

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 705 057**

51 Int. Cl.:

G01S 19/23 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2017** E 17152739 (3)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2018** EP 3203267

54 Título: **Procedimiento de calibración de un receptor de radionavegación por satélite**

30 Prioridad:

05.02.2016 FR 1600197

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

21.03.2019

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem Place des Corolles Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**CARRIE, GUILLAUME;
VAUTHERIN, BENOÎT y
SERANT, DAMIEN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 705 057 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de calibración de un receptor de radionavegación por satélite

5 La invención se refiere al campo de los receptores de radionavegación por satélite, también denominados receptores GNSS del acrónimo anglosajón normalmente utilizado "Global Navigation Satellite Systems" y más precisamente de los receptores multi-antena que comprenden varias vías de recepción. La invención se refiere igualmente al campo del tratamiento de las señales de espectro extendido que engloban las señales de radionavegación por satélite.

El objeto de la invención es un procedimiento de calibración de un receptor GNSS multi-vía que conduce a la determinación de un filtro de ecualización de banda ancha y/o de un filtro de ecualización de banda estrecha, así como a un receptor que comprende dichos filtros.

10 En un receptor multi-vía, un problema general se refiere a la calibración de las diferentes vías de recepción con el fin de compensar las diferencias en tiempo, fase y amplitud que pueden impactar en la señal recibida sobre las diferentes vías. En efecto, cada vía de recepción comprende una antena, así como una cadena de recepción de radiofrecuencia que incluye principalmente uno o varios filtro(s) de conformación y uno o varios amplificador(es).
15 Estos diferentes componentes pueden no presentar exactamente las mismas características, en particular, los retardos de grupo, las ganancias en amplitud y fase pueden ser sustancialmente diferentes. Estas diferencias implican un desplazamiento de las vías de recepción que deben, en teoría, tener todas la misma respuesta en frecuencia. Las señales recibidas en las diferentes vías de recepción pueden quedar así impactadas por estas diferencias y los tratamientos aplicados a las señales con el fin de determinar unas informaciones de posicionamiento del receptor o de dirección de llegada de las señales pueden quedar perturbadas.

20 En un contexto de aplicaciones que necesitan una gran fiabilidad de la información de posicionamiento, es por tanto necesario calibrar muy precisamente los receptores con el fin de evitar al máximo las distorsiones entre las diferentes vías de recepción. Esta necesidad es particularmente importante para aplicaciones aeronáuticas o vinculadas a los transportes.

25 Las soluciones conocidas que permiten resolver el problema de calibración de un receptor GNSS multi-vía pueden basarse en una calibración previa en fábrica efectuada sobre cada equipo y utilizando unas medidas en laboratorio o en campo anecoico. Al ser las respuestas de las vías de recepción de RF sensibles a la temperatura, es necesario utilizar unos componentes termoestables o sensores térmicos. Otra solución es utilizar una señal de radiofrecuencia dedicada a la calibración que se genera mediante un dispositivo específico interno o externo en el receptor.

30 De manera general, las soluciones existentes presentan el inconveniente de necesitar dispositivos o equipos suplementarios.

Se conocen por otro lado otras soluciones descritas en los documentos EP805510, US5525997 y US7304605.

La invención propone un procedimiento de calibración de un receptor multi-vía GNSS que no necesite la utilización de un generador de señal específico y que pueda implementarse directamente a partir de medidas simples realizadas en un receptor en funcionamiento.

35 La invención consiste principalmente en determinar un primer filtro de ecualización de banda ancha que puede posicionarse a la salida de las vías de recepción de RF y a la entrada de los correladores para corregir el desperejamiento entre las diferentes vías de recepción de RF. La invención consiste igualmente en determinar un segundo filtro de ecualización de banda estrecha para corregir los errores de ganancia y fase residuales.

40 La invención se aplica a cualquier sistema de posicionamiento por satélite, principalmente a receptores compatibles con los sistemas GNSS GPS, GALILEO o GLONASS.

45 La invención tiene así por objeto un procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite, comprendiendo dicho receptor una pluralidad de vías de recepción cada una comprendiendo una antena de recepción y una pluralidad de correladores para correlacionar la señal recibida por la antena con un código local retardado con un retardo parametrizable, comprendiendo dicho procedimiento de calibración la determinación de al menos un filtro ecualizador de banda ancha destinado a ser aplicado entre la antena de recepción y los correladores de cada vía de recepción, obteniéndose dichos filtros ecualizadores de banda ancha mediante las siguientes etapas:

- construir, para cada vía de recepción, un vector de correlación que comprende los puntos de correlación obtenidos simultáneamente a la salida de dichos correladores,
- determinar, a partir de la función de correlación del código local con la señal recibida, estimada, para cada vía de recepción, a partir de los vectores de correlación, la vía de recepción, denominada vía de referencia, para la que la señal recibida es la que tiene más en retardo con relación al código local,
- determinar, para cada vía de recepción salvo la vía de referencia, el filtro ecualizador de banda ancha calculando la desconvolución del vector de correlación de dicha vía de recepción por el vector de correlación de la vía de referencia.

Según una variante de realización, el procedimiento según la invención comprende previamente la búsqueda y la retención, entre las señales recibidas por dichos receptores y procedentes de varios satélites, de aquellas que no están afectadas por la presencia de trayectos múltiples de la señal y la selección de una señal entre estas retenidas.

5 Según una variante de realización, el procedimiento según la invención comprende la búsqueda y la selección, entre las señales retenidas, de la señal emitida por el satélite que tiene la elevación más alta entre los satélites emisores de las señales recibidas por dicho receptor.

Según una variante de realización, el procedimiento según la invención comprende la búsqueda y la selección, entre las señales retenidas, de la señal que representa la relación señal a ruido más elevada.

10 Según una variante de realización, el procedimiento según la invención comprende una etapa de filtrado de las salidas de dichos correladores para disminuir el ruido de medición.

Según una variante de realización, el procedimiento según la invención comprende la determinación de un filtro ecualizador de banda estrecha que comprende un coeficiente complejo destinado a aplicarse a la señal filtrada por el filtro ecualizador de banda ancha sobre cada vía de recepción, obteniéndose dicho filtro ecualizador de banda estrecha mediante las siguientes etapas:

- 15 • para cada señal recibida procedente de un satélite distinto y para cada vía de recepción, filtrar el vector de correlación mediante el filtro ecualizador de banda ancha,
- determinar, para cada señal recibida procedente de un satélite distinto, una matriz R_k de intercorrelación espacial a partir de los vectores de correlación de cada vía de recepción,
- 20 • determinar, para cada señal recibida procedente de un satélite distinto, la dirección de llegada teórica de la señal recibida a partir de la posición del satélite,
- determinar una función Q de coste representativa del error global entre las direcciones de llegada estimadas y las direcciones de llegada teóricas de las señales recibidas, determinándose una dirección de llegada estimada a partir de la matriz R_k de intercorrelación espacial y del coeficiente complejo del filtro ecualizador de banda estrecha aplicado a la señal recibida,
- 25 • buscar, para cada vía de recepción, los valores de los coeficientes complejos que permiten minimizar la función Q de coste.

La invención tiene también por objeto un procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite, comprendiendo dicho receptor una pluralidad de vías de recepción cada una comprendiendo una antena de recepción, una pluralidad de correladores para correlacionar la señal recibida por la antena con un código local retardado con un retardo parametrizable y un filtro ecualizador de banda ancha, obtenido mediante la ejecución del procedimiento de calibración según la invención y aplicado entre la antena de recepción y los correladores de cada vía de recepción, comprendiendo dicho procedimiento de calibración la determinación de un filtro ecualizador de banda estrecha que comprende un coeficiente complejo destinado a aplicarse a la señal filtrada por el filtro ecualizador de banda ancha sobre cada vía de recepción, obteniéndose dicho filtro ecualizador de banda estrecha mediante las siguientes etapas:

- 30 • determinar, para cada señal recibida procedente de un satélite distinto, una matriz R_k de intercorrelación espacial a partir de los vectores de correlación de cada vía de recepción,
- determinar, para cada señal recibida procedente de un satélite distinto, la dirección de llegada teórica de la señal recibida a partir de la posición del satélite,
- 40 • determinar una función Q de coste representativa del error global entre las direcciones de llegada estimadas y las direcciones de llegada teóricas de las señales recibidas, determinándose una dirección de llegada estimada a partir de la matriz R_k de intercorrelación espacial y del coeficiente complejo del filtro ecualizador de banda estrecha aplicado a la señal recibida,
- buscar, para cada vía de recepción, los valores de los coeficientes complejos que permiten minimizar la función Q de coste.
- 45

Según un aspecto particular de la invención, la matriz R_k de intercorrelación espacial se promedia sobre varios instantes consecutivos.

Según un aspecto particular de la invención, las direcciones de llegada de las señales recibidas se trasponen en una referencia vinculada a las antenas de recepción a partir de la actitud del receptor.

50 Según un aspecto particular de la invención, la actitud del receptor se integra como parámetro de la función Q de coste y el procedimiento además comprende la búsqueda del valor de la actitud al receptor que permite minimizar la función Q de coste.

Según un aspecto particular de la invención, la función Q de coste depende de los vectores direccionales $\mathbf{a}(\widehat{\theta}_k, \widehat{\varphi}_k)$ de las antenas de recepción del receptor calculados en las direcciones de llegada teóricas de las señales recibidas.

55 Según un aspecto particular de la invención, la función Q de coste se obtiene sumando varias funciones de coste, cada una representativa del error entre la dirección de llegada estimada y la dirección de llegada teórica de una

señal recibida procedente del satélite.

Según un aspecto particular de la invención, la función Q de coste viene dada por la relación $Q = \sum_{k=1}^{N_s} \mathbf{a}(\widehat{\theta}_k, \widehat{\varphi}_k)^H \mathbf{\Gamma}^H \mathbf{R}_k^{-1} \mathbf{\Gamma} \mathbf{a}(\widehat{\theta}_k, \widehat{\varphi}_k)$ siendo N_s el número de señales recibidas procedentes de satélites distintos, \mathbf{R}_k^{-1} es la inversa de la matriz de intercorrelación espacial, $\mathbf{\Gamma}$ es una matriz diagonal cuyos componentes son los coeficientes complejos de los filtros de ecualización de banda estrecha en cada vía de recepción y H es el operador transpuesto conjugado.

La invención tiene también por objeto un receptor de señales de navegación por satélite que comprende una pluralidad de vías de recepción cada una comprendiendo una antena de recepción, una pluralidad de correladores para correlacionar la señal recibida por la antena con un código local retardado con un retardo parametrizable y un filtro ecualizador de banda ancha, dispuesto entre la antena de recepción y dichos correladores y obtenido mediante la ejecución del procedimiento de calibración según un primer modo de realización de la invención.

En una variante particular de realización, el receptor según la invención además comprende, en cada vía de recepción, un filtro ecualizador de banda estrecha de un coeficiente complejo, dispuesto entre la salida del filtro ecualizador de banda ancha y la entrada de dichos correladores y obtenido mediante la ejecución del procedimiento de calibración según un segundo modo de realización de la invención.

En una variante particular de realización, el receptor según la invención además comprende, en cada vía de recepción, al menos una línea de retardo conectada a la salida de dichos correladores.

La invención tiene también por objeto un programa informático que incluye unas instrucciones para la ejecución del procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según la invención, cuando el programa es ejecutado por un procesador.

Surgirán mejor otras características y ventajas de la presente invención con la lectura de la descripción que sigue en relación con los dibujos adjuntos que representan:

- la figura 1, un esquema de un receptor GNSS multi-vía,
- la figura 2, un organigrama que describe las etapas de implementación de un procedimiento de calibración según un primer modo de realización de la invención,
- la figura 3, un organigrama que describe las etapas de implementación de un procedimiento de calibración según un segundo modo de realización de la invención,
- la figura 4, un esquema de un receptor GNSS multi-vía calibrado según la invención.

La figura 1 representa un esquema de un ejemplo de receptor GNSS multi-vía para el que se aplica la invención. Un receptor de ese tipo se describe en detalle en la solicitud internacional de patente publicada bajo el número WO 2012/025306.

Comprende varias vías de recepción cada una comprendiendo una antena A1, A2,... An elemental concebida para captar una o varias señales de radionavegación emitidas por uno o varios satélites. Cada vía de recepción incluye igualmente una cadena de tratamiento de radiofrecuencia (no representada en la figura 1) que comprende particularmente uno o varios filtros de conformación, uno o varios amplificadores, así como un convertidor analógico-digital. Las señales analógicas muestreadas se suministran a continuación a varios correlador(es) C11, C12,... Cm1, Cn2. Un correlador tiene como papel realizar una correlación entre la señal recibida y una versión local del código de ensanche utilizado para emitir la señal de radionavegación. Se recuerda que las señales de radionavegación son unas señales de espectro ensanchado, por ejemplo, unas señales que utilizan la técnica de ensanche del espectro CDMA (Code Division Multiple Access) en lo que se refiere a los sistemas GPS y Galileo. Se asocia un código específico a cada satélite de la constelación.

Se utilizan varios correladores C11, C12 para formar un banco de correladores en cada vía de recepción. Cada correlador del banco utiliza una versión retardada del código local, siendo el retardo múltiplo del período de muestreo de la señal.

Un correlador suministra en la salida unos puntos de correlación y los diferentes puntos de correlación suministrados por el banco de correladores permiten formar una función de correlación. La búsqueda del pico (o máximo) de esta función de correlación permite sincronizar la señal recibida sobre el código local y determinar de ese modo una información de posicionamiento por la desviación de varias medidas de pseudo-distancias entre varios satélites y el receptor.

Cada correlador puede conectarse igualmente a la salida a una o varias líneas R11m, R111, R12m, R121,... Rn1m, Rn11, Rn2m de retardo. La desviación introducida por cada línea de retardo corresponde a un múltiplo de la duración de integración de un correlador. Las líneas de retardo permiten preservar los resultados de correlación en una duración igual al número de líneas de retardo multiplicada por la duración de integración.

Los diferentes resultados de correlación se suministran finalmente a un módulo de cálculo μP que implementa el algoritmo de tratamiento de la señal que permite determinar una información de posicionamiento.

Un objetivo de la invención es proponer un procedimiento de calibración de un receptor multi-vía del tipo al descrito en la figura 1.

5 La figura 2 representa un organigrama que detalla las etapas de implementación del procedimiento de calibración según un primer modo de realización de la invención que comprende la determinación de un filtro ecualizador de banda ancha para cada vía de recepción.

Se determina para cada vía de recepción un filtro ecualizador para ser situado detrás de cada antena y detrás de la cadena de recepción de RF como se indica en la figura 4.

10 El filtro ecualizador de banda ancha determinado según la invención tiene por objetivo ecualizar las fluctuaciones y diferencias de retardos de grupo, de ganancia y de fase, en las bandas de las señales útiles, entre las diferentes vías de recepción.

15 Según una primera etapa 201, se construye, para cada vía de recepción, un vector de correlación del que cada componente es igual a un punto de correlación obtenido a la salida de un correlador de un banco de correladores. El vector de correlación comprende de ese modo las salidas de los correladores en un mismo instante. Se recuerda que cada correlador del banco realiza la correlación con un código local retardado en un múltiplo del período de muestreo.

La primera etapa 201 se realiza para cada vía de recepción considerando las señales recibidas por el receptor para uno o varios satélites.

20 En una etapa opcional 202, se analizan los vectores de correlación para identificar las señales que están afectadas por multi-trayectos procedentes de reflexiones de la señal emitida por un satélite sobre unos obstáculos, por ejemplo, unos obstáculos urbanos.

Más precisamente, si se reciben por el receptor n señales emitidas por n satélites diferentes, se analizan los vectores de correlación calculados para estas n señales con el fin de determinar si algunas de estas señales están afectadas por multi-trayectos.

25 Se pueden concebir diferentes procedimientos para identificar la presencia de multi-trayectos. De forma general, es posible comparar la forma de la función de correlación (determinada partir de uno o varios vectores de correlación) con un modelo teórico. Si la forma de la función de correlación medida difiere significativamente del modelo teórico, esto puede significar que la señal está afectada por multi-trayectos.

30 Como resultado de la etapa 202, las n señales recibidas se clasifican en dos grupos, un primer grupo de m señales (siendo m inferior o igual a n) no afectadas por multi-trayectos y un segundo grupo de $n-m$ señales afectadas por multi-trayectos. A continuación, se eliminan las señales del segundo grupo y no son tenidas en cuenta para los siguientes tratamientos.

La etapa 202 es opcional en la medida en la que es posible implementar la invención considerando que ninguna señal recibida está afectada por la presencia de multi-trayectos, por ejemplo, porque el entorno del receptor no es susceptible de provocar reflexiones de la señal sobre obstáculos.

35 El procedimiento se prosigue a continuación con dos etapas alternativas 203, 204 opcionales que tienen por objetivo no retener más que una única señal entre las m señales seleccionadas en la etapa 202.

La etapa 203 consiste en determinar, para cada una de las m señales retenidas, el ángulo de elevación del satélite emisor y posteriormente retener únicamente la señal emitida por el satélite que tiene la elevación más alta. El ángulo de elevación puede determinarse a partir de la posición del satélite obtenida con la ayuda de efemérides.

40 Alternativamente la etapa 204 consiste en retener la señal que representa la relación señal a ruido más elevada entre las m señales. La relación señal a ruido puede estimarse mediante diferentes procedimientos de tratamiento de señal, por ejemplo, a partir del procedimiento denominado de los momentos o del procedimiento "narrow wideband power ratio" aplicados a la salida del correlador "prompt". El documento "Carrier-to-Noise Algorithms", M. Petovello, págs. 20-27, Inside GNSS Ene/Feb 2010 da varios ejemplos de algoritmos de medida de la relación señal a ruido en un receptor GNSS.

Si no se ejecutan las etapas 202, 203, 204, la solución más simple consiste en seleccionar una señal entre las n señales disponibles de manera aleatoria.

50 En una etapa 205, aplicada a la señal retenida entre las n señales disponibles, se evalúa, a partir de los diferentes vectores de correlación determinados en la etapa 201, cuál es la vía de recepción que presenta el tiempo de propagación de grupo mayor, dicho de otra manera, la vía de recepción en la que la señal recibida es la más retardada. Para ello, se comparan los retardos estimados en las diferentes vías de recepción entre la señal recibida y el código generado localmente. Una manera de estimar este retardo consiste en medir, en cada vía de recepción, el instante temporal asociado al pico (o máximo) de la función de correlación y posteriormente comparar las diferentes medidas con el fin de identificar aquella que corresponde al retardo más grande. La vía de recepción así

identificada se designa en lo que sigue vía de referencia.

En una etapa 206, se determina a continuación, para cada vía de recepción, salvo la vía de referencia, un filtro ecualizador de banda ancha.

5 Este filtro tiene por función compensar las diferencias de retardo, ganancia y fase, en la banda de la señal útil, entre cada vía de recepción y la vía de referencia que corresponde a la referencia de retardos de propagación de grupo, ganancia y fase. De ese modo, en el receptor calibrado según la invención tal como se describe en la figura 4, la vía de referencia (vía 2 en la figura 4) no incluye filtro ecualizador mientras que todas las otras vías incluyen un filtro ecualizador situado entre la cadena de RF y los correladores.

10 Los coeficientes del filtro ecualizador se determinan realizando una operación de desconvolución del vector de correlación de la vía de recepción considerada mediante el vector de correlación de la vía de referencia.

Aplicando los filtros ecualizadores así determinados aguas arriba de los correladores, se obtiene, a la salida de los correladores, unos vectores de correlación sustancialmente idénticos en cada vía de recepción.

15 Si se denota por $h()$ la respuesta del filtro ecualizador a determinar, por $C()$ la respuesta de un banco de correladores y por S_r la señal recibida tomada a la salida de la cadena de RF, entonces el vector V_c de correlación obtenido aplicando el filtro ecualizador entre la cadena de RF y el banco de correladores es $V_c = C(h(S_r)) = h(C(S_r)) = h(V'_c)$ en la que V'_c es el vector de correlación obtenido sin aplicar el filtro ecualizador. Si $h(X) = X * V'_c^{-1} V_{ref}$ en la que * designa una operación de convolución, entonces se obtiene $V_c = V_{ref}$ en cada vía de recepción ecualizada.

En una variante de realización, las señales recibidas en cada vía pueden filtrarse mediante un filtro suplementario de manera que se aumente la relación señal a ruido.

20 La figura 3 representa un organigrama que detalla las etapas de implementación del procedimiento de calibración según un segundo modo de realización de la invención que comprende la determinación de un filtro ecualizador de banda estrecha para cada vía de recepción.

25 La aplicación del procedimiento de calibración de banda ancha descrito anteriormente permite ecualizar los desparejamientos entre las vías. La invención propone igualmente un procedimiento de calibración de banda estrecha que se aplica como suplemento del procedimiento de calibración de banda ancha y que permite ecualizar los residuos de ganancia y fase estática entre las diferentes vías de recepción.

El procedimiento de calibración de banda estrecha según la invención se aplica a señales medidas en un receptor que, previamente, se ha calibrado mediante el procedimiento de calibración de banda ancha según la invención.

30 De ese modo, el procedimiento descrito con el apoyo de la figura 3 puede aplicarse a medidas de correlación realizadas en un receptor del tipo al descrito en la figura 1 pero que además comprende los filtros ecualizadores obtenidos mediante aplicación del procedimiento de calibración de banda ancha descrito en la figura 2.

35 Alternativamente, es posible utilizar las mismas medidas de correlación utilizadas para el procedimiento de calibración de banda ancha, es decir unas medidas realizadas sobre el receptor del tipo de la figura 1 que no incluye ningún filtro ecualizador, y posteriormente simular el efecto de estos filtros ecualizadores sobre las medidas de correlación con el fin de generar nuevas medidas de correlación "filtradas" que pueden utilizarse como valores de entrada del procedimiento de calibración de banda estrecha.

El procedimiento de calibración de banda estrecha según la invención comprende una primera etapa 301 idéntica a la primera etapa 201 del procedimiento de calibración de banda ancha descrito en la figura 2.

40 Dicho de otro modo, esta etapa 301 consiste en construir, para cada vía de recepción, un vector de correlación del que cada componente es igual a un punto de correlación obtenido a la salida de un correlador de un banco de correladores. La primera etapa 301 se realiza para cada vía de recepción considerando las señales recibidas por el receptor para uno o varios satélites. Como se indica, los vectores de correlación se obtienen por medida en un receptor que comprende unos filtros ecualizadores de banda ancha o a partir de medidas de correlación realizadas en un receptor no calibrado en los que se simula la influencia de los filtros ecualizadores de banda ancha.

45 Una etapa 302, idéntica a la etapa 202 del procedimiento de calibración de banda ancha, puede aplicarse opcionalmente a continuación.

Según esta etapa 302, se analizan los vectores de correlación para identificar las señales que están afectadas por multi-trayectos procedentes de reflexiones de la señal emitida por un satélite sobre unos obstáculos, por ejemplo, unos obstáculos urbanos.

50 Se pueden concebir diferentes procedimientos para identificar la presencia de multi-trayectos. De forma general, es posible comparar la forma de la función de correlación (determinada partir de uno o varios vectores de correlación) con un modelo teórico. Si la forma de la función de correlación medida difiere significativamente del modelo teórico, esto puede significar que la señal está afectada por multi-trayectos.

Como resultado de la etapa 302, se retienen las señales que no están afectadas por multi-trayectos. Se denota como N_s el número de estas señales retenidas. Este número es al menos igual a dos.

5 En una etapa 303, se construye, para cada señal retenida indexada por k , una matriz R_k de intercorrelación espacial del receptor.

La matriz R_k de intercorrelación espacial puede determinarse a partir de los vectores de correlación de las diferentes vías de recepción. Más precisamente, cada componente de la matriz de intercorrelación puede corresponder al producto escalar entre dos vectores de correlación (o entre un subconjunto de los componentes de los vectores de correlación) asociados a dos vías de recepción diferentes.

10 Con el fin de disminuir el nivel de ruido que impacta en los valores de la matriz de intercorrelación y de obtener una matriz de pleno rango, Se pueden aprovechar las líneas de retardo del receptor GNSS situadas detrás de los correladores (véase la figura 1) para calcular varias matrices de intercorrelación en diferentes instantes sucesivos y posteriormente calcular la media de las matrices de intercorrelación determinadas.

15 En una etapa 304, se determina, para cada señal asociada a un satélite emisor diferente, la dirección teórica de llegada de la señal, dicho de otra manera, la dirección teórica entre la referencia fijada a la red de antena del receptor y el satélite. Esta dirección teórica puede determinarse mediante un par de ángulo de azimut y de ángulo de elevación $(\hat{\theta}_k, \hat{\varphi}_k)$ o mediante cualquier otro par de ángulos que permitan identificar una dirección de llegada de una señal. La dirección teórica puede determinarse a partir de las coordenadas del satélite que se obtienen gracias, por ejemplo, a unas efemérides. La determinación de la dirección teórica de llegada de la señal necesita igualmente una transposición de la dirección determinada a partir de las coordenadas del satélite, que se expresan en una referencia fija con relación a la Tierra, hacia una referencia vinculada al receptor y más precisamente a la red de antenas que incluye el receptor. Este cambio de referencia necesita una estimación de la actitud de la red de antenas. La actitud puede expresarse con ayuda de tres ángulos.

25 Según una variante de realización de la invención, en el caso de que la actitud de la red de antenas no sea conocida, es posible tomar diversas hipótesis a priori sobre el valor de la actitud e integrar este dato como una variable de la función de coste determinada en la etapa siguiente 305. Se explicará este punto más en detalle en lo que sigue.

En una etapa 305, se determina una función Q de coste representativa del error entre las direcciones estimadas de llegada de las señales y las direcciones teóricas de llegada de las señales.

30 La función Q de coste puede determinarse como la suma de las funciones Q_k de coste asociadas a cada señal procedente de un satélite de índice k .

Una función Q_k de coste depende de la matriz de intercorrelación espacial calculada en la etapa 304 y más precisamente de la inversa de esta matriz. Depende igualmente de los coeficientes de los filtros ecualizadores de banda estrecha determinados finamente mediante el procedimiento de calibración de banda estrecha. Estos coeficientes pueden reagruparse en una matriz diagonal r . Un coeficiente complejo de ecualización está así destinado a aplicarse en cada vía de recepción, preferentemente aguas arriba de los correladores. Los coeficientes complejos de ecualización, que forman el filtro de ecualización de banda estrecha según la invención, están dirigidos a corregir los errores cometidos sobre la estimación de las direcciones de llegada de las señales debido a defectos residuales en el emparejamiento de las vías de recepción. Finalmente, la función Q_k de coste depende del vector direccional $\mathbf{a}(\hat{\theta}_k, \hat{\varphi}_k)$ de la red de antenas del receptor GNSS que comprende las amplitudes y los desfases relativos de las señales recibidas para cada antena de la red con relación a una antena de la red tomada como referencia, en función de la dirección de la señal recibida.

La función Q_k de coste puede tomar la siguiente forma: $Q_k = \mathbf{a}(\hat{\theta}_k, \hat{\varphi}_k)^H \mathbf{\Gamma}^H \mathbf{R}_k^{-1} \mathbf{\Gamma} \mathbf{a}(\hat{\theta}_k, \hat{\varphi}_k)$ en la que el exponente H designa el operador traspuesto conjugado. La función de coste global Q viene dada por la relación

$$45 \quad Q = \sum_{k=1}^{N_s} \mathbf{a}(\hat{\theta}_k, \hat{\varphi}_k)^H \mathbf{\Gamma}^H \mathbf{R}_k^{-1} \mathbf{\Gamma} \mathbf{a}(\hat{\theta}_k, \hat{\varphi}_k)$$

Cualquier variante de cálculo de la función de coste introducida anteriormente entra en el perímetro de la invención en la medida en que es representativa del error entre las direcciones estimadas de llegada de las señales y las direcciones teóricas de llegada de las señales. Las direcciones estimadas de llegada de las señales se determinan teniendo en cuenta un filtro de ecualización de banda estrecha aplicado a cada vía de recepción y que comprende un único coeficiente complejo que permite compensar la ganancia y la fase de la señal recibida en cada vía de manera que corrige la dirección estimada de llegada de la señal con relación a la dirección teórica determinada a partir de las posiciones conocidas de los satélites.

La función Q de coste determinada a la salida de la etapa 305 tiene como incógnitas los coeficientes de ecualización de banda estrecha aplicados a cada vía de recepción y formalizados por la matriz diagonal r .

55 Según una variante de realización de la invención introducida anteriormente, si la actitud de la red de antenas del receptor GNSS no es conocida y no es posible determinarla, entonces el vector direccional $\mathbf{a}(\theta_k, \varphi_k)$ puede incluir la

actitud de la red de antenas en tanto que parámetro.

En una etapa 306, se buscan los valores de los coeficientes de ecualización de banda estrecha que permiten minimizar la función Q de coste determinada a la salida de la etapa 305.

5 Reescribiendo la matriz diagonal Γ en la forma de un vector columna k , la función de coste puede ponerse en la forma más ventajosa:

$$Q = k^H \left[\sum_{k=1}^{Ns} \text{diag}(\mathbf{a}(\hat{\theta}_k, \hat{\varphi}_k))^H \mathbf{R}_k^{-1} \text{diag}(\mathbf{a}(\hat{\theta}_k, \hat{\varphi}_k)) \right] k = k^H \mathbf{Z} k$$

El problema de minimizado de la función Q de coste se convierte en minimizar el término $k^H \mathbf{Z} k$ bajo la restricción $k_1 = 1$ en la que k_1 designa el primer término del vector k . Esta restricción es necesaria para evitar la solución trivial $k = 0$. Resolviendo este problema de optimización cuadrático de restricción lineal, se obtiene la solución:

$$\hat{k} = \frac{\mathbf{Z}^{-1} \mathbf{w}}{\mathbf{w}^H \mathbf{Z}^{-1} \mathbf{w}} \text{ con } \mathbf{w} = [1 \ 0 \ \dots \ 0]^T$$

$$Q_{\min} = \frac{1}{\mathbf{w}^H \mathbf{Z}^{-1} \mathbf{w}}$$

10 Según una variante de realización de la invención introducida anteriormente, si la actitud de la red de antenas del receptor no es conocida, se añade a las incógnitas de la función de coste y se considera como parámetro suplementario en el minimizado de la función de coste. Por ejemplo, la etapa 306 descrita anteriormente puede repetirse para varias hipótesis de actitud de la red de antenas tomadas en un intervalo de variación de actitud predeterminado. Para cada hipótesis de actitud, se determina el mínimo Q_{\min} de la función de coste, así como el vector de ecualización k que permite obtener este mínimo. A continuación, se efectúa una etapa suplementaria de búsqueda del mínimo entre los mínimos Q_{\min} y se retiene finalmente el mínimo Q_{\min} de la función de coste entre los mínimos calculados para cada hipótesis de actitud y el vector de ecualización asociado.

15 El procedimiento de calibración según el primer o segundo modo de realización de la invención puede implementarse en tanto que programa informático que incluye instrucciones para su ejecución. El programa informático según la invención toma en la entrada unos puntos de medida realizados a la salida de los correladores de un receptor GNSS tal como se ha explicado anteriormente. El programa informático según la invención suministra a la salida los coeficientes de los filtros de ecualización de banda ancha y/o de los filtros de ecualización de banda estrecha. El programa informático puede registrarse en un soporte de registro legible por un procesador. El soporte puede ser electrónico, magnético, óptico o electromagnético.

La figura 4 representa un esquema de un receptor GNSS multi-vía modificado según la invención.

25 El receptor descrito en la figura 4 incluye los mismos elementos que el receptor de la figura 1. Según una primera variante de la invención, además incluye, en cada vía de recepción salvo una, un filtro $\text{FIR}_1, \text{FIR}_n$ de ecualización de banda ancha. En el ejemplo de la figura 4, la vía de recepción número dos es la vía de referencia. Los filtros $\text{FIR}_1, \text{FIR}_n$ de ecualización de banda ancha se determinan mediante el procedimiento de calibración de banda ancha según la invención tal como se ha descrito con el apoyo de la figura 2.

30 Los filtros $\text{FIR}_1, \text{FIR}_n$ de ecualización de banda ancha se posicionan, como se indica en la figura 4, entre las cadenas de RF y los correladores de cada vía de recepción.

Los filtros $\text{FIR}_1, \text{FIR}_n$ de ecualización de banda ancha pueden implementarse por medio de filtros de respuesta a impulsos finita que incluyen un número de coeficientes inferior al número de correladores.

35 Según una segunda variante de la invención, el receptor GNSS multi-vía además incluye, no solamente los filtros $\text{FIR}_1, \text{FIR}_n$ de ecualización de banda ancha descritos anteriormente sino igualmente un filtro G_1, G_2, G_n de ecualización de banda estrecha en cada vía de recepción (comprendida en ellas la vía de referencia). Los filtros G_1, G_2, G_n de ecualización de banda estrecha se determinan mediante el procedimiento de calibración de banda estrecha según la invención tal como se describe con el apoyo de la figura 3.

40 Los filtros G_1, G_2, G_n de ecualización de banda estrecha pueden posicionarse, como se indica en la figura 4, entre los filtros de ecualización de banda ancha y los correladores de cada vía de recepción. Alternativamente, pueden posicionarse igualmente a la salida de los bancos de correladores de cada vía.

Los filtros G_1, G_2, G_n de ecualización de banda estrecha se implementan por medio de un multiplicador complejo, es decir que asigna una ganancia de amplitud y un desfase a las señales recibidas en cada vía.

45 Los diferentes filtros de ecualización, así como los diferentes elementos que componen el receptor GNSS según la invención pueden implementarse mediante unos medios de hardware y/o software. En particular, el receptor GNSS en su conjunto o cada elemento del receptor puede implementarse mediante un dispositivo que comprende un

procesador y una memoria. El procesador puede ser un procesador genérico, un procesador específico, un circuito integrado de aplicación específica (conocido también bajo el nombre inglés de ASIC por "Application-Specific Integrated Circuit") o una matriz de puertas programable en campo (conocida también bajo el nombre inglés de FPGA por "Field-Programmable Gate Array").

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite, comprendiendo dicho receptor una pluralidad de vías de recepción comprendiendo, cada una, una antena (A1, A2,... An) de recepción y una pluralidad de correladores (C11, C12,... Cn1, Cn2) para correlacionar la señal recibida por la antena con un código local retardado con un retardo parametrizable, comprendiendo dicho procedimiento de calibración la determinación, mediante un procesador, de al menos un filtro (FIR1, FIR2,... FIRn) ecualizador de banda ancha destinado a ser aplicado entre la antena de recepción y los correladores de cada vía de recepción, obteniéndose dichos filtros ecualizadores de banda ancha mediante las siguientes etapas:
- construir (201), para cada vía de recepción, un vector de correlación que comprende los puntos de correlación obtenidos simultáneamente a la salida de dichos correladores,
 - determinar (205), a partir de la función de correlación del código local con la señal recibida, estimada, para cada vía de recepción, a partir de los vectores de correlación, la vía de recepción, denominada vía de referencia, para la que la señal recibida es la que tiene más en retardo con relación al código local,
 - determinar (206), para cada vía de recepción salvo la vía de referencia, el filtro ecualizador de banda ancha calculando la desconvolución del vector de correlación de dicha vía de recepción por el vector de correlación de la vía de referencia.
2. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según la reivindicación 1 que comprende previamente la búsqueda y la retención (202), entre las señales recibidas por dichos receptores y procedentes de varios satélites, de aquellas que no están afectadas por la presencia de trayectos múltiples de la señal y la selección de una señal entre estas retenidas.
3. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según la reivindicación 2 que comprende la búsqueda y la selección (203), entre las señales retenidas, de la señal emitida por el satélite que tiene la elevación más alta entre los satélites emisores de las señales recibidas por dicho receptor.
4. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según la reivindicación 2 que comprende la búsqueda y la selección (204), entre las señales retenidas, de la señal que representa la relación señal a ruido más elevada.
5. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según una de las reivindicaciones anteriores que comprende una etapa de filtrado de las salidas de dichos correladores para disminuir el ruido de medida.
6. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según una de las reivindicaciones anteriores que comprende la determinación de un filtro (G₁, G₂,... G_n) ecualizador de banda estrecha que comprende un coeficiente complejo destinado a aplicarse a la señal filtrada mediante el filtro (FIR1, FIR2,... FIRn) ecualizador de banda ancha sobre cada vía de recepción, obteniéndose dicho filtro ecualizador de banda estrecha mediante las siguientes etapas:
- para cada señal recibida procedente de un satélite distinto y para cada vía de recepción, filtrar el vector de correlación mediante el filtro ecualizador de banda ancha,
 - determinar (303), para cada señal recibida procedente de un satélite distinto, una matriz R_k de intercorrelación espacial a partir de los vectores de correlación de cada vía de recepción,
 - determinar (304), para cada señal recibida procedente de un satélite distinto, la dirección de llegada teórica de la señal recibida a partir de la posición del satélite,
 - determinar (305) una función Q de coste representativa del error global entre las direcciones de llegada estimadas y las direcciones de llegada teóricas de las señales recibidas, determinándose una dirección de llegada estimada a partir de la matriz R_k de intercorrelación espacial y del coeficiente complejo del filtro ecualizador de banda estrecha aplicado a la señal recibida,
 - buscar (306), para cada vía de recepción, los valores de los coeficientes complejos que permiten minimizar la función Q de coste.
7. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite, comprendiendo dicho receptor una pluralidad de vías de recepción comprendiendo, cada una, una antena (A1, A2,... An) de recepción, una pluralidad de correladores (C11, C12,... Cn1, Cn2) para correlacionar la señal recibida por la antena con un código local retardado con un retardo parametrizable y un filtro (FIR1, FIR2,... FIRn) ecualizador de banda ancha, obtenido mediante la ejecución del procedimiento de calibración según una de las reivindicaciones 1 a 5 y aplicado entre la antena de recepción y los correladores de cada vía de recepción, comprendiendo dicho procedimiento de calibración la determinación de un filtro (G₁, G₂,... G_n) ecualizador de banda estrecha que comprende un coeficiente complejo destinado a aplicarse a la señal filtrada por el filtro (FIR1, FIR2,... FIRn) ecualizador de banda ancha sobre cada vía de recepción, obteniéndose dicho filtro ecualizador de banda estrecha mediante las siguientes etapas:
- determinar (303), para cada señal recibida procedente de un satélite distinto, una matriz R_k de intercorrelación espacial a partir de los vectores de correlación de cada vía de recepción,
 - determinar (304), para cada señal recibida procedente de un satélite distinto, la dirección de llegada teórica de

- la señal recibida a partir de la posición del satélite,
- determinar (305) una función Q de coste representativa del error global entre las direcciones de llegada estimadas y las direcciones de llegada teóricas de las señales recibidas, determinándose una dirección de llegada estimada a partir de la matriz R_k de intercorrelación espacial y del coeficiente complejo del filtro ecualizador de banda estrecha aplicado a la señal recibida,
 - buscar (306), para cada vía de recepción, los valores de los coeficientes complejos que permiten minimizar la función Q de coste.
- 5
8. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según una de las reivindicaciones 6 o 7, en el que la matriz R_k de intercorrelación espacial se promedia sobre varios instantes consecutivos.
- 10
9. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según una de las reivindicaciones 6 a 8 en el que las direcciones de llegada de las señales recibidas se trasponen a una referencia vinculada a las antenas de recepción a partir de la actitud del receptor.
- 15
10. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según la reivindicación 9 en el que la actitud del receptor se integra como parámetro de la función Q de coste y el procedimiento además comprende la búsqueda (306) del valor de la actitud al receptor que permite minimizar la función Q de coste.
11. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según una de las reivindicaciones 6 a 10 en el que la función Q de coste depende de los vectores direccionales $a(\theta_k, \varphi_k)$ de las antenas de recepción del receptor calculados en las direcciones de llegada teóricas de las señales recibidas.
- 20
12. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según una de las reivindicaciones 6 a 11 en el que la función Q de coste se obtiene sumando varias funciones de coste, cada una, representativa del error entre la dirección de llegada estimada y la dirección de llegada teórica de una señal recibida procedente del satélite.
- 25
13. Procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según una de las reivindicaciones 6 a 12 en el que la función Q de coste viene dada por la relación $Q = \sum_{k=1}^{N_s} \mathbf{a}(\widehat{\theta}_k, \widehat{\varphi}_k)^H \Gamma^H \mathbf{R}_k^{-1} \Gamma \cdot \mathbf{a}(\widehat{\theta}_k, \widehat{\varphi}_k)$ siendo N_s el número de señales recibidas procedentes de distintos satélites, \mathbf{R}_k^{-1} es la inversa de la matriz de intercorrelación espacial, Γ es una matriz diagonal cuyos componentes son los coeficientes complejos de los filtros de ecualización de banda estrecha en cada vía de recepción y H es el operador transpuesto conjugado.
- 30
14. Receptor de señales de navegación por satélite que comprende una pluralidad de vías de recepción comprendiendo, cada una, una antena (A1, A2,... An) de recepción, una pluralidad de correladores (C11, C12,... Cn1, Cn2) para correlacionar la señal recibida por la antena con un código local retardado con un retardo parametrizable y un filtro (FIR1, FIR2,... FIRn) ecualizador de banda ancha, dispuesto entre la antena de recepción y dichos correladores y obtenido mediante la ejecución del procedimiento de calibración según una de las reivindicaciones 1 a 5.
- 35
15. Receptor de señales de navegación por satélite según la reivindicación 14 que además comprende, en cada vía de recepción, un filtro (G1, G2,... Gn) ecualizador de banda estrecha de un coeficiente complejo, dispuesto entre la salida del filtro ecualizador de banda ancha y la entrada de dichos correladores y obtenido mediante la ejecución del procedimiento de calibración según una de las reivindicaciones 6 a 13.
- 40
16. Receptor de señales de navegación por satélite según la reivindicación 15 que además comprende, en cada vía de recepción, al menos una línea (R11m, R111, R12m, R121,... Rn1m, Rn11, Rn2m, Rn21) de retardo conectada a la salida de dichos correladores.
- 45
17. Programa informático que incluye instrucciones para la ejecución del procedimiento de calibración de un receptor de señales de navegación por satélite según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, cuando el programa es ejecutado por un procesador.

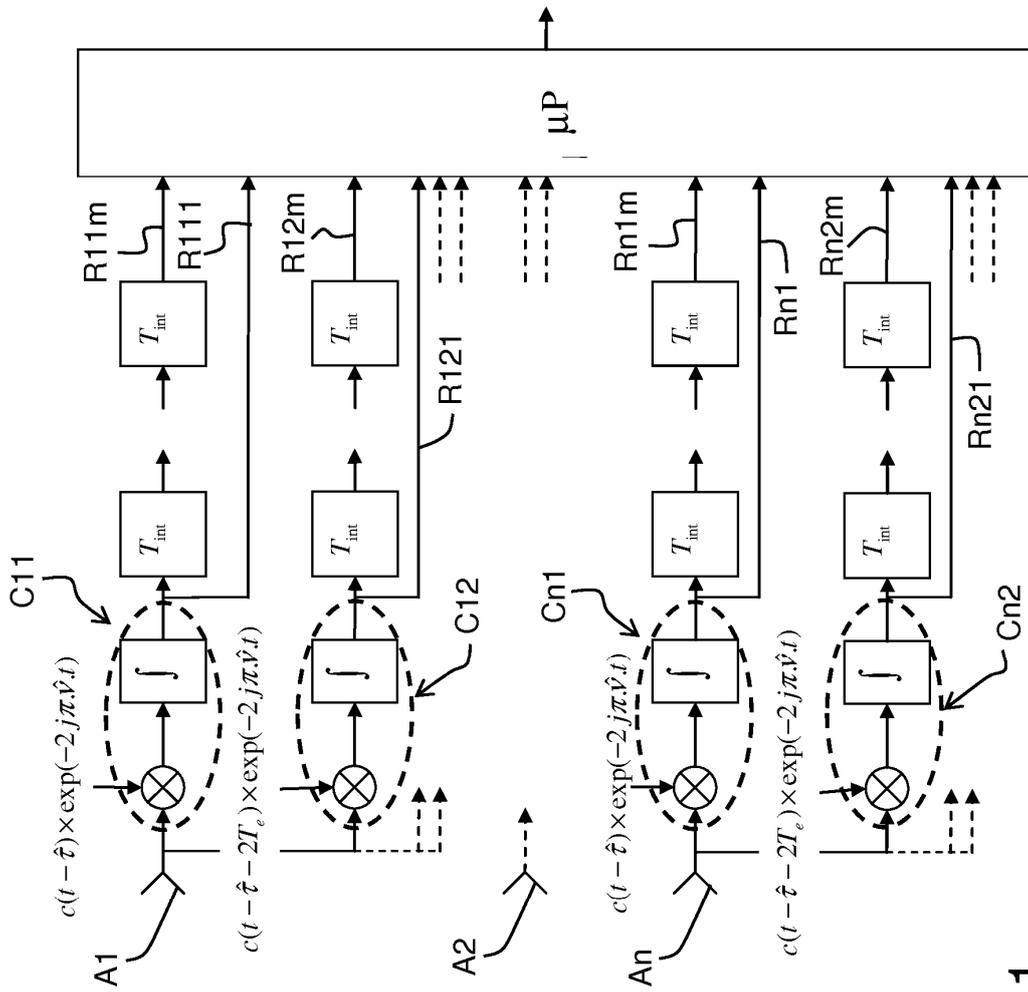


FIG.1

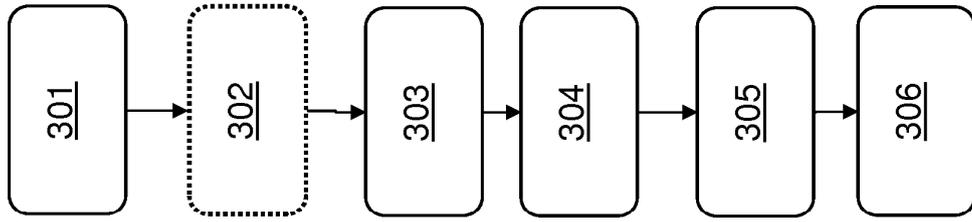


FIG.3

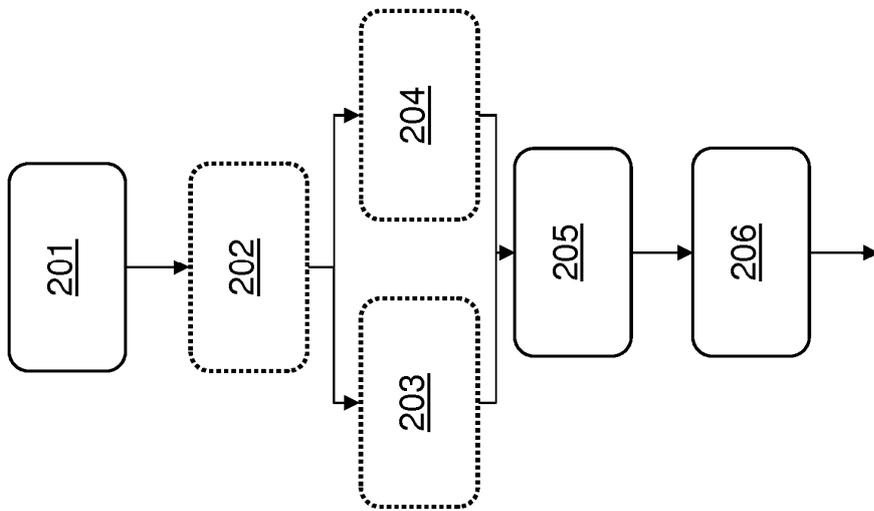


FIG.2

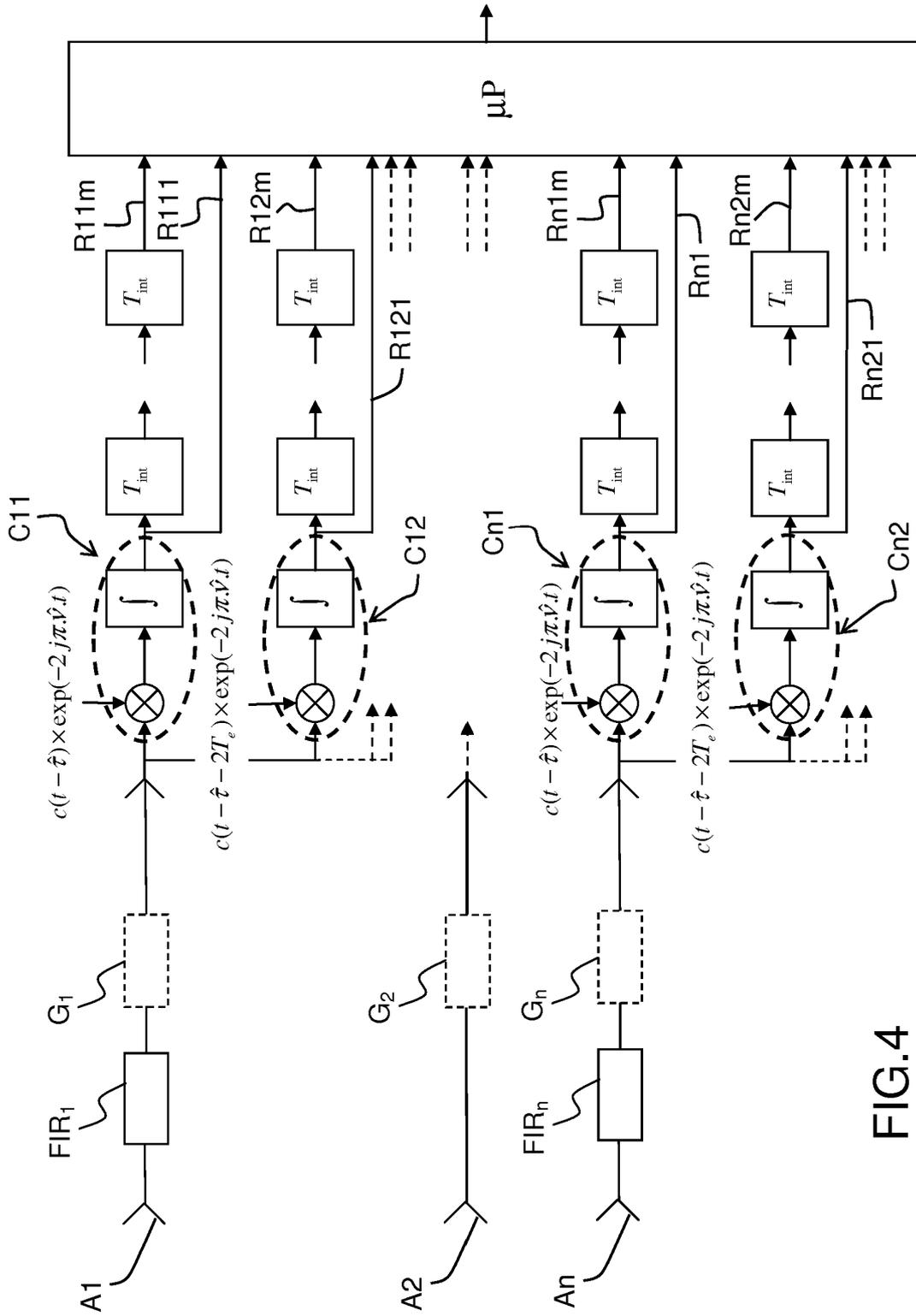


FIG.4