ ,  $A2(n)$ ) están desplazadas en el tiempo con respecto a la secuencia local ( $cr_0(n)$ ) por un retardo igual a 1-d y por un retardo igual a 1-2-d, respectivamente, siendo d igual a una fracción de un chip de la secuencia recibida.
- 55 5. Receptor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de procesamiento (52) almacena una curva de calibración ( $\tau_{cal}(\theta)$ ) que indica una parte del error de alineación provocado por la etapa de entrada (4), estando la unidad de procesamiento configurada además para calcular una

segunda estimación ( $\tau_{acc}$ ) del error de alineación entre la secuencia recibida y la secuencia local ( $cr_0(n)$ ), basándose en la primera estimación del error de alineación ( $\tau$ ) y la curva de calibración.

6. Receptor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el bucle de enganche de retardo (6) comprende un tercer correlador (P), que está controlado en modo de bucle cerrado y está configurado para generar una tercera señal de correlación ( $y_{mP}^{sp}(w)$ ) que indica la correlación entre la combinación de las secuencias recibidas y la secuencia local ( $cr_0(n)$ ); y en el que, en un segundo modo de funcionamiento, una de las réplicas primera y segunda de la secuencia local ( $A1(n)$ ,  $A2(n)$ ) está adelantada con respecto a la secuencia local ( $cr_0(n)$ ) una tercera cantidad, estando la otra retardada con respecto a la secuencia local una cuarta cantidad, siendo la tercera cantidad una función de la distancia en el tiempo entre el pico principal de la función de correlación de referencia y un primer pico secundario de dicha función de correlación de referencia, siendo la cuarta cantidad una función de la distancia en el tiempo entre dicho pico principal y un segundo pico secundario de dicha función de correlación de referencia; y en el que la unidad de procesamiento (52) está configurada además para:

- calcular (206) una cantidad (U) proporcional a la razón entre un numerador igual a la diferencia entre la segunda señal de correlación y la primera señal de correlación y un denominador igual a una de las señales de correlación primera, segunda y tercera, o bien a una función algebraica de dos o más de las señales de correlación primera, segunda y tercera;

- comparar (208) dicha cantidad con al menos un primer umbral (TH\_U1) y un segundo umbral (TH\_U2), siendo el primer umbral una función de la razón entre la diferencia entre los dos valores de la función de correlación de referencia que están separados del primer pico secundario la misma distancia que está presente entre el pico principal y el primer pico secundario, y el valor del primer pico secundario, siendo el segundo umbral una función de la razón entre la diferencia entre los dos valores de la función de correlación de referencia que están separados del segundo pico secundario la misma distancia que está presente entre el pico principal y el segundo pico secundario, y el valor del segundo pico secundario; y

- modificar (210) los desplazamientos de tiempo entre la secuencia recibida y, respectivamente, la secuencia local y las réplicas primera y segunda de la secuencia local ( $A1(n)$ ,  $A2(n)$ ) como función de la disposición mutua de dicho pico principal y dichos picos secundarios primero y segundo y de la disposición de dicha cantidad con respecto al intervalo ([TH\_U1, TH\_U2]) comprendido entre los umbrales primero y segundo.

7. Receptor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una etapa de extracción de componentes (20, 22a-22b, 23a-23b) configurada para extraer una componente en fase ( $I(n)$ ) y una componente de cuadratura ( $Q(n)$ ) de la señal de entrada ( $s_i(n)$ ); y en el que los correladores primero y segundo (51, 53) están configurados para recibir la componente en fase y la componente de cuadratura de la señal de entrada; y en el que el primer correlador está configurado para generar una parte en fase ( $s_{d\_A1\_I}(w)$ ) y una parte de cuadratura ( $s_{d\_A1\_Q}(w)$ ) de la primera señal de correlación, que indican la correlación entre la primera réplica de la secuencia local ( $A1(n)$ ) y, respectivamente, la componente en fase ( $I(n)$ ) de la señal de entrada y la componente de cuadratura ( $Q(n)$ ) de la señal de entrada; y en el que el segundo correlador está configurado para generar una parte en fase ( $s_{d\_A2\_I}(w)$ ) y una parte de cuadratura ( $s_{d\_A2\_Q}(w)$ ) de la segunda señal de correlación, que indican la correlación entre la segunda réplica de la secuencia local ( $A2(n)$ ) y, respectivamente, la componente en fase de la señal de entrada y la componente de cuadratura de la señal de entrada; y en el que la unidad de procesamiento (52) está configurada para:

- generar una parte en fase filtrada ( $s_{M\_A1\_I}(w)$ ) y una parte de cuadratura filtrada ( $s_{M\_A1\_Q}(w)$ ) de la primera señal de correlación filtrando, respectivamente, la parte en fase y la parte de cuadratura de la primera señal de correlación;

- generar una parte en fase filtrada ( $s_{M\_A2\_I}(w)$ ) y una parte de cuadratura filtrada ( $s_{M\_A2\_Q}(w)$ ) de la segunda señal de correlación filtrando, respectivamente, la parte en fase y la parte de cuadratura de la segunda señal de correlación;

- calcular un módulo filtrado de la primera señal de correlación ( $y_{m1}$ ) proporcional a la suma de los cuadrados de la parte en fase filtrada y de la parte de cuadratura filtrada de la primera señal de correlación;

- calcular un módulo filtrado de la segunda señal de correlación ( $y_{m2}$ ) proporcional a la suma de los cuadrados de la parte en fase filtrada y de la parte de cuadratura filtrada de la segunda señal de correlación; y

- determinar dicha primera estimación de un error de alineación ( $\tau$ ) basándose en los módulos filtrados de las señales de correlación primera y segunda.

8. Receptor según la reivindicación 7, en el que, en un segundo modo de funcionamiento, una de las réplicas primera y segunda de la secuencia local ( $A1(n)$ ,  $A2(n)$ ) está adelantada con respecto a la secuencia local ( $cr_0(n)$ ) una tercera cantidad, estando la otra retardada con respecto a la secuencia local una cuarta

- cantidad, siendo la tercera cantidad una función de la distancia en el tiempo entre el pico principal de la función de correlación de referencia y un primer pico secundario de dicha función de correlación de referencia, siendo la cuarta cantidad una función de la distancia en el tiempo entre dicho pico principal y un segundo pico secundario de dicha función de correlación de referencia; y en el que el bucle de enganche de retardo (6) comprende un tercer correlador (P), que está controlado en modo de bucle cerrado (P) y está configurado para generar una parte en fase de una tercera señal de correlación ( $s_{dl,0}(w)$ ), que indica la correlación entre la componente en fase ( $I(n)$ ) de la señal de entrada y la secuencia local, y una parte de cuadratura de la tercera señal de correlación ( $s_{dq,0}(w)$ ), que indica la correlación entre la componente de cuadratura ( $Q(n)$ ) de la señal de entrada y la secuencia local; y en el que la unidad de procesamiento (52) está configurada además para:
- generar una parte en fase filtrada ( $s_{M,P}(w)$ ) y una parte de cuadratura filtrada ( $s_{M,P,Q}(w)$ ) de la tercera señal de correlación filtrando, respectivamente, la parte en fase y la parte de cuadratura de la tercera señal de correlación;
  - calcular un módulo filtrado ( $y_{MP}^{SP}(w)$ ) de la tercera señal de correlación, proporcional a la suma de los cuadrados de la parte en fase filtrada y de la parte de cuadratura filtrada de la tercera señal de correlación;
  - calcular (206) una cantidad (U) proporcional a la razón entre un numerador igual a la diferencia entre los módulos filtrados de la segunda señal de correlación y de la primera señal de correlación y un denominador igual a uno de los módulos filtrados de las señales de correlación primera, segunda y tercera, o bien a una función algebraica de dos o más de los módulos filtrados de las señales de correlación primera, segunda y tercera;
  - comparar (208) dicha cantidad con al menos un primer umbral (TH\_U1) y un segundo umbral (TH\_U2), siendo el primer umbral una función de la razón entre la diferencia entre los dos valores de la función de correlación de referencia que están separados del primer pico secundario la misma distancia que está presente entre el pico principal y el primer pico secundario, y el valor del primer pico secundario, siendo el segundo umbral una función de la razón entre la diferencia entre los dos valores de la función de correlación de referencia que están separados del segundo pico secundario la misma distancia que está presente entre el pico principal y el segundo pico secundario, y el valor del segundo pico secundario; y
  - modificar (210) los desplazamientos de tiempo entre la secuencia recibida y, respectivamente, la secuencia local y las réplicas primera y segunda de la secuencia local ( $A1(n)$ ,  $A2(n)$ ), como función de la disposición mutua de dicho pico principal y dichos picos secundarios primero y segundo y de la disposición de dicha cantidad con respecto al intervalo ( $[TH\_U1, TH\_U2]$ ) comprendido entre los umbrales primero y segundo.
9. Método para estimar un error de alineación ( $\tau$ ) de un receptor electrónico (50) para un sistema global de navegación por satélite, comprendiendo dicho método las etapas de:
- recibir, a lo largo de una trayectoria de línea de visión, una señal de navegación ( $s_i(t)$ ) modulada con una secuencia de un tipo pseudoaleatorio, y recibir, a lo largo de trayectorias reflejadas, varias réplicas de la señal de navegación;
  - generar una señal de entrada ( $s_i(n)$ ) de tipo numérico como función de la señal de navegación y de las réplicas de la señal de navegación;
  - generar una secuencia local ( $cr_0(n)$ );
  - alinear en el tiempo la secuencia local con la secuencia recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión;
  - generar una primera réplica de la secuencia local ( $A1(n)$ ) y una segunda réplica de la secuencia local ( $A2(n)$ ); y
  - generar, como función de la señal de entrada, una primera señal de correlación ( $y_1(w)$ ;  $y_{m1}(w)$ ) y una segunda señal de correlación ( $y_2(w)$ ;  $y_{m2}(w)$ ), indicando la primera señal de correlación la correlación entre la combinación de las secuencias recibidas y la primera réplica de la secuencia local, indicando la segunda señal de correlación la correlación entre la combinación de las secuencias recibidas y la segunda réplica de la secuencia local;
- caracterizado porque dicha etapa de generar una primera señal de correlación y una segunda señal de correlación se lleva a cabo en modo de bucle abierto, y dicha etapa de generar una primera réplica de la secuencia local y una segunda réplica de la secuencia local se lleva a cabo, en un primer modo de funcionamiento, de tal manera que dichas réplicas primera y segunda de la secuencia local están ambas adelantadas con respecto a la secuencia local; comprendiendo dicho método además la etapa de determinar una primera estimación de un error de alineación ( $\tau$ ) entre la secuencia recibida a lo largo de la

- trayectoria de línea de visión y la secuencia local como función de las señales de correlación primera y segunda y de los desplazamientos de fase entre la secuencia local y las réplicas primera y segunda de la secuencia local; y en el que, en dicho primer modo de funcionamiento, la primera réplica de la secuencia local (A1(n)) está adelantada con respecto a la secuencia local (cr<sub>0</sub>(n)) una primera cantidad (s<sub>A1</sub>), estando la segunda réplica de la secuencia local (A2(n)) adelantada con respecto a la secuencia local una segunda cantidad (s<sub>A2</sub>), estando dichas cantidades primera y segunda fijadas; y en el que dicha etapa de determinar una primera estimación de error de alineación comprende determinar un tiempo que indica las posiciones de un primer punto ((x<sub>1</sub><sup>1</sup>(w), y<sub>1</sub><sup>1</sup>(w)) y un segundo punto (x<sub>2</sub><sup>1</sup>(w), y<sub>2</sub><sup>1</sup>(w))) de una función de correlación de referencia, en el que dicha función de correlación de referencia adopta valores iguales a los valores de las señales de correlación primera y segunda (y<sub>1</sub><sup>1</sup>(w), y<sub>2</sub><sup>1</sup>(w); y<sub>m1</sub>(w), y<sub>m2</sub>(w)), respectivamente con respecto a un primer punto de referencia ((x<sub>1</sub><sup>0</sup>(w), y<sub>1</sub><sup>0</sup>(w)) y un segundo punto de referencia (x<sub>2</sub><sup>0</sup>(w), y<sub>2</sub><sup>0</sup>(w)) de dicha función de correlación de referencia, estando dichos puntos de referencia primero y segundo separados del pico principal de dicha función de correlación de referencia distancias proporcionales, respectivamente, a las cantidades primera y segunda, indicando dicha función de correlación de referencia la función de correlación en ausencia de múltiples trayectorias de la secuencia recibida a lo largo de la trayectoria de línea de visión.
- 5
- 10
- 15
10. Método según la reivindicación 9, en el que dicha función de correlación de referencia tiene un perfil predeterminado entre dichos puntos de referencia primero y segundo ((x<sub>1</sub><sup>0</sup>(w), y<sub>1</sub><sup>0</sup>(w)); (x<sub>2</sub><sup>0</sup>(w), y<sub>2</sub><sup>0</sup>(w))).
11. Método según la reivindicación 9 o la reivindicación 10, que comprende además las etapas de:
- 20
- almacenar una curva de calibración (τ<sub>cal</sub>(θ<sub>i</sub>)) que indica una parte del error de alineación provocado por una etapa de entrada (4) del receptor electrónico (50); y
  - calcular una segunda estimación (τ<sub>acc</sub>) del error de alineación entre la secuencia recibida y la secuencia local (cr<sub>0</sub>(n)), basándose en la primera estimación del error de alineación (τ) y de la curva de calibración.
- 25
12. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, que comprende además la etapa de generar en modo de bucle cerrado una tercera señal de correlación (y<sub>mP</sub><sup>SP</sup>(w)) que indica la correlación entre la combinación de las secuencias recibidas y la secuencia local (cr<sub>0</sub>(n)); y en el que dicha etapa de generar una primera réplica de la secuencia local y una segunda réplica de la secuencia local se ejecuta, en un segundo modo de funcionamiento, de tal manera que una de las réplicas primera y segunda de la secuencia local (A1(n), A2(n)) está adelantada con respecto a la secuencia local (cr<sub>0</sub>(n)) una tercera cantidad, estando la otra retardada con respecto a la secuencia local una cuarta cantidad, siendo la tercera cantidad una función de la distancia en el tiempo entre el pico principal de la función de correlación de referencia y un primer pico secundario de dicha función de correlación de referencia, siendo la cuarta cantidad una función de la distancia en el tiempo entre dicho pico principal y un segundo pico secundario de dicha función de correlación de referencia; comprendiendo dicho método además las etapas de:
- 30
- determinar un primer umbral (TH\_U1), proporcional a la razón entre la diferencia entre los dos valores de la función de correlación de referencia que están separados del primer pico secundario la misma distancia que está presente entre el pico principal y el primer pico secundario, y el valor del primer pico secundario;
  - determinar un segundo umbral (TH\_U2), proporcional a la razón entre la diferencia entre los dos valores de la función de correlación de referencia que están separados del segundo pico secundario la misma distancia que está presente entre el pico principal y el segundo pico secundario, y el valor del segundo pico secundario;
  - calcular (206) una cantidad (U) proporcional a la razón entre un numerador igual a la diferencia entre la segunda señal de correlación y la primera señal de correlación y un denominador igual a una de las señales de correlación primera, segunda y tercera, o bien a una función algebraica de dos o más de las señales de correlación primera, segunda y tercera;
  - comparar (208) dicha cantidad con dichos umbrales primero y segundo (TH\_U1, TH\_U2); y
  - modificar (210) los desplazamientos de tiempo entre la secuencia recibida y, respectivamente, la secuencia local y las réplicas primera y segunda de la secuencia local (A1(n), A2(n)), como función de la disposición mutua de dicho pico principal y dichos picos secundarios primero y segundo, y de la disposición de dicha cantidad con respecto al intervalo ([TH\_U1, TH\_U2]) comprendido entre los umbrales primero y segundo.
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
13. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, que comprende además la etapa de extraer una componente en fase (I(n)) y una componente de cuadratura (Q(n)) de la señal de entrada (s<sub>i</sub>(n)); y en el que dicha etapa de generar una primera señal de correlación (y<sub>1</sub>(w); y<sub>m1</sub>(w)) y una segunda señal de correlación (y<sub>2</sub>(w), y<sub>m2</sub>(w)) comprende:
- generar una parte en fase (s<sub>d\_A1\_I</sub>(w)) y una parte de cuadratura (S<sub>d\_A1\_Q</sub>(W)) de la primera señal de

correlación, que indican la correlación entre la primera réplica de la secuencia local ( $A1(n)$ ) y, respectivamente, la componente en fase de la señal de entrada y la componente de cuadratura de la señal de entrada; y

- 5 - generar una parte en fase ( $S_{d\_A2\_I}(W)$ ) y una parte de cuadratura ( $S_{d\_A2\_Q}(W)$ ) de la segunda señal de correlación, que indican la correlación entre la segunda réplica de la secuencia local ( $A2(n)$ ) y, respectivamente, la componente en fase de la señal de entrada y la componente de cuadratura de la señal de entrada;

comprendiendo dicho método además las etapas de:

- 10 - generar una parte en fase filtrada ( $S_{M\_A1\_I}(W)$ ) y una parte de cuadratura filtrada ( $S_{M\_A1\_Q}(W)$ ) de la primera señal de correlación filtrando, respectivamente, la parte en fase y la parte de cuadratura de la primera señal de correlación;

- generar una parte en fase filtrada ( $S_{M\_A2\_I}(W)$ ) y una parte de cuadratura filtrada ( $S_{M\_A2\_Q}(W)$ ) de la segunda señal de correlación filtrando, respectivamente, la parte en fase y la parte de cuadratura de la segunda señal de correlación;

- 15 - calcular un módulo filtrado de la primera señal de correlación ( $y_{m1}$ ), proporcional a la suma de los cuadrados de la parte en fase filtrada y de la parte de cuadratura filtrada de la primera señal de correlación;

- calcular un módulo filtrado de la segunda señal de correlación ( $y_{m2}$ ), proporcional a la suma de los cuadrados de la parte en fase filtrada y de la parte de cuadratura filtrada de la segunda señal de correlación; y

- 20 - determinar dicha primera estimación de un error de alineación ( $\tau$ ) basándose en los módulos filtrados de las señales de correlación primera y segunda.

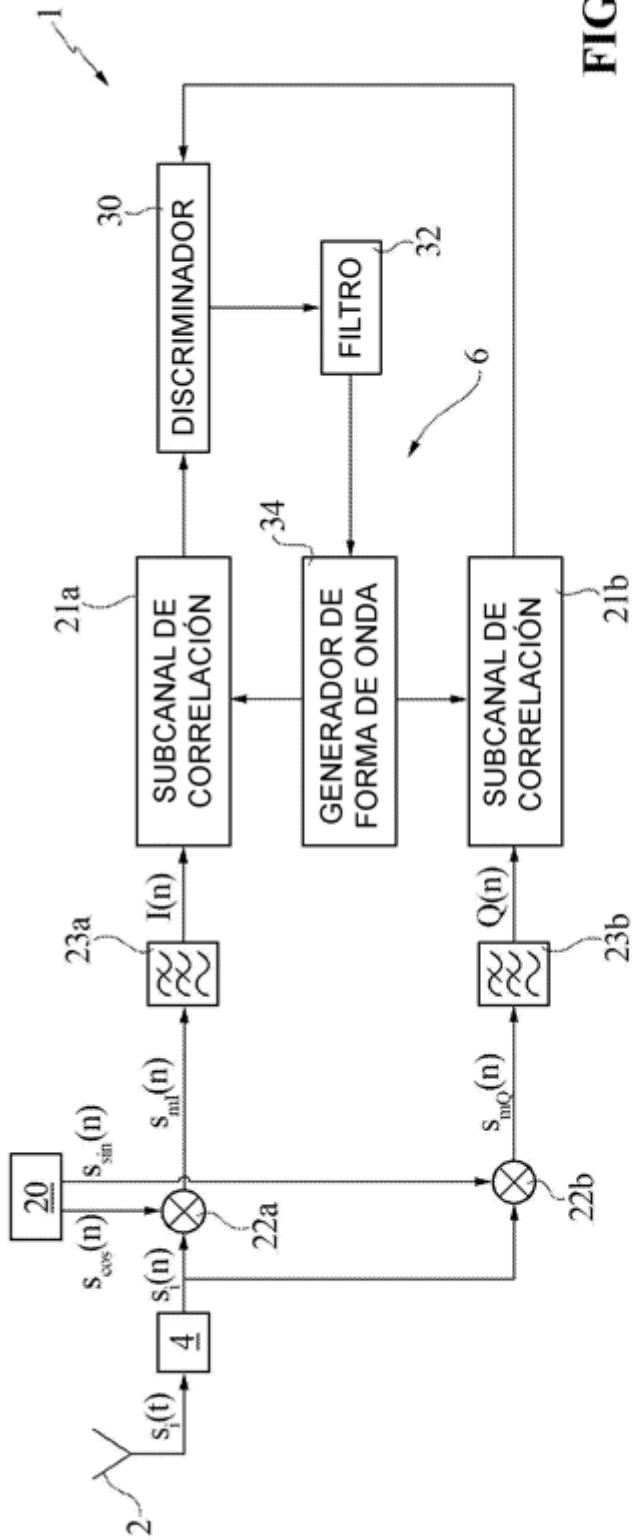


FIG. 1

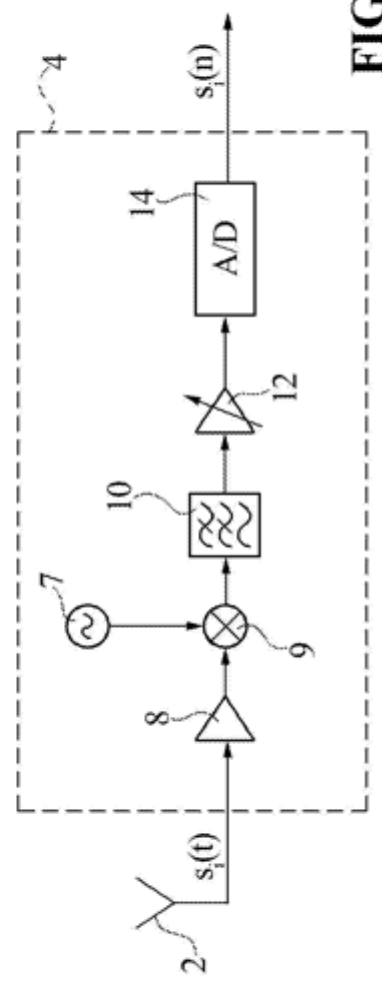


FIG. 2

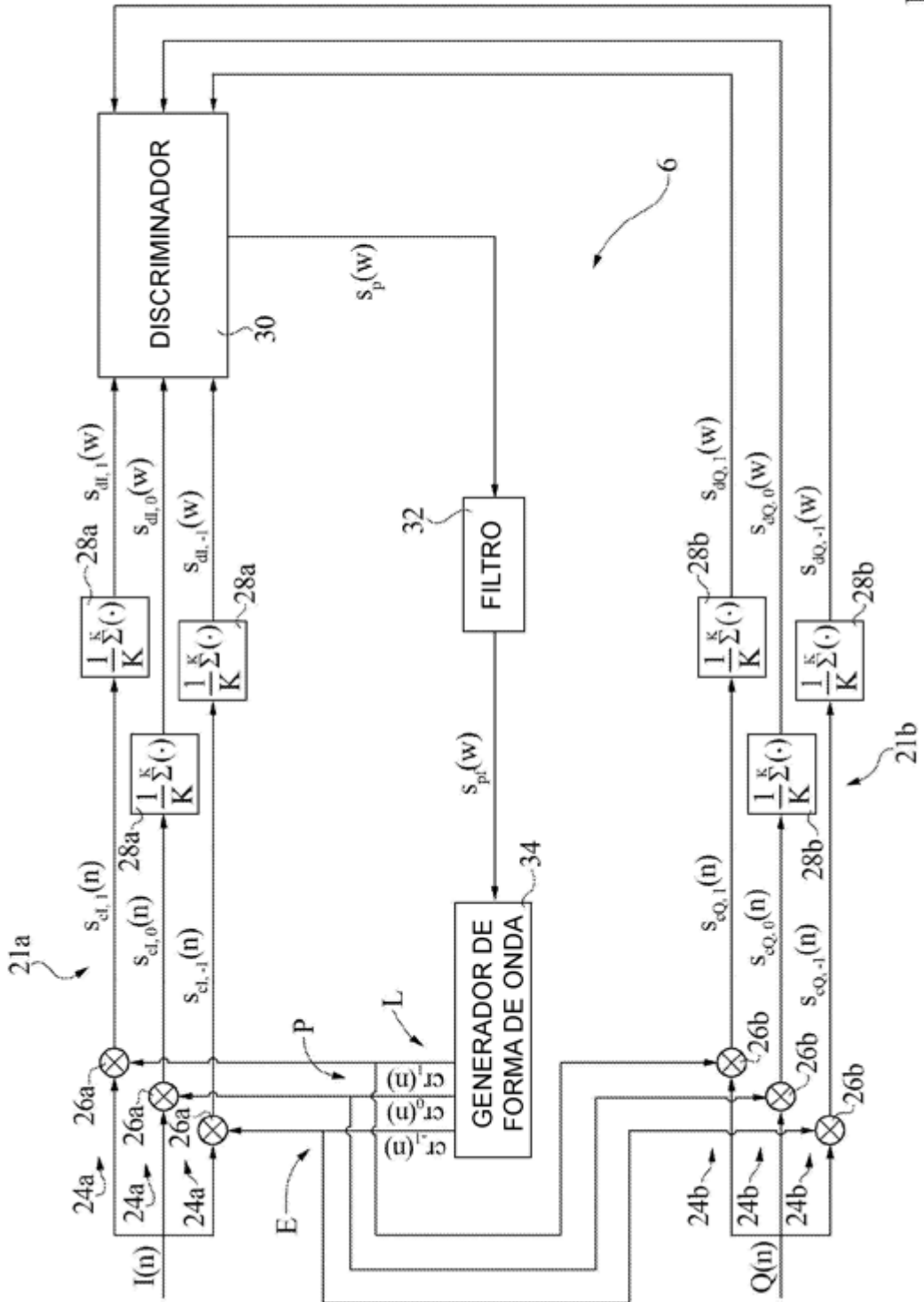


FIG. 3

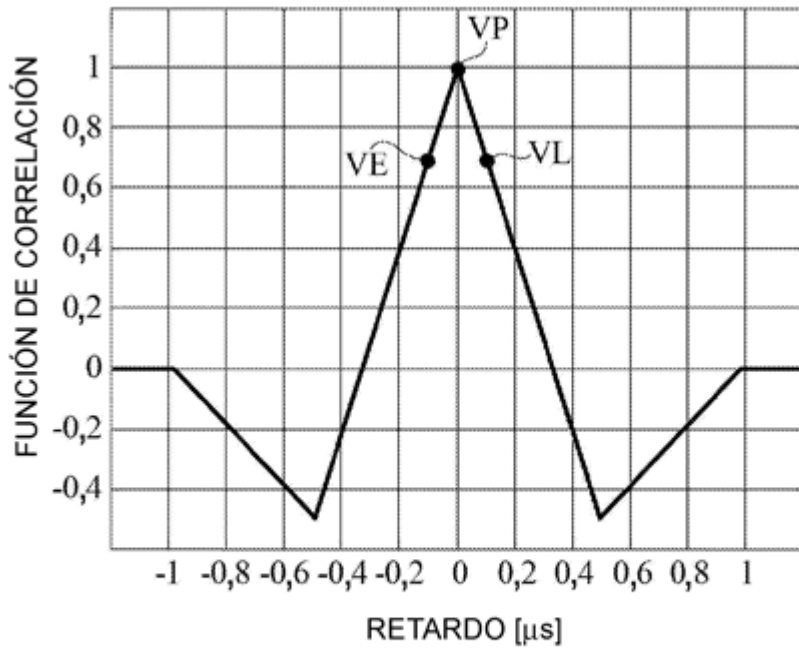


FIG. 4A

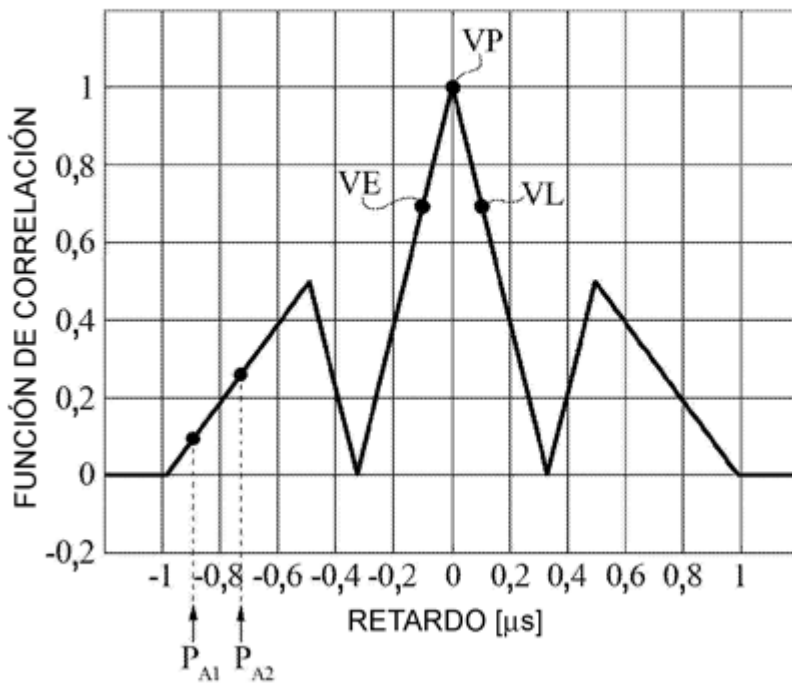


FIG. 4B



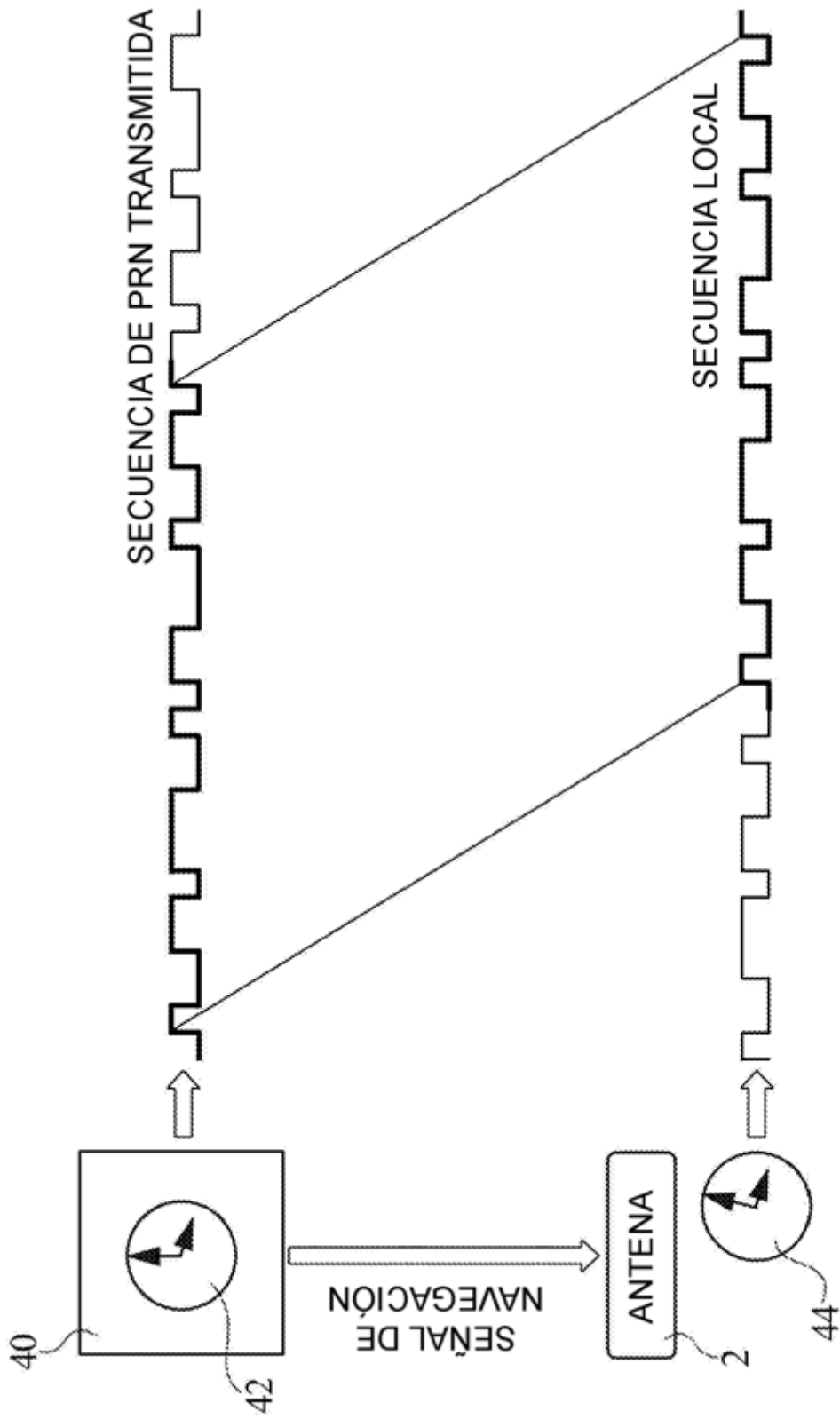


FIG. 5

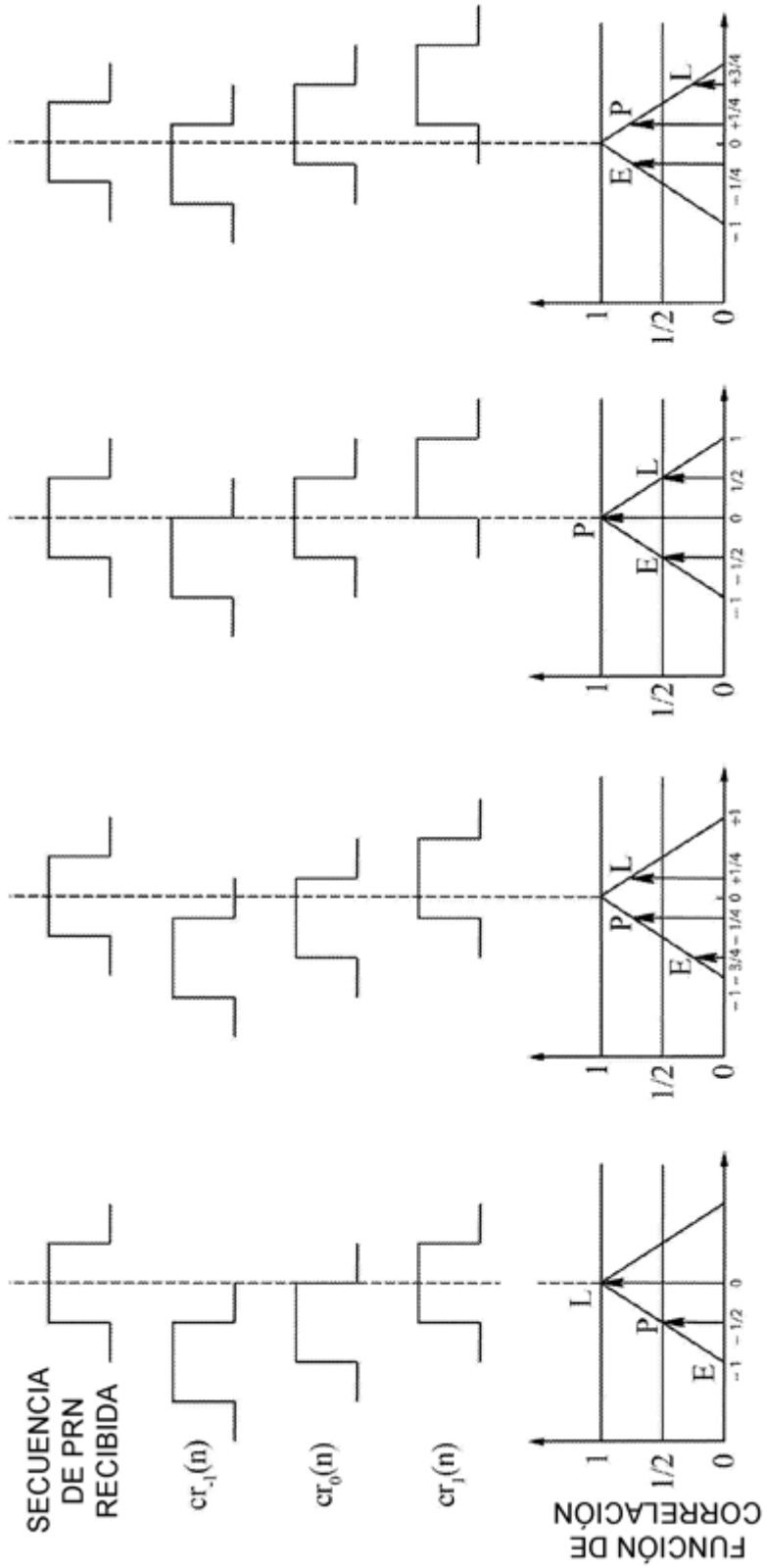


FIG. 6A

FIG. 6B

FIG. 6C

FIG. 6D

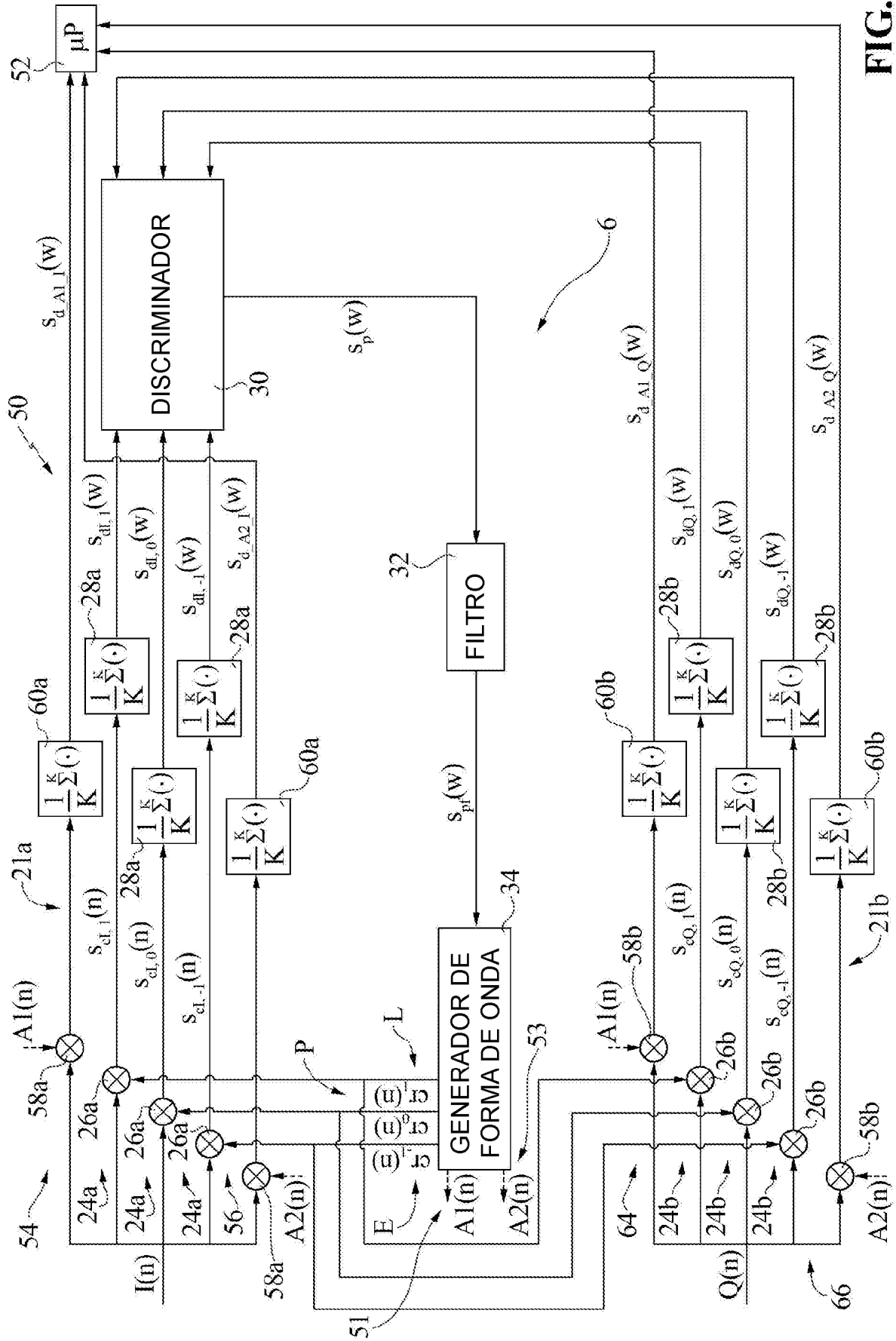


FIG. 7

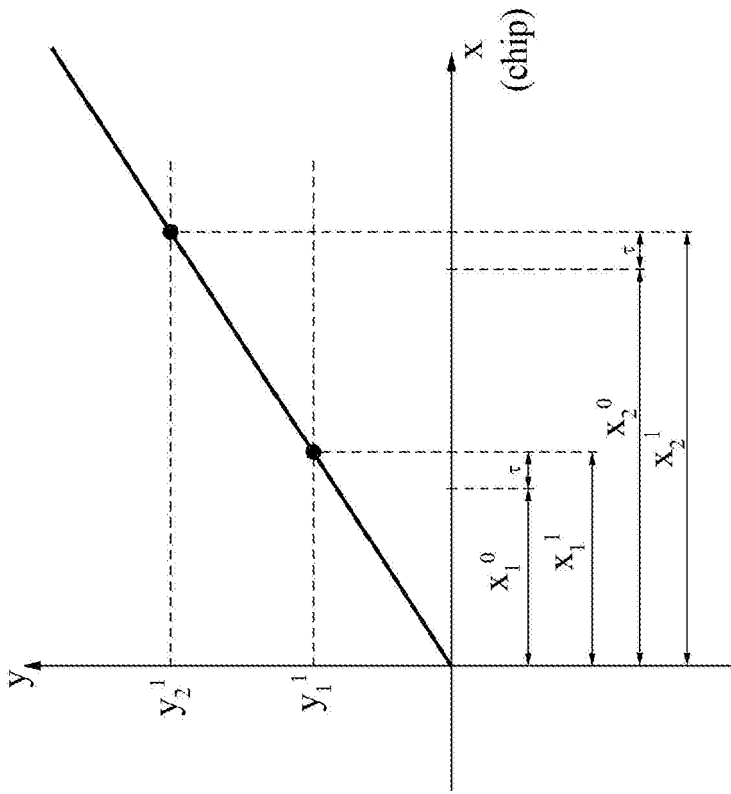


FIG. 8A

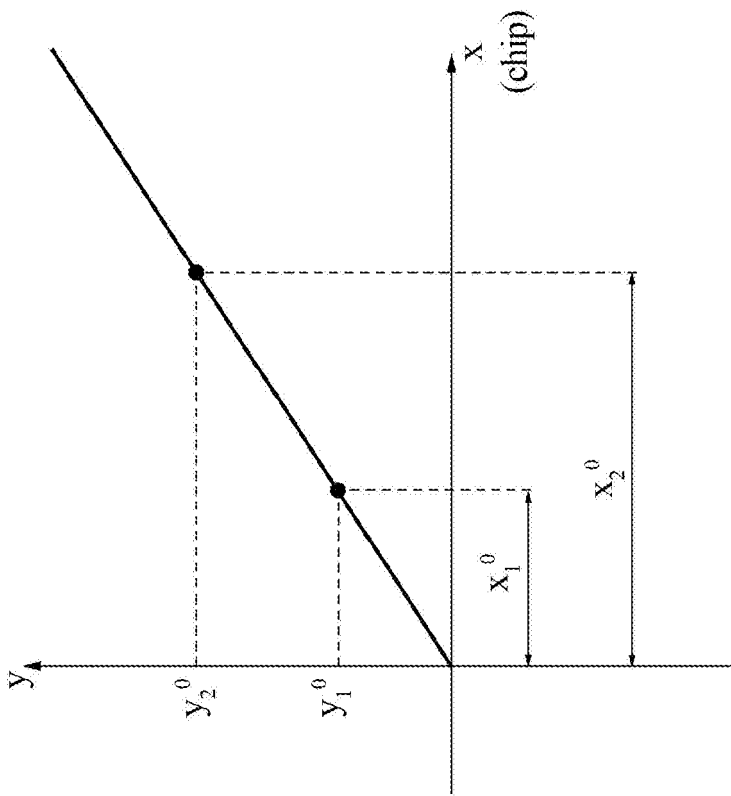


FIG. 8B

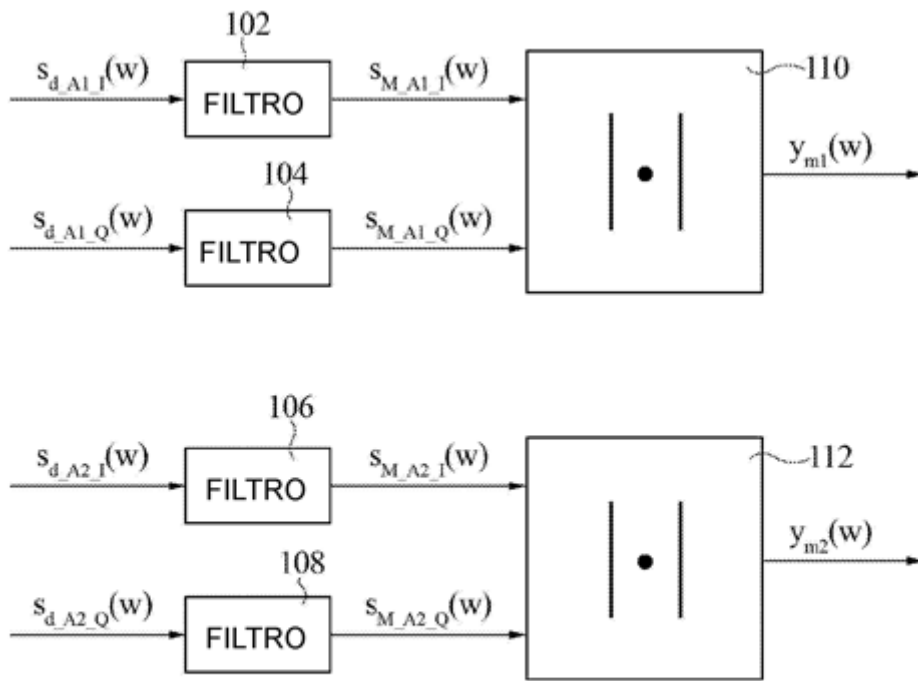


FIG. 9

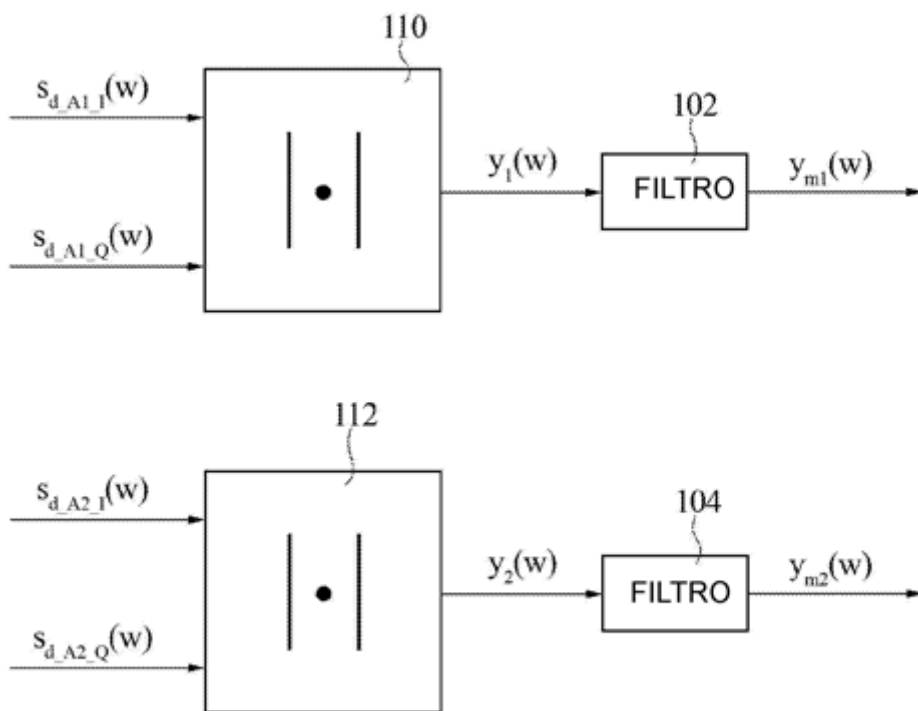


FIG. 10

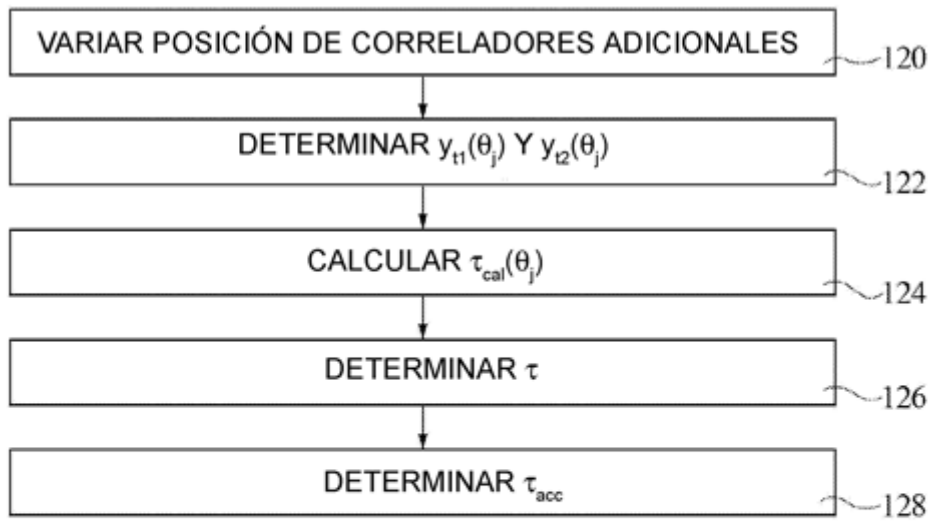


FIG. 11

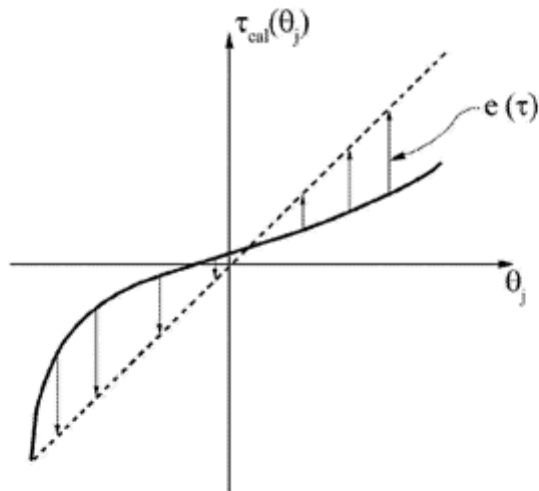


FIG. 12

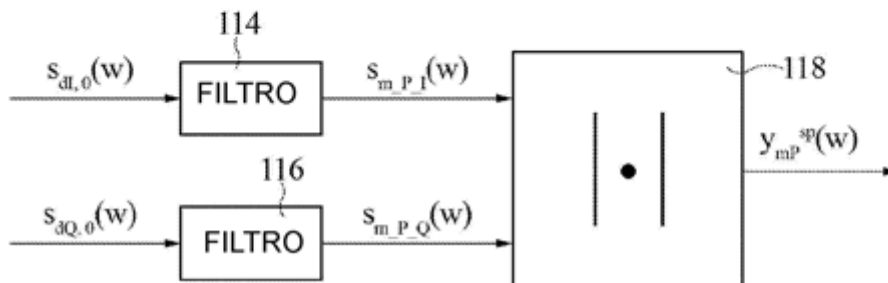
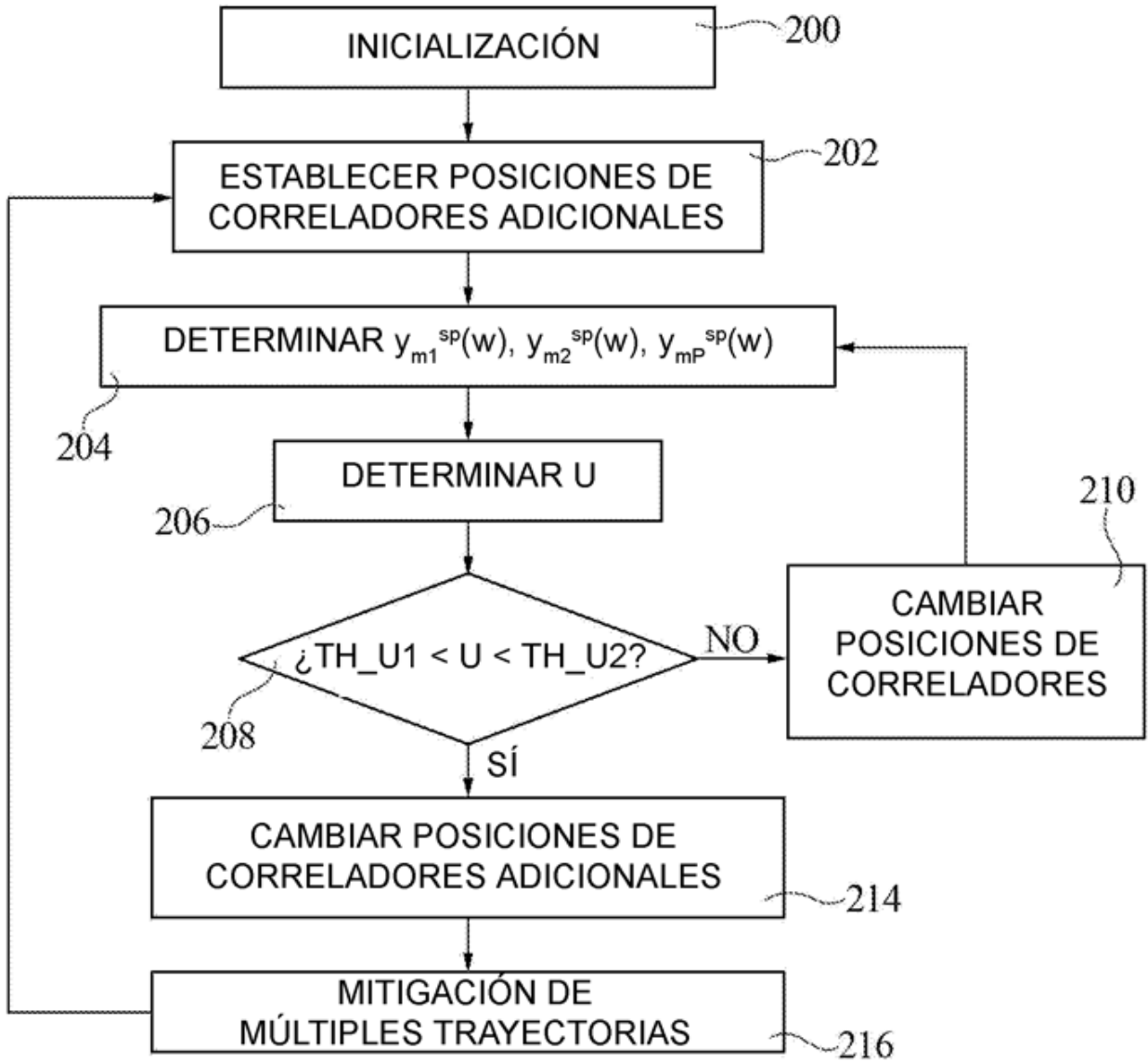


FIG. 14



**FIG. 13**

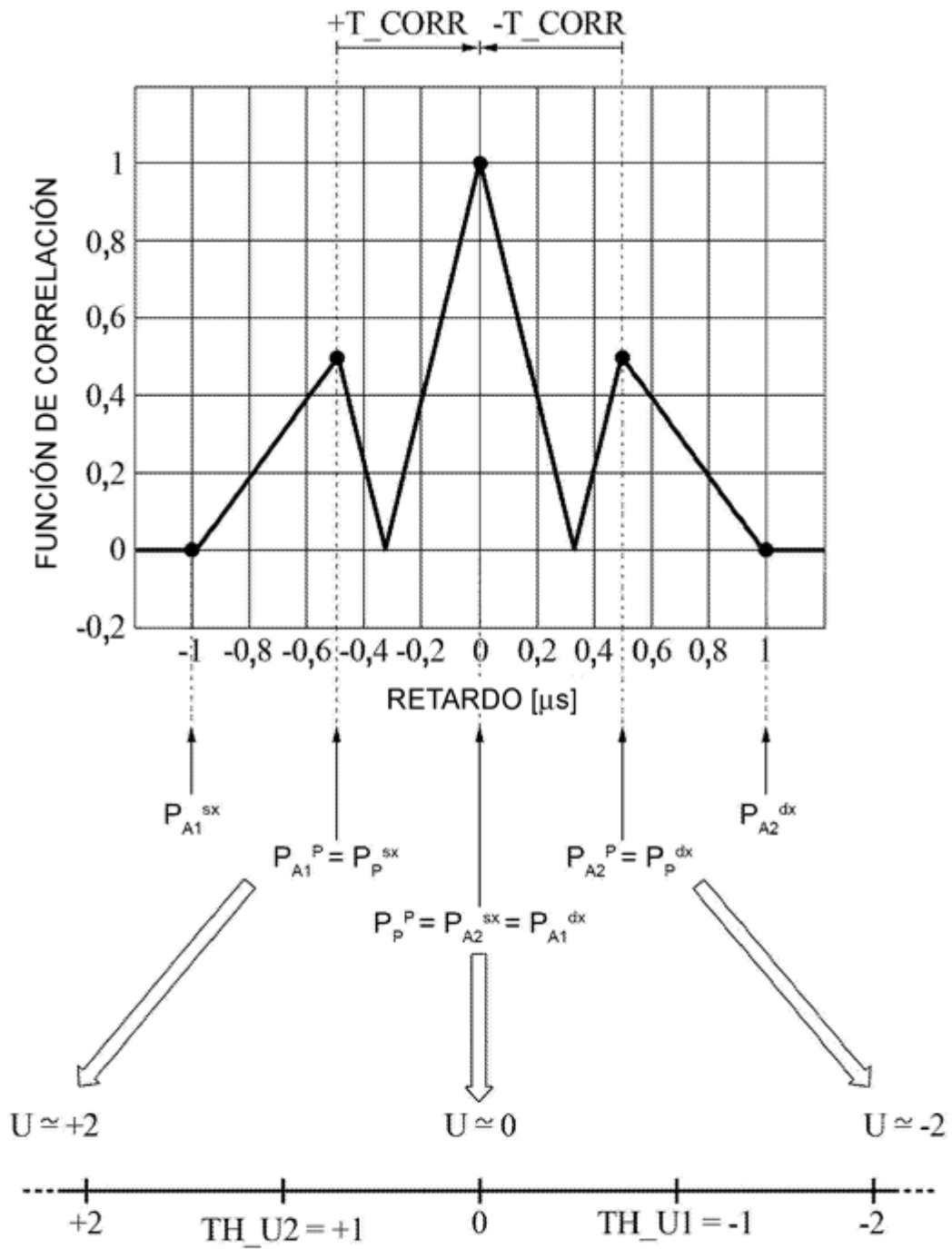


FIG. 15