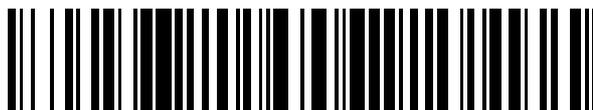


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 592 858**

51 Int. Cl.:

G01S 19/24 (2010.01)

G01S 19/29 (2010.01)

G01S 19/30 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.04.2013 E 13290093 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.08.2016 EP 2796896**

54 Título: **Método y dispositivo para seguimiento de señales con al menos una subportadora**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.12.2016

73 Titular/es:

**AIRBUS DS GMBH (100.0%)
Robert-Koch-Str. 1
82024 Taufkirchen, DE**

72 Inventor/es:

**WENDEL, JAN;
SCHUBERT, FRANK;
FLOCH, JEAN-JACQUES y
SOUALLE, FRANCIS**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 592 858 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

Método y dispositivo para seguimiento de señales con al menos una subportadora

Campo técnico

5 El presente documento se refiere a la recepción de señales moduladas sobre subportadora, por ejemplo señales moduladas sobre portadora de desplazamiento binario (en inglés, "Binary Offset Carrier", BOC). En particular, el presente documento se refiere al seguimiento de señales de navegación moduladas sobre subportadora, en un sistema mundial de navegación por satélite (en inglés, "Global Navigation Satellite System", GNSS).

Antecedentes

10 En los sistemas GNSS de nueva generación se utilizará la modulación sobre portadora de desplazamiento binario (BOC) y la modulación sobre portadora de desplazamiento binario multiplexada (MBOC). Son ejemplos de tales señales moduladas BOC o MBOC la señal abierta Galileo E1, una señal CBOC(6,1,1/11) (es decir, una señal BOC compuesta que utiliza una subportadora coseno), las señales Galileo PRS (siglas inglesas de "servicio regulado público") en E1 y E6, una señal BOC(15,2.5) y una señal BOC(10,5), respectivamente, y el código M de GPS (siglas inglesas de "sistema de posicionamiento global"), que corresponde a una señal BOC(10,5). En términos más
15 generales, a las señales mencionadas en lo que antecede se las puede denominar "señales moduladas sobre subportadora". Estas señales moduladas sobre subportadora comprenden una señal portadora, que está modulada con un código de ruido pseudoaleatorio (en inglés, "Pseudo-Random Noise", PRN) y que está modulada adicionalmente con una o más subportadoras. Además, sobre la señal portadora se pueden modular o no datos de mensaje de navegación.

20 Una señal modulada BOC sin la modulación sobre subportadora corresponde a una señal BPSK (siglas inglesas de "clavisaje por desplazamiento de fase binaria") utilizada para el SPS (siglas inglesas de "sistema de posicionamiento normalizado") de GPS, que presenta una función de autocorrelación triangular. La Figura 1a muestra una señal subportadora ilustrativa 101, 102 que tiene una duración $T_s = \frac{1}{2f_s}$ de símbolo de subportadora, en donde f_s es la

tasa de subportadora. La Figura 1a también ilustra la duración $T_c = \frac{1}{f_c}$ de símbolo de un símbolo del código PRN
25 (en donde f_c es la tasa de código), aunque en esta Figura no se muestra propiamente la señal de código PRN. En el ejemplo ilustrado, la tasa f_s de subportadora tiene una cuantía doble que la tasa f_c de código, y a la señal BOC resultante se la denomina señal BOC(2m,m) (basándose en la notación BOC(m,n), donde las frecuencias respectivas vienen dadas por $f_s = m \cdot 1,023$ MHz, $f_c = n \cdot 1,023$ MHz). A la tasa de código f_c se la puede denominar también "tasa de chip", y a un símbolo del código PRN (que tiene una duración T_c de símbolo de código) se le
30 puede denominar "chip". La propia subportadora 101, 102 tiene una función 103 de autocorrelación en forma de dientes de sierra como se muestra en la Figura 1a. La función 113 de autocorrelación de una señal BOC viene dada aproximadamente por la multiplicación de una función triangular 123 de autocorrelación de código PRN con la función 103 de autocorrelación de subportadora. Por lo tanto, esta función 113 de autocorrelación tiene múltiples picos, como se muestra en la Figura 1b.

35 La función 113 de autocorrelación que tiene múltiples picos presenta ventajas e inconvenientes: el pico principal 114 de la función 113 de autocorrelación es significativamente más estrecho que el pico único de la función 123 de autocorrelación de la señal BPSK correspondiente. Esto ofrece la posibilidad de una mayor precisión de seguimiento, es decir, menor fluctuación de fase de código y mejores prestaciones en trayectos múltiples. En particular, esto se puede utilizar para determinar (es decir, seguir) un retardo de transmisión de las señales BOC con precisión acrecentada. Después se puede utilizar el retardo de transmisión de la señal BOC para determinar la
40 posición de un receptor GNSS.

Por otro lado, un bucle de seguimiento puede engancharse en un pico lateral 115 en lugar de en el pico principal 114. Si no se detecta y se corrige el enganche en un pico lateral 115, se producen errores sistemáticos en las
45 medidas de pseudodistancia, que a su vez conducen a errores de posición. Para una señal modulada BOCcos(15,2.5) (también denominada BOC(15,2.5)), es decir, una señal modulada BOC que utiliza una subportadora que está desplazada en fase en una cuantía de 90 grados con respecto al código PRN, un enganche erróneo en el primer pico lateral 115 conduce a un error de pseudodistancia de aproximadamente 10 metros, y para una señal modulada BOCcos(10,5), este error es de aproximadamente 15 metros. Sin embargo, también es posible que un bucle de seguimiento se enganche en un pico lateral 115 más alejado del pico principal 114, de manera que
50 el error resultante es un múltiplo del error de un enganche erróneo en el primer pico lateral 115.

Se han descrito distintas técnicas para el seguimiento de señales moduladas BOC, por ejemplo, la técnica de "salto de baches" (en inglés, "Bump Jumping"), un método de cancelación de lóbulos laterales, técnicas similares a la BPSK, un discriminador de retardo de múltiples puertas, y una técnica de estimador doble. Estas técnicas presentan
55 diversos inconvenientes, por ejemplo una complejidad de cálculo incrementada y/o tiempos de espera elevados para determinar una estimación de retardo (y posición) fiable.

El documento US2010/104046A1 se refiere a la recepción de señales moduladas sobre portadora de desplazamiento binario (BOC) y señales similares, particularmente en un sistema mundial de navegación por satélite (GNSS). Para eliminar los inconvenientes del denominado "enganche erróneo" (o "falso") de BOC, cuando puertas adelantadas/retrasadas se enganchan en un pico incorrecto de la función de correlación que presenta múltiples picos, se propone eliminar dicha correlación. En lugar de ello, se realiza de manera independiente un seguimiento de correlación bidimensional, para realizar una estimación dual. Se utiliza una estimación inambigua de menor precisión, derivada de la fase de código, para realizar una corrección de entero a una estimación independiente de mayor precisión, pero ambigua, basada en la fase de subportadora.

En el presente documento se describe un método alternativo de seguimiento (y un correspondiente sistema de seguimiento) para señales moduladas sobre subportadora, por ejemplo señales BOC, MBOC y/o CBOC. El método y el sistema descritos aprovechan plenamente la precisión de la subportadora, al tiempo que resuelven de forma fiable la ambigüedad de la subportadora. Además, el método y el sistema descritos se pueden implementar con una complejidad computacional reducida en comparación con métodos de seguimiento conocidos, disminuyendo así los costes de *hardware*.

Compendio

Según un aspecto, se describe un sistema configurado para determinar una estimación $\hat{\tau}$ de retardo de un retardo sufrido por una señal de navegación. La señal de navegación puede haber sido transmitida por un transmisor que se encuentre, por ejemplo, dentro de un satélite. Debe señalarse, sin embargo, que el sistema y el método descritos en el presente documento también son aplicables a la determinación de estimaciones de retardo de otras señales de navegación (por ejemplo, señales de navegación con base terrestre). En el trayecto de transmisión entre el transmisor y el sistema receptor, la señal de navegación puede sufrir un retardo τ , y el sistema receptor está configurado para estimar este retardo τ , por ejemplo para determinar la posición del sistema receptor.

El sistema puede comprender un receptor de radiofrecuencia (RF) configurado para recibir una señal de RF, un conversor analógico a digital (en inglés, "Analog-to-Digital Converter", ADC) configurado para convertir del dominio analógico al dominio digital la señal de RF recibida, y un conversor descendente configurado para transponer, desde un rango de frecuencias de transmisión a un rango reducido de frecuencias intermedias (en inglés, "Intermediate Frecuencias", IF) o a un rango de frecuencia de banda de base, la señal de RF recibida. En sí, la señal de navegación puede corresponder a una versión digital, convertida descendentemente, de la señal de RF recibida. En otras palabras, la señal de navegación puede ser indicativa de la señal recibida, convertida descendentemente a una banda de base o a una frecuencia intermedia. La señal de navegación puede comprender una secuencia de muestras complejas.

La señal de navegación puede ser indicativa de una señal portadora modulada con una señal de código y modulada con una señal subportadora. En particular, la señal de navegación puede ser indicativa de una fase ϕ de la señal portadora. A la señal de navegación también se la denomina en el presente documento "señal de entrada al sistema". La señal de código puede tener una tasa f_c de código y una duración $T_c = 1/f_c$ de símbolo de código. La señal subportadora puede tener una tasa f_s de subportadora y una duración $T_s = 1/(2f_s)$ de símbolo de subportadora. La tasa f_s de subportadora puede ser mayor que la tasa f_c de código. La señal portadora puede estar modulada en fase con la señal de código y con la señal subportadora. En un ejemplo, la señal de código y la señal subportadora forman una portadora de desplazamiento binario (BOC) o una BOC multiplexada (MBOC) o una BOC compuesta (CBOC), de manera que la señal de navegación es indicativa de una señal portadora modulada BOC, MBOC o CBOC.

El sistema comprende una unidad de generación de señal "adelantada-retrasada" (en inglés, "Early-Late") configurada para generar una señal EP, una señal LP, una señal PE y una señal PL basándose en la señal de código, basándose en la señal subportadora y basándose en una primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo. En particular, se pueden generar la señal EP, la señal LP, la señal PE y la señal PL basándose en una réplica de la señal de código y basándose en una réplica de la señal subportadora. La unidad de generación de señal adelantada-retrasada (también denominada en el presente documento "segunda unidad de oscilador") se puede implementar como, o puede comprender, un oscilador controlado numéricamente (en inglés, "Numerically Controlled Oscillator, NCO). En particular, la unidad de generación de señal adelantada-retrasada puede comprender un único NCO configurado para generar de forma conjunta las señales antes mencionadas. En otras palabras, la unidad de generación de señal adelantada-retrasada puede estar configurada para generar la señal EP, la señal LP, la señal PE y la señal PL (así como una señal PP que se describirá más adelante), basándose en una sola y/o única estimación de retardo (es decir, basándose en la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo). En sí, el componente de señal de código y el componente de señal subportadora comprendidos dentro de la señal EP, la señal LP, la señal PE, la señal PP y la señal PL, respectivamente, pueden tener una relación de fase fija o de retardo entre sí. Como se verá a grandes rasgos más adelante, esta relación de fase fija o de retardo puede venir dada por un tiempo de separación fijo.

También se pueden denominar "réplicas" a la señal EP, la señal LP, la señal PE y la señal PL, ya que se pueden considerar réplicas (o réplicas desplazadas) de la señal modulante utilizada para modular la señal portadora en el transmisor correspondiente. También se puede denominar "estimación de retardo ambigua" a la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, ya que la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo puede ser indicativa del retardo τ de la señal de navegación,

aparte de un desplazamiento de retardo que puede abarcar un número predeterminado de valores discretos y/o separados a distancias iguales. En particular, el desplazamiento de retardo puede corresponder a un múltiplo entero de la duración T_s de símbolo de la señal subportadora.

5 Se puede generar la señal EP basándose en la señal de código, retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, y basándose en la señal subportadora, retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y adelantada en la cuantía de un primer tiempo de separación de subportadora. En particular, se puede generar la señal EP mediante la modulación de la señal subportadora, que ha sido retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y adelantada en la cuantía del primer tiempo de separación de subportadora, con la señal de código, que ha sido retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo.

10 Se puede generar la señal LP basándose en la señal de código, retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, y basándose en la señal subportadora, retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y retrasada más aún en la cuantía de un segundo tiempo de separación de subportadora. En particular, se puede generar la señal LP mediante la modulación de la señal subportadora, que ha sido retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y retrasada más aún en la cuantía de un segundo tiempo de separación de subportadora, con la señal de código, que ha sido retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo.

15 Se puede generar la señal PE basándose en la señal de código, retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y adelantada en la cuantía un primer tiempo de separación de código, y basándose en la señal subportadora, retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo. En particular, se puede generar la señal PE mediante la modulación de la señal subportadora, que ha sido retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, con la señal de código, que ha sido retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y que ha sido adelantada en la cuantía del primer tiempo de separación de código.

20 Se puede generar la señal PL basándose en la señal de código, retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y retrasada en la cuantía de un segundo tiempo de separación de código, y la señal subportadora, retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo. En particular, se puede generar la señal PL mediante la modulación de la señal subportadora, que ha sido retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, con la señal de código, que ha sido retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y que ha sido retrasada aún más en la cuantía del segundo tiempo de separación de código.

	Señal EP	Señal LP	Señal PP	Señal PE	Señal PL
señal de código	$\tilde{\tau}$	$\tilde{\tau}$	$\tilde{\tau}$	$\tilde{\tau} - T_{C1}$	$\tilde{\tau} + T_{C2}$
señal subportadora	$\tilde{\tau} - T_{S1}$	$\tilde{\tau} + T_{S2}$	$\tilde{\tau}$	$\tilde{\tau}$	$\tilde{\tau}$

30 Tabla 1

La Tabla 1 proporciona una vista general de retardos ilustrativos aplicados a la señal de código y/o a la señal subportadora para generar la señal EP, la señal LP, la señal PE, la señal PP y/o la señal PL, respectivamente. T_{S1} corresponde al primer tiempo de separación de subportadora, T_{S2} corresponde al segundo tiempo de separación de subportadora, T_{C1} corresponde al primer tiempo de separación de código y T_{C2} corresponde al segundo tiempo de separación de código. Se puede observar que la diferencia de fase o de retardo entre el componente de señal de código y el de señal subportadora dentro de la señal EP, la señal LP, la señal PE, la señal PP y/o la señal PL, respectivamente, o bien es cero (para la señal PP) o bien está dada por uno de los tiempos de separación fijos. La diferencia de fase o de retardo no varía ni fluctúa.

40 La suma del primer tiempo de separación de código y el segundo es típicamente menor que la duración T_C de símbolo de la señal de código. Además, el primer tiempo de separación de código y el segundo pueden ser iguales. De manera similar, la suma del primer tiempo de separación de subportadora y el segundo es típicamente menor que la duración T_s de símbolo de la señal subportadora. Además, el primer tiempo de separación de subportadora y el segundo pueden ser iguales.

45 Como se ha indicado más arriba, se puede configurar adicionalmente la unidad de generación de señal adelantada-retrasada para generar una señal PP basándose en la señal de código, basándose en la señal subportadora y basándose en la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo. Se puede generar la señal PP basándose en la señal de código, retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, y basándose en la señal subportadora, retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo. En particular, se puede generar la señal PP mediante la modulación de la señal subportadora, que ha sido retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, con la señal de código, que ha sido retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo.

Además, el sistema puede comprender un bucle enganchado en portadora (también denominado "primer bucle")

configurado para estimar la fase del componente de señal portadora comprendido dentro de la señal de navegación recibida. Se puede utilizar la fase estimada para determinar una señal modulante recibida basándose en la señal de navegación recibida y basándose en la señal PP. En particular, el bucle enganchado en portadora puede estar configurado para "borrar" (por ejemplo, eliminar) la señal portadora (y en particular la fase de portadora) de la señal de navegación, a fin de proporcionar la señal modulante recibida que es indicativa de una superposición de la señal de código retrasada y la señal subportadora retrasada.

El sistema comprende un bucle enganchado en retardo (también denominado "segundo bucle" o "bucle de subportadora") configurado para determinar la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo basándose en la señal de navegación recibida, la señal EP y la señal LP. El bucle enganchado en retardo puede comprender una unidad de correlación de subportadora adelantada, configurada para determinar una correlación de subportadora adelantada en una puerta de subportadora adelantada, basándose en la señal modulante recibida derivada de la señal de navegación recibida y basándose en la señal EP. Para ello, la unidad de correlación de subportadora adelantada puede comprender una unidad de multiplicación con EP configurada para multiplicar la señal modulante recibida con la señal EP. En particular, la unidad de multiplicación con EP puede estar configurada para "borrar" la señal de código de la señal modulante recibida. Además, la unidad de correlación de subportadora adelantada puede comprender una unidad de integración de EP configurada para sumar una pluralidad de muestras de la salida de la unidad de multiplicación con EP. La correlación de subportadora adelantada en la puerta de subportadora adelantada puede ser indicativa de un valor de la función de autocorrelación de la señal subportadora en una puerta adelantada (denominada "puerta de subportadora adelantada").

Debe señalarse que las puertas normalmente se refieren a rezagos de la función de autocorrelación. En caso de una primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo correcta, una puerta centrada puede corresponder al rezago para el cual la función de autocorrelación presenta un pico, la puerta adelantada puede corresponder a un rezago que es menor que el rezago para el cual la función de autocorrelación presenta un pico, y una puerta retrasada puede corresponder a un rezago que es mayor que el rezago para el cual la función de autocorrelación presenta un pico.

Además, el bucle enganchado en retardo puede comprender una unidad de correlación de subportadora retrasada configurada para determinar una correlación de subportadora retrasada en una puerta de subportadora retrasada, basándose en la señal modulante recibida y basándose en la señal LP. Para ello, la unidad de correlación de subportadora retrasada puede comprender una unidad de multiplicación con LP configurada para multiplicar la señal modulante recibida con la señal LP. En particular, la unidad de multiplicación con LP puede estar configurada para "borrar" la señal de código de la señal modulante recibida. Además, la unidad de correlación de subportadora retrasada puede comprender una unidad de integración de LP configurada para sumar una pluralidad de muestras de la salida de la unidad de multiplicación con LP. La correlación de subportadora retrasada en la puerta de subportadora retrasada puede ser indicativa de un valor de la función de autocorrelación de la señal subportadora en una puerta retrasada (denominada "puerta de subportadora retrasada").

Además, el bucle enganchado en retardo puede comprender una unidad de discriminación "adelantada-retrasada" para subportadora, configurada para determinar la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo basándose en la correlación de subportadora adelantada en la puerta de subportadora adelantada, basándose en la correlación de subportadora retrasada en la puerta de subportadora retrasada, y basándose en la función de autocorrelación predeterminada de la señal subportadora. En particular, la unidad de discriminación adelantada-retrasada para subportadora puede estar configurada para determinar la ubicación de la puerta de subportadora adelantada y la ubicación de la puerta de subportadora retrasada con respecto al pico más próximo de la función de autocorrelación predeterminada de la señal subportadora (utilizando la correlación de subportadora adelantada y la correlación de subportadora retrasada). Típicamente, la función de autocorrelación de la señal subportadora comprende una pluralidad de picos, lo que hace ambigua la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, ya que el bucle enganchado en retardo puede engancharse en varios picos distintos dentro de la pluralidad de picos. En particular, el bucle enganchado en retardo puede estar configurado para engancharse en el pico de la función de autocorrelación predeterminada que esté más próximo a las ubicaciones de la puerta de subportadora adelantada y de la puerta de subportadora retrasada, para proporcionar la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo.

La unidad de discriminación adelantada-retrasada para subportadora puede estar configurada para traspasar la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo (posiblemente después de filtrarla) a la unidad de generación de señal adelantada-retrasada, estando la unidad de generación de señal adelantada-retrasada configurada para utilizar la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo con el fin de generar las señales EP, LP, PP, PE, PL. En sí, el bucle enganchado en retardo es un bucle cerrado que puede comprender la unidad de generación de señal adelantada-retrasada, la unidad de correlación de subportadora adelantada, la unidad de correlación de subportadora retrasada y la unidad de discriminación adelantada-retrasada para subportadora. La unidad de discriminación adelantada-retrasada para subportadora puede actualizar de manera continua (o de manera regular o periódica) la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y se puede enviar de manera continua (o de manera regular o periódica) la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, actualizada, a la unidad de generación de señal adelantada-retrasada. En sí, la unidad de generación de señal adelantada-retrasada puede actualizar de manera continua las señales EP, LP, PP, PE, PL utilizando la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo actualizada de manera continua.

Además, el sistema comprende una ruta de detección configurada para determinar un desplazamiento de retardo basándose en la señal de navegación recibida, la señal PE y la señal PL. Típicamente, la ruta de detección no se implementa como un bucle o un bucle cerrado. En particular, la ruta de detección típicamente no proporciona una retroalimentación continua (ni regular ni periódica) a la unidad de generación de señal adelantada-retrasada.

5 La ruta de detección puede comprender una unidad de correlación de código adelantado configurada para determinar una correlación de código adelantado en una puerta de código adelantado, basándose en la señal modulante recibida, derivada de la señal de navegación recibida, y basándose en la señal PE. Para ello, la unidad de correlación de código adelantado puede comprender una unidad de multiplicación con PE configurada para multiplicar la señal modulante recibida con la señal PE. En particular, la unidad de multiplicación con PE puede estar
10 configurada para "borrar" o eliminar la señal subportadora de la señal modulante recibida. Además, la unidad de correlación de código adelantado puede comprender una unidad de integración de PE configurada para sumar una pluralidad de muestras de la salida de la unidad de multiplicación con PE. La correlación de código adelantado en la puerta de código adelantado puede ser indicativa de un valor de la función de autocorrelación de la señal de código en una puerta adelantada (denominada "puerta de código adelantado").

15 Además, la ruta de detección puede comprender una unidad de correlación de código retrasado configurada para determinar una correlación de código retrasado en una puerta de código retrasado, basándose en la señal modulante recibida y basándose en la señal PL. Para ello, la unidad de correlación de código retrasado puede comprender una unidad de multiplicación con PL configurada para multiplicar la señal modulante recibida con la señal PL. En particular, la unidad de multiplicación con PL puede estar configurada para "borrar" la señal
20 subportadora de la señal modulante recibida. Además, la unidad de correlación de código retrasado puede comprender una unidad de integración de PL configurada para sumar una pluralidad de muestras de la salida de la unidad de multiplicación con PL. La correlación de código retrasado en la puerta de código retrasado puede ser indicativa de un valor de la función de autocorrelación de la señal de código en una puerta retrasada (denominada "puerta de código retrasado").

25 Además, la ruta de detección puede comprender una unidad de discriminación adelantado-retrasado para código configurada para determinar una señal de detección basándose en la correlación de código adelantado en la puerta de código adelantado, basándose en la correlación de código retrasado en la puerta de código retrasado y basándose en una función de autocorrelación predeterminada de la señal de código. En particular, la unidad de discriminación adelantado-retrasado para código puede estar configurada para determinar la ubicación de la puerta
30 de código adelantado y la ubicación de la puerta de código retrasado con respecto a un pico de la función de autocorrelación predeterminada de la señal de código (utilizando la correlación de código adelantado y la correlación de código retrasado). Típicamente, la función de autocorrelación de la señal de código tiene solamente un pico, lo que hace inambigua la estimación global $\hat{\tau}$ de retardo proporcionada por el sistema. Se pueden utilizar la ubicación de la puerta de código adelantado y la ubicación la puerta de código retrasado para determinar la señal de detección que es indicativa del desplazamiento de retardo. Como ejemplo, se puede determinar la señal de detección basándose en la distancia de la ubicación central entre la ubicación de la puerta de código adelantado y la ubicación
35 de la puerta de código retrasado desde el pico de la función de autocorrelación de la señal de código.

La ruta de detección puede comprender además una unidad de detección configurada para determinar el desplazamiento de retardo basándose en la señal de detección. En particular, la unidad de detección puede estar
40 configurada para determinar el desplazamiento de retardo basándose en un valor medio de la señal de detección. El valor medio se puede determinar utilizando, por ejemplo, un filtro de paso bajo. La unidad de detección puede estar configurada para comparar el valor medio de la señal de detección (o una versión a escala o proporcional de la misma) con múltiplos de la duración T_s de símbolo de subportadora, es decir, nT_s , siendo n un número entero. El desplazamiento de retardo (o una versión a escala o proporcional del mismo) puede corresponder al múltiplo nT_s de la duración de símbolo de subportadora que esté más próximo al valor medio de la señal de detección.
45

El sistema puede estar configurado para determinar la estimación $\hat{\tau}$ de retardo basándose en la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y basándose en el desplazamiento de retardo. En particular, el sistema puede estar configurado para determinar la estimación $\hat{\tau}$ de retardo basándose en la suma de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y el desplazamiento de retardo, o en una diferencia de los mismos, dependiendo de cómo se defina el signo del desplazamiento de retardo.
50

En sí, el sistema puede estar configurado para determinar sin ambigüedad la estimación $\hat{\tau}$ de retardo utilizando un único bucle enganchado en retardo para determinar la única primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo. El uso de un único bucle enganchado en retardo aumenta la robustez y la velocidad de convergencia del sistema. Además, al proporcionar solamente un único bucle enganchado en retardo, se pueden reducir la complejidad y el coste del sistema.
55

Como se ha indicado más arriba, la ruta de detección (y, en particular, la unidad de discriminación adelantado-retrasado para código o la unidad de detección) no proporciona a la unidad de generación de señal adelantada-retrasada una retroalimentación continua en cuanto al desplazamiento de retardo. Aun así, la ruta de detección puede proporcionar a la unidad de generación de señal adelantada-retrasada el desplazamiento de retardo en un instante de tiempo distinto (por ejemplo, en un instante de tiempo distinto posterior a la convergencia
60

del bucle enganchado en retardo). Como ejemplo, la ruta de detección puede proporcionar solamente una vez a la unidad de generación de señal adelantada-retrasada el desplazamiento de retardo, por ejemplo, con posterioridad a la convergencia del bucle enganchado en retardo. En sí, la unidad de generación de señal adelantada-retrasada puede estar configurada para recibir desde la ruta de detección el desplazamiento de retardo y para desplazar la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo en la cuantía del desplazamiento de retardo. De esta manera, se asegura que la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo corresponda a la estimación $\hat{\tau}$ de retardo y que el valor medio de la señal de detección sea sustancialmente cero. Después del desplazamiento de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, para proporcionar una primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo desplazada, la unidad de generación de señal adelantada-retrasada puede estar configurada para generar la señal EP, la señal LP, la señal PE y la señal PL (y también la señal PP) basándose en la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo desplazada.

Como ya se ha indicado, el sistema puede comprender un bucle enganchado en portadora configurado para determinar la fase φ de la señal portadora y configurado para "borrar" la señal portadora de la señal de navegación, a fin de generar la señal modulante recibida. El bucle enganchado en portadora se puede implementar en forma de un bucle enganchado en fase (PLL, por sus siglas en inglés) y/o en forma de un bucle enganchado en frecuencia (FLL). El bucle enganchado en portadora puede comprender una unidad de correlación de portadora configurada para determinar una correlación de portadora en una puerta central, basándose en la señal modulante recibida y basándose en la señal PP. La unidad de correlación de portadora puede comprender una unidad de multiplicación con PP configurada para multiplicar la señal modulante recibida con la señal PP, y configurada para "borrar" la señal de código y la señal subportadora de la señal modulante recibida, proporcionando así una indicación del residuo de la señal portadora comprendido dentro de la señal modulante recibida. Además, la unidad de correlación de portadora puede comprender una unidad de integración de PP configurada para sumar una pluralidad de muestras de la salida de la unidad de multiplicación con PP, para proporcionar la correlación de portadora.

Además, el bucle enganchado en portadora puede comprender una unidad de detección de fase configurada para determinar una estimación de la fase φ de la señal portadora basándose en la correlación de portadora en la puerta central. Además, el bucle enganchado en portadora puede comprender una unidad de compensación de portadora configurada para determinar la señal modulante recibida basándose en la señal de navegación recibida y basándose en la estimación de la fase φ de la señal portadora. La unidad de compensación de portadora puede comprender una primera unidad de oscilador (que comprenda, por ejemplo, un NCO) configurada para generar una señal de referencia que tenga sustancialmente la misma IF o frecuencia de banda base que el componente de señal portadora comprendido dentro de la señal de navegación y que presente la fase estimada. Además, la unidad de compensación de portadora puede comprender una unidad de multiplicación configurada para multiplicar la señal de navegación recibida con la señal de referencia, para proporcionar la señal modulante recibida.

Se puede generar la señal subportadora mediante la combinación de una pluralidad de señales subportadoras constituyentes con distintas tasas de subportadora y con distintos niveles de potencia. En otras palabras, se puede generar la señal subportadora mediante la combinación o la multiplexación de una pluralidad de subportadoras (como ocurre, por ejemplo, en CBOC y MBOC). La unidad de generación de señal adelantada-retrasada puede estar configurada para determinar la señal EP, la señal LP, la señal PE y la señal PL (y también la señal PP, si estuviera presente), basándose en la señal subportadora constituyente que tenga el mayor nivel de potencia entre la pluralidad de señales subportadoras constituyentes. Esto resulta particularmente útil para las señales subportadoras que tienen una única subportadora constituyente predominante (como ocurre, por ejemplo, en 10/11 BOC(1,1) + 1/11 BOC(6,1), utilizada en Galileo). De este modo se puede reducir la complejidad del sistema, incluso en caso de que se utilicen subportadoras combinadas o subportadoras multiplexadas.

Debe señalarse que la primera estimación de retardo y/o la señal de detección se pueden determinar mediante uno o más discriminadores que son distintos de una unidad de discriminación adelantado-retrasado. Estos uno o más discriminadores pueden hacer uso o no de otros tipos de señales de réplica. Un ejemplo de semejante tipo distinto de discriminador lo constituye un detector doble, que utiliza dos señales de réplica adicionales.

Según un aspecto adicional, se describe un método para determinar una estimación $\hat{\tau}$ de retardo de un retardo sufrido por una señal de navegación. Como se ha bosquejado en lo que antecede, la señal de navegación puede ser indicativa de una señal portadora modulada con una señal de código y modulada con una señal subportadora. El método comprende generar una señal EP basándose en la señal de código retrasada en la cuantía de una primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, y basándose en la señal subportadora retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y adelantada en la cuantía de un primer tiempo de separación de subportadora. Además, el método comprende generar una señal LP basándose en la señal de código retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, y basándose en la señal subportadora retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y retrasada en la cuantía de un segundo tiempo de separación de subportadora. Además, el método comprende generar una señal PE basándose en la señal de código retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y adelantada en la cuantía de un primer tiempo de separación de código, y basándose en la señal subportadora retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo. Además, el método comprende generar una señal PL basándose en la señal de código retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y retrasada en la cuantía de un segundo tiempo de separación de código, y basándose en la señal subportadora retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo.

Se puede determinar la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo basándose en la señal de navegación recibida, en la señal EP y en la señal LP. Además, se puede determinar el desplazamiento de retardo basándose en la señal de navegación recibida, en la señal PE y en la señal PL. En sí, el método puede comprender además determinar la estimación $\hat{\tau}$ de retardo basándose en la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y basándose en el desplazamiento de retardo.

Según un aspecto adicional, se describe un programa de *software*. El programa de *software* está adaptado para ser ejecutado en un procesador y para realizar los pasos del método descritos en el presente documento cuando se lleva a cabo en el procesador.

Según otro aspecto, se describe un medio de almacenamiento. El medio de almacenamiento comprende un programa de *software* adaptado para ser ejecutado en un procesador y para realizar los pasos del método bosquejados en el presente documento cuando se lleva a cabo en el procesador.

Según un aspecto adicional, se describe un producto de programa de ordenador. El programa de ordenador comprende instrucciones ejecutables para realizar los pasos del método bosquejados en el presente documento cuando se ejecuta en un ordenador.

Debe señalarse que los métodos y sistemas, incluyendo sus realizaciones preferidas como se bosquejan en el presente documento, se pueden utilizar de manera independiente o bien en combinación con los demás métodos y sistemas descritos en este documento. Además, las características bosquejadas en el contexto de un sistema son también aplicables a un método correspondiente. Por otra parte, todos los aspectos de los métodos y sistemas bosquejados en el presente documento se pueden combinar de muchas maneras distintas. En particular, se pueden combinar entre sí, de manera arbitraria, las características de las reivindicaciones.

Breve descripción de las figuras

A continuación se explica la invención de forma ilustrativa, con referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

la Figura 1a muestra una función de autocorrelación de una subportadora ilustrativa utilizada para modular una señal portadora;
 la Figura 1b muestra una función de autocorrelación de una señal modulada sobre subportadora, ilustrativa;
 la Figura 2 muestra un diagrama de bloques de un sistema ilustrativo para el seguimiento de una señal modulada sobre subportadora;
 la Figura 3 muestra señales de réplica ilustrativas utilizadas por el sistema de seguimiento de la Figura 2, y
 la Figura 4 muestra un diagrama de flujo de un método ilustrativo para el seguimiento de una señal modulada sobre subportadora.

Descripción detallada

Tal como se ha bosquejado en el apartado "Antecedentes", el presente documento se refiere a un método y un sistema para el seguimiento de una señal modulada sobre subportadora, y en particular para estimar un retardo de propagación de la señal modulada sobre subportadora. La Figura 2 muestra un diagrama de bloques de un sistema 200 de seguimiento, ilustrativo. En aras de la simplicidad, la Figura 2 no muestra medios para la desmodulación y descodificación del mensaje de navegación, ni tampoco una etapa de entrada de RF (radiofrecuencia) ni un conversor ADC (analógico a digital). Han de entenderse las señales de la Figura 2 como señales de banda base complejas, lo que significa que se supone que la señal 220 recibida ha sido convertida descendientemente a la banda base. Debe señalarse, sin embargo, que el sistema 200 puede funcionar de manera similar a frecuencias intermedias (IF) o directamente a la RF.

El sistema 200 de seguimiento emplea dos bucles de retroalimentación independientes, pero cooperativos. Se utiliza un primer bucle para el seguimiento de portadora, es decir, para el enganche en la fase y la frecuencia de la señal portadora. El primer bucle puede utilizar técnicas PLL (bucle de enganche en fase) y/o FLL (bucle de enganche en frecuencia). El primer bucle del sistema 200 comprende una unidad 205 de discriminación PLL, una primera unidad 206 de filtro y una primera unidad 201 de oscilador (que comprende, por ejemplo, un oscilador controlado numéricamente, NCO). Además, el sistema 200 de seguimiento emplea un segundo bucle que se utiliza para el seguimiento de subportadora. Además, se puede utilizar el segundo bucle para producir una señal 223 de desambiguación que se puede filtrar y comparar con un umbral, con el fin de detectar un enganche erróneo en un pico lateral 115 de la función 103 de autocorrelación. El segundo bucle del sistema 200 comprende una unidad 207 de discriminación adelantado-retrasado, una segunda unidad 208 de filtro y una segunda unidad 202 de oscilador (que comprende, por ejemplo, un NCO).

Debe señalarse que una señal modulada sobre subportadora puede comprender, además, datos de mensaje de navegación. En la descripción que sigue se ignoran estos bits de mensaje de navegación, ya que la presencia de bits de navegación no es relevante para las consideraciones de principio en relación con el seguimiento de la señal. Además, en aras de la simplicidad, tampoco se incluyen en la siguiente discusión los efectos del ruido, la dinámica y

la multitrayectoria sobre el bucle de seguimiento.

El seguimiento de una señal modulada BPSK se puede realizar utilizando dos bucles independientes, pero cooperativos, utilizándose el primer bucle para el seguimiento de la portadora (por ejemplo, basándose en un bucle de enganche en fase (PLL) o un bucle de enganche en frecuencia (FLL)). El segundo bucle se puede utilizar para el seguimiento del código (por ejemplo, utilizando un bucle de enganche en retardo (DLL)).

El sistema 200 de seguimiento mostrado en la Figura 2 está diseñado para el seguimiento de señales moduladas sobre subportadora, por ejemplo señales moduladas CBOC y/o BOC. La señal recibida $u(t)$ 220 puede escribirse como

$$u(t) = \exp(j\omega t + \varphi) \times s(t - \tau) \times a(t - \tau),$$

en donde ω es la frecuencia intermedia (o de banda base), φ es la fase desconocida de la señal portadora, $s(t - \tau)$ es la señal subportadora 101 retrasada en la cuantía del retardo τ de transmisión y $a(t - \tau)$ es el código (también denominado "señal de código") retrasado en la cuantía del retardo τ de transmisión. El sistema 200 está configurado para realizar el seguimiento del retardo τ de transmisión, es decir, determinar una estimación $\hat{\tau}$ del retardo τ de transmisión. Sin embargo, en lugar de realizar el seguimiento DLL del código PRN $a(t)$, el segundo bucle del sistema 200 se cierra realizando el seguimiento de la subportadora $s(t)$ (también denominada "señal subportadora"). Esto se puede conseguir utilizando la segunda unidad 202 de oscilador que está configurada para generar, por ejemplo, cinco réplicas de la señal modulada sobre subportadora.

A las réplicas de la señal modulada sobre subportadora se las puede denominar PE, PL, PP, EP y LP. Las réplicas pueden estar compuestas de la manera siguiente:

- La réplica PP 231 puede comprender una subportadora "en su tiempo" (en inglés, "prompt") $s(t)$ 302 y un código en su tiempo $a(t)$ 301, como se muestra en la Figura 3 para el caso de una señal BOC(2m,m). La relación en fase entre el código y la subportadora en la réplica PP 231 corresponde a la relación en fase de la combinación de subportadora y código $s(t) \times a(t)$ originalmente transmitida. Típicamente, la combinación de subportadora y código $s(t) \times a(t)$ originalmente transmitida difiere de la subportadora y el código comprendidos dentro de la señal recibida $u(t)$ 220 solamente en la cuantía del retardo τ de transmisión sufrido en el trayecto de transmisión. Tal como se describirá a grandes rasgos en lo que sigue, el sistema 200 está configurado para determinar una estimación $\hat{\tau}$ de retardo. En particular, el segundo bucle del sistema 200 está configurado para determinar una estimación de retardo ambigua $\tilde{\tau} = \hat{\tau} - nT_S$. La segunda unidad 202 de oscilador está configurada para determinar una réplica PP 231 $s(t - \tilde{\tau}) \times a(t - \tilde{\tau})$ que refleja la estimación de retardo ambigua.
- La réplica EP 232 puede comprender una subportadora adelantada 304 y un código 303 en su tiempo. Se puede obtener la subportadora adelantada 304 por desplazamiento de la subportadora hacia delante utilizando una separación predeterminada $\Delta T_{EL,S}$ de tiempo de subportadora. En particular, se puede obtener la subportadora adelantada 304 desplazando hacia delante (adelantando) la subportadora en una cuantía $\frac{1}{2}\Delta T_{EL,S}$. En sí, la segunda unidad 202 de oscilador está configurada para determinar una réplica EP 232 $s(t - \tilde{\tau} + \frac{1}{2}\Delta T_{EL,S}) \times a(t - \tilde{\tau})$.
- La réplica LP 233 puede comprender una subportadora retrasada y un código en su tiempo. Se puede obtener la subportadora retrasada desplazando hacia atrás (retrasando) la subportadora en una cuantía $-\frac{1}{2}\Delta T_{EL,S}$. En sí, la segunda unidad 202 de oscilador está configurada para determinar una réplica LP 233 $s(t - \tilde{\tau} - \frac{1}{2}\Delta T_{EL,S}) \times a(t - \tilde{\tau})$.
- La réplica PE 235 puede comprender una subportadora 306 en su tiempo y un código adelantado 305. Se puede obtener el código adelantado 305 por desplazamiento del código utilizando una separación predeterminada $\Delta T_{EL,C}$ de tiempo de código. En particular, se puede obtenerse el código adelantado 305 desplazando el código en una cuantía $\frac{1}{2}\Delta T_{EL,C}$. En sí, la segunda unidad 202 de oscilador está configurada para determinar una réplica PE 235 $s(t - \tilde{\tau}) \times a(t - \tilde{\tau} + \frac{1}{2}\Delta T_{EL,C})$.
- La réplica PL 234 puede comprender una subportadora en su tiempo y un código retrasado. Se puede obtener el código retrasado por desplazamiento del código en una cuantía $-\frac{1}{2}\Delta T_{EL,C}$. En sí, la segunda unidad 202 de oscilador está configurada para determinar una réplica PL 234 $s(t - \tilde{\tau}) \times a(t - \tilde{\tau} - \frac{1}{2}\Delta T_{EL,C})$.

Por lo tanto, haciendo caso omiso de la fluctuación de fase de seguimiento, la réplica PP 231 $s(t - \tilde{\tau}) \times a(t - \tilde{\tau})$ comprende una subportadora y código PRN, que están ambos alineados con los componentes de subportadora y código de la señal recibida $u(t)$ 220. Para la réplica EP 232, se adelanta la subportadora en la cuantía de la mitad de la separación de tiempo de subportadora, $\frac{1}{2}\Delta T_{EL,S}$, en comparación con una subportadora alineada con la subportadora de la señal recibida $u(t)$ 220, mientras que el código todavía está alineado con el código de la señal recibida $u(t)$ 220. Para la réplica PE 235, se adelanta el código en la cuantía de la mitad de la separación de tiempo de código, $\frac{1}{2}\Delta T_{EL,C}$, en comparación con un código alineado con el código de la señal recibida $u(t)$ 220, mientras

que la subportadora todavía está alineada con la subportadora de la señal recibida $u(t)$ 220. En la Figura 3 se ilustra la construcción de las réplicas PP, EP y PE, 231, 232 y 235. La construcción de las réplicas LP y PL, 233 y 234, se consigue retrasando la subportadora y el código, respectivamente, en comparación con los componentes de subportadora y código, respectivamente, de la señal recibida $u(t)$ 220.

5 El primer bucle del sistema 200 comprende una unidad 203-3 de multiplicación con PP que está configurada para multiplicar la señal de banda base digital recibida $u(t)$ 222 con la réplica PP $s(t - \tilde{\tau}) \times a(t - \tilde{\tau})$ 231. En particular, la unidad 203-3 de multiplicación con PP está configurada para realizar un borrado de código y subportadora, de manera que en la salida de la unidad 203-3 de multiplicación con PP queda solamente la señal portadora $\exp(j\omega t + \varphi)$. Además, el primer bucle comprende una unidad 204-3 de integración que está configurada para integrar y volcar la señal de salida $\exp(j\omega t + \varphi)$ de la unidad 203-3 de multiplicación con PP. Posteriormente, se puede utilizar una unidad 205 discriminadora PLL o discriminadora FLL para estimar el error de seguimiento de portadora, que se alimenta al filtro 206 de bucle PLL/FLL con el fin de generar una orden directiva (en inglés, "steering command") para la primera unidad 201 de oscilador. La primera unidad 212 de multiplicación puede estar configurada para multiplicar la señal generada por la primera unidad 201 de oscilador con la señal recibida 220, a fin de realizar un borrado de portadora, de manera que, sin error de seguimiento de portadora en la salida de la primera unidad 201 de multiplicación, solamente quedan el código y la subportadora. En sí, el primer bucle del sistema 200 puede estar configurado para determinar una estimación $\hat{\phi}$ de fase de la fase φ de la señal portadora. En otras palabras, el primer bucle del sistema 200 puede estar configurado para engancharse en la fase φ de la señal portadora. Además, el primer bucle del sistema 200 puede estar configurado para eliminar los componentes de la señal portadora de la señal recibida $u(t)$, proporcionando así una señal modulante recibida $v(t) = s(t - \tau) \times a(t - \tau)$ 222. La señal modulante recibida $v(t)$ 222 es indicativa del código $a(t - \tau)$ y subportadora $s(t - \tau)$ superpuestos y retrasados.

El segundo bucle comprende la unidad 203-4 de multiplicación con EP y la unidad de 203-5 de multiplicación con LP que están configuradas para multiplicar la señal modulante recibida $v(t)$ 222 después del borrado de la portadora con la réplica EP $s(t - \tilde{\tau} + \frac{1}{2}\Delta T_{EL,S}) \times a(t - \tilde{\tau})$ 232 y la réplica LP $s(t - \tilde{\tau} - \frac{1}{2}\Delta T_{EL,S}) \times a(t - \tilde{\tau})$ 233, respectivamente. Dado que las réplicas EP y LP, 232 y 233, comprenden el código en su tiempo, retrasado, $a(t - \tilde{\tau})$, la unidad 203-4 de multiplicación con EP y la unidad 203-5 de multiplicación con LP están configuradas para realizar un borrado de código, de modo que las dos señales resultantes, en las salidas respectivas de la unidad 203-4 de multiplicación con EP y la unidad 203-5 de multiplicación con LP se pueden utilizar en una unidad 207 de discriminación adelantado-retrasado para estimar el error $\tilde{\tau}$ de seguimiento de subportadora. Para ello, se puede determinar el valor de la función 103 de autocorrelación de la subportadora en la puerta adelantada (utilizando una unidad 204-4 de integración) y en la puerta retrasada (utilizando una unidad 204-5 de integración). La unidad 207 de discriminación adelantado-retrasado puede utilizar distintos tipos de discriminación adelantado-retrasado, por ejemplo la discriminación basada en la potencia adelantada-retrasada y/o la discriminación basada en la envolvente de potencia adelantada-retrasada. Se puede traspasar la salida de la unidad 207 de discriminación adelantado-retrasado al segundo filtro 208 de bucle, que genera una orden directiva para la segunda unidad 202 de oscilador que genera las cinco réplicas descritas en lo que antecede, cerrando con ello el bucle de subportadora (es decir, el segundo bucle).

En sí, el segundo bucle del sistema 200 está configurado para determinar la estimación ambigua $\tilde{\tau}$ de retardo utilizando un bucle enganchado en retardo (DLL) que aprovecha los picos de la función 103 de autocorrelación de la subportadora $s(t)$ 101. Debido a los numerosos picos de la función 103 de autocorrelación, el segundo bucle puede engancharse en una estimación de retardo que difiera de la estimación de retardo real en un múltiplo n (siendo n un número entero) de la duración T_S de símbolo de subportadora, en donde a nT_S se le puede denominar "desplazamiento de retardo".

El sistema 200 puede comprender una ruta de detección para determinar el desplazamiento de retardo. La ruta de detección puede comprender una unidad 203-1 de multiplicación con PE y una unidad 203-2 de multiplicación con PL que estén configuradas para multiplicar la señal modulante recibida $v(t) = s(t - \tau) \times a(t - \tau)$ 222 después del borrado de la portadora con la réplica PE $s(t - \tilde{\tau}) \times a(t - \tilde{\tau} + \frac{1}{2}\Delta T_{EL,C})$ 235 y la réplica PL $s(t - \tilde{\tau}) \times a(t - \tilde{\tau} - \frac{1}{2}\Delta T_{EL,C})$ 234, respectivamente. Dado que las réplicas PE y PL, 235 y 234, comprenden la subportadora en su tiempo, retrasada, $s(t - \tilde{\tau})$, la unidad 203-1 de multiplicación con PE y la unidad 203-2 de multiplicación con PL están configuradas para realizar un borrado de subportadora, de manera que las dos señales resultantes, en las salidas de la unidad 203-1 de multiplicación con PE y la unidad 203-2 de multiplicación con PL son indicativas de una señal de código adelantada $a(t - \tilde{\tau} + \frac{1}{2}\Delta T_{EL,C})$ y una señal de código retrasada $a(t - \tilde{\tau} - \frac{1}{2}\Delta T_{EL,C})$, respectivamente. Se puede acumular la señal de código adelantada en la unidad 204-1 de integración de PE para determinar un valor de la función 123 de autocorrelación del código PRN en una puerta adelantada. De manera similar, se puede acumular la señal de código retrasada en la unidad 204-2 de integración de PL para determinar un valor de la función 123 de autocorrelación del código PRN en una puerta retrasada.

Se pueden alimentar los valores de la función 123 de autocorrelación en la puerta adelantada y en la puerta retrasada a una unidad 209 de discriminación adelantado-retrasado para código, que puede utilizar distintos tipos de esquemas de discriminación adelantado-retrasado. En otras palabras, se puede proporcionar a la unidad 209 de discriminación adelantado-retrasado para código el valor de la función 123 de autocorrelación de la señal de código

en la puerta adelantada y en la puerta retrasada, utilizando las unidades de integración 204-1 y 204-2, respectivamente. También se puede utilizar, de forma adicional, el valor "en su tiempo" 204-3. Se puede filtrar en paso bajo la salida de la unidad 209 de discriminación de código adelantado-retrasado en la unidad 210 de filtro para producir la señal 223 de desambiguación. Se puede alimentar la señal 223 de desambiguación a una unidad 211 de detección que esté configurada para determinar el desplazamiento de retardo.

Si el seguimiento de la subportadora realizado en el segundo bucle está enganchado en el pico principal 114 de la función 113 de autocorrelación global (es decir, en el pico central de la función 103 de autocorrelación de la subportadora), la señal 223 de desambiguación que llega a la unidad de detección 211 tiene media cero. Por otra parte, si el seguimiento se realiza en un pico lateral 115 de la función 113 de autocorrelación global, la media de la señal 223 que llega a la unidad 211 de detección corresponde al desplazamiento del pico lateral 115 en el cual se engancha el bucle de subportadora con respecto al pico principal 114 de la función 113 de correlación. Como se puede ver en la Figura 1a, el desplazamiento entre un pico lateral y el pico principal de la función 103 de autocorrelación es un múltiplo de la duración T_S de símbolo de subportadora. En consecuencia, la media de la señal 223 que llega a la unidad 211 de detección corresponde a un múltiplo fijo de la duración T_S de símbolo de subportadora, y por lo tanto corresponde al desplazamiento de retardo.

En caso de que la unidad de detección 211 detecte un enganche en un pico lateral 115 (basándose en el valor medio de la señal 223 de desambiguación enviado a la unidad 211 de detección) existen las siguientes opciones: se puede realizar una corrección del enganche erróneo de manera que el bucle de subportadora (es decir, el segundo bucle) transfiera el enganche desde el pico lateral 115 al pico principal 114. En otras palabras, se puede traspasar a la unidad 202 de segundo oscilador el desplazamiento nT_S de retardo que la unidad 211 de detección ha determinado. La segunda unidad 202 de oscilador puede estar configurada para añadir el desplazamiento nT_S de retardo a la estimación $\tilde{\tau}$ de retardo ambigua utilizada en ese momento, produciendo así la estimación $\hat{\tau}$ de retardo sin ambigüedad. En consecuencia, la unidad 202 de segundo oscilador (y el segundo bucle) se engancha en el pico central 114 de la función 103 de autocorrelación. Además, como resultado de ello, la señal 223 de desambiguación tendrá un valor medio cero.

Como alternativa, se puede corregir en consecuencia la medida de pseudodistancia proporcionada por el bucle de subportadora (es decir, por el segundo bucle). En otras palabras, se puede obtener la estimación $\hat{\tau}$ de retardo sin ambigüedad compensando la estimación $\tilde{\tau}$ de retardo ambigua que la unidad de segundo oscilador 202 utiliza, con el desplazamiento nT_S de retardo proporcionado por la unidad 211 de detección.

Debe señalarse que, aunque la descripción se ha centrado en las señales BOC y BOCC, el sistema 200 puede estar configurado para realizar el seguimiento de otras señales moduladas sobre subportadora, por ejemplo señales moduladas multisubportadora tales como señales CBOC (BOC compuesta). Para las señales multisubportadora, la construcción de las cinco réplicas PE, PL, PP, EP y LP emplea una multiplicación de varias subportadoras, en lugar de una multiplicación que utilice una única subportadora cuando se realiza el seguimiento de señales con monosubportadora, por ejemplo BOC y BOCCc. Dependiendo de los niveles de potencia relativos de las múltiples subportadoras, a menudo se puede realizar el seguimiento de una señal modulada multisubportadora del mismo modo que de la señal monosubportadora correspondiente, sin pérdida significativa de prestaciones. En este caso, el tratamiento puede centrarse en la subportadora que tenga el mayor nivel de potencia dentro de la señal modulada multiportadora.

A modo de ejemplo, una señal modulada multisubportadora puede comprender una señal subportadora que sea la suma de una pluralidad de señales subportadoras. El sistema 200 puede adaptarse a una señal modulada multisubportadora, reemplazando la señal subportadora $s(t)$ por la suma de la pluralidad de señales subportadoras. Como alternativa, para determinar las réplicas se puede utilizar la señal subportadora que tenga la mayor amplitud o energía de la pluralidad de señales subportadoras.

En sí, el sistema 200 permite el seguimiento de señales moduladas por monosubportadora, por ejemplo la señal BOC, y de señales moduladas por multisubportadora, por ejemplo señales MBOC o CBOC. El sistema 200 aprovecha plenamente la precisión de la subportadora y permite una detección y corrección rápidas y robustas de enganches erróneos a picos laterales 215.

La Figura 4 muestra el diagrama de flujo de un método ilustrativo para determinar la estimación $\hat{\tau}$ de retardo del retardo τ sufrido por la señal 220 de entrada. El método ilustrativo 400 comprende generar 401 la réplica EP 232 como se ha bosquejado más arriba. Además, el método comprende generar 402 la réplica LP 233 como se ha bosquejado más arriba. Además, el método comprende generar 403 la réplica PE 235 como se ha bosquejado más arriba, y generar 404 la réplica PL 234 como se ha bosquejado más arriba. Se pueden determinar la réplica EP, la réplica LP, la réplica PE y la réplica PL basándose en la estimación $\tilde{\tau}$ de retardo ambigua. Por otra parte, el método 400 puede comprender determinar 405 la estimación $\tilde{\tau}$ de retardo ambigua basándose en la señal 220 de entrada, la señal EP 232 y la señal LP 233. Esto se puede conseguir, por ejemplo, utilizando un bucle enganchado en retardo. Además, el método comprende determinar 406 el desplazamiento de retardo basándose en la señal 220 de entrada, la señal PE 235 y la señal PL 234. Se puede determinar entonces (paso 407) la estimación $\hat{\tau}$ de retardo basándose en la estimación $\tilde{\tau}$ de retardo ambigua y basándose en el desplazamiento de retardo.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (200) configurado para determinar una estimación \hat{t} de retardo de un retardo de transmisión sufrido por una señal (220) de navegación recibida en el sistema (200), en donde la señal (220) de navegación es indicativa de una señal portadora modulada con una señal de código y modulada con una señal subportadora (101); en donde el sistema (200) comprende
- una unidad (202) de generación de señal adelantada-retrasada configurada para generar una señal EP (232), una señal LP (233), una señal PE (235) y una señal PL (234) basándose en la señal de código, basándose en la señal (101) de subportadora y basándose en una primera estimación \tilde{t} de retardo; en donde
 - se genera la señal EP (232) basándose en la señal (303) de código retrasada en la cuantía de la primera estimación \tilde{t} de retardo, y la señal subportadora (304) retrasada en la cuantía de la primera estimación \tilde{t} de retardo y adelantada en la cuantía de un primer tiempo de separación de subportadora;
 - se genera la señal LP (233) basándose en la señal (303) de código retrasada en la cuantía de la primera estimación \tilde{t} de retardo, y la señal subportadora retrasada en la cuantía de la primera estimación \tilde{t} de retardo y retrasada en la cuantía de un segundo tiempo de separación de subportadora;
 - se genera la señal PE (235) basándose en la señal (305) de código retrasada en la cuantía de la primera estimación \tilde{t} de retardo y adelantada en la cuantía de un primer tiempo de separación de código, y la señal subportadora (306) retrasada en la cuantía de la primera estimación \tilde{t} de retardo; y
 - se genera la señal PL (234) basándose en la señal de código retrasada en la cuantía de la primera estimación \tilde{t} de retardo y retrasada en la cuantía de un segundo tiempo de separación de código, y la señal subportadora (306) retrasada en la cuantía de la primera estimación \tilde{t} de retardo;
 - un bucle (202, 203-4, 203-5, 204-4, 204-5, 207, 208) enganchado en retardo configurado para determinar la primera estimación \tilde{t} de retardo basándose en la señal (220) de navegación recibida, la señal EP (232) y la señal LP (233); y
 - una ruta (202, 203-1, 203-2, 204-1, 204-2, 209, 210, 211) de detección configurada para determinar un desplazamiento de retardo basándose en la señal (220) de navegación recibida, la señal PE (235) y la señal PL (234);
- en donde el sistema (200) está configurado para determinar la estimación \hat{t} de retardo basándose en la primera estimación \tilde{t} de retardo y basándose en el desplazamiento de retardo.
2. El sistema (200) según la reivindicación 1, en donde se generan la señal EP (232), la señal LP (233), la señal PE (235) y la señal PL (234) mediante la modulación de una señal de código retrasada y/o adelantada con una señal subportadora retrasada y/o adelantada.
3. El sistema (200) según cualquier reivindicación precedente, en donde
- el sistema (200) comprende una unidad (201, 202) de compensación de portadora configurada para determinar una señal modulante (222) recibida basándose en la señal (220) de navegación recibida; y
 - la señal modulante (222) recibida es indicativa de la señal de código y la señal subportadora (101) comprendidas dentro de la señal (220) de navegación recibida.
4. El sistema (200) según la reivindicación 3, en donde el bucle (202, 203-4, 203-5, 204-4, 204-5, 207, 208) enganchado en retardo comprende
- una unidad (203-4, 204-4) de correlación de subportadora adelantada, configurada para determinar una correlación de subportadora adelantada en una puerta de subportadora adelantada, basándose en la señal modulante (222) recibida y basándose en la señal EP (232);
 - una unidad (203-5, 204-5) de correlación de subportadora retrasada, configurada para determinar una correlación de subportadora retrasada en una puerta de subportadora retrasada, basándose en la señal modulante (222) recibida y basándose en la señal LP (233); y
 - una unidad (207) de discriminación adelantada-retrasada para subportadora, configurada para determinar la primera estimación \tilde{t} de retardo basándose en la correlación de subportadora adelantada en la puerta de subportadora adelantada, la correlación de subportadora retrasada en la puerta de subportadora retrasada, y basándose en una función (103) de autocorrelación predeterminada de la señal subportadora (101).
5. El sistema (200) según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 4, en donde la ruta (202, 203-1, 203-2, 204-1, 204-2, 209, 210, 211) de detección comprende
- una unidad (203-1, 204-1) de correlación de código adelantado, configurada para determinar una correlación de código adelantado en una puerta de código adelantado, basándose en la señal modulante (222) recibida y basándose en la señal PE (235);
 - una unidad (203-2, 204-2) de correlación de código retrasado, configurada para determinar una correlación de código retrasado en una puerta de código retrasado, basándose en la señal modulante (222) recibida y basándose en la señal PL (234);
 - una unidad (209) de discriminación adelantado-retrasado para código, configurada para determinar una señal (223) de detección basándose en la correlación de código adelantado en la puerta de código adelantado, la correlación de código retrasado en la puerta de código retrasado, y basándose en una función (123) de autocorrelación predeterminada de la señal de código; y
 - una unidad (211) de detección configurada para determinar el desplazamiento de retardo basándose en la señal

(223) de detección.

6. El sistema (200) según la reivindicación 5, en donde la unidad (211) de detección está configurada para determinar el desplazamiento de retardo basándose en un valor medio de la señal (223) de detección.
7. El sistema (200) según cualquier reivindicación precedente, en donde la unidad (202) de generación de señal adelantada-retrasada está configurada para
- 5 - recibir el desplazamiento de retardo desde la ruta (202, 203-1, 203-2, 204-1, 204-2, 209, 210, 211) de detección;
 - desplazar la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo en la cuantía del desplazamiento de retardo; y
 - generar la señal EP (232), la señal LP (233), la señal PE (235) y la señal PL (234) basándose en la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo desplazada.
- 10 8. El sistema (200) según cualquier reivindicación precedente, en donde
- la señal de código tiene una tasa f_c de código y una duración $T_c = 1/f_c$ de símbolo; y
 - la señal subportadora tiene una tasa f_s de subportadora y una duración $T_s = 1/2f_s$ de símbolo.
9. El sistema (200) según la reivindicación 8, en donde el desplazamiento de retardo corresponde a un múltiplo de la duración T_s de símbolo de la señal subportadora.
- 15 10. El sistema (200) según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9, en donde
- la suma del primer tiempo de separación de código y el segundo es menor que T_c ;
 - la suma del primer tiempo de separación de subportadora y el segundo es menor que T_s ;
 - el primer tiempo de separación de subportadora y el segundo son iguales; y/o
 - el primer tiempo de separación de código y el segundo son iguales.
- 20 11. El sistema (200) según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 10, en donde
- la unidad (202) de generación de señal adelantada-retrasada está configurada para generar una señal PP (231) basándose en la señal de código, basándose en la señal (101) de subportadora y basándose en la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo;
- 25 - se genera la señal PP (231) basándose en la señal de código (301) retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, y la señal subportadora (302) retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo;
 y
 - el sistema (200) comprende un bucle (212, 203-3, 204-3, 205, 206, 201) enganchado en portadora configurado para determinar la señal modulante (222) recibida basándose en la señal (220) de navegación recibida y la señal PP (231).
- 30 12. El sistema (200) según la reivindicación 11, en donde el bucle (212, 203-3, 204-3, 205, 206, 201) enganchado en portadora comprende
- una unidad (203-3, 204-3) de correlación de portadora configurada para determinar una correlación de portadora en una puerta central, basándose en la señal modulante (222) recibida y basándose en la señal PP (231);
 - una unidad (205, 206) de detector de fase configurada para determinar una estimación de una fase de la señal
- 35 portadora basándose en la correlación de portadora en la puerta central; y
 - la unidad (201, 212) de compensación de portadora configurada para determinar la señal modulante (222) recibida basándose en la señal de navegación (220) recibida y basándose en la estimación de la fase de la señal portadora.
13. El sistema (200) según cualquier reivindicación precedente, en donde la unidad (202) de generación de señal adelantada-retrasada comprende un oscilador controlado numéricamente.
- 40 14. El sistema (200) según cualquier reivindicación precedente, en donde
- se genera la señal subportadora combinando una pluralidad de señales subportadoras constituyentes, con distintas tasas de subportadora y con distintos niveles de potencia;
 - la unidad (202) de generación de señal adelantada-retrasada está configurada para determinar la señal EP (232), la señal LP (233), la señal PE (235) y la señal PL (234) basándose en la señal subportadora constituyente que tiene
- 45 el mayor nivel de potencia entre la pluralidad de señales subportadoras constituyentes.
15. Un método (400) para determinar una estimación $\hat{\tau}$ de retardo de un retardo sufrido por una señal (220) de navegación, en donde la señal (220) de navegación es indicativa de una señal portadora modulada con una señal de código y modulada con una señal subportadora (101); en donde el método (400) comprende
- 50 - generar (401) una señal EP (232) basándose en la señal (303) de código retrasada en la cuantía de una primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, y basándose en la señal subportadora (304) retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y adelantada en la cuantía de un primer tiempo de separación de subportadora;
 - generar (402) una señal LP (233) basándose en la señal (303) de código retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo, y basándose en la señal subportadora retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y retrasada en la cuantía de un segundo tiempo de separación de subportadora;
- 55 - generar (403) una señal PE (235) basándose en la señal (305) de código retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y adelantada en la cuantía de un primer tiempo de separación de código, y basándose en la señal subportadora (306) retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo;

- 5
- generar (404) una señal PL (234) basándose en la señal de código retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y retrasada en la cuantía de un segundo tiempo de separación de código, y basándose en la señal subportadora (306) retrasada en la cuantía de la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo;
 - determinar (405) la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo basándose en la señal (220) de navegación recibida, la señal EP (232) y la señal LP (233);
 - determinar (406) un desplazamiento de retardo basándose en la señal (220) de navegación recibida, la señal PE (235) y la señal PL (234); y
 - determinar (407) la estimación $\hat{\tau}$ de retardo basándose en la primera estimación $\tilde{\tau}$ de retardo y basándose en el desplazamiento de retardo.

10

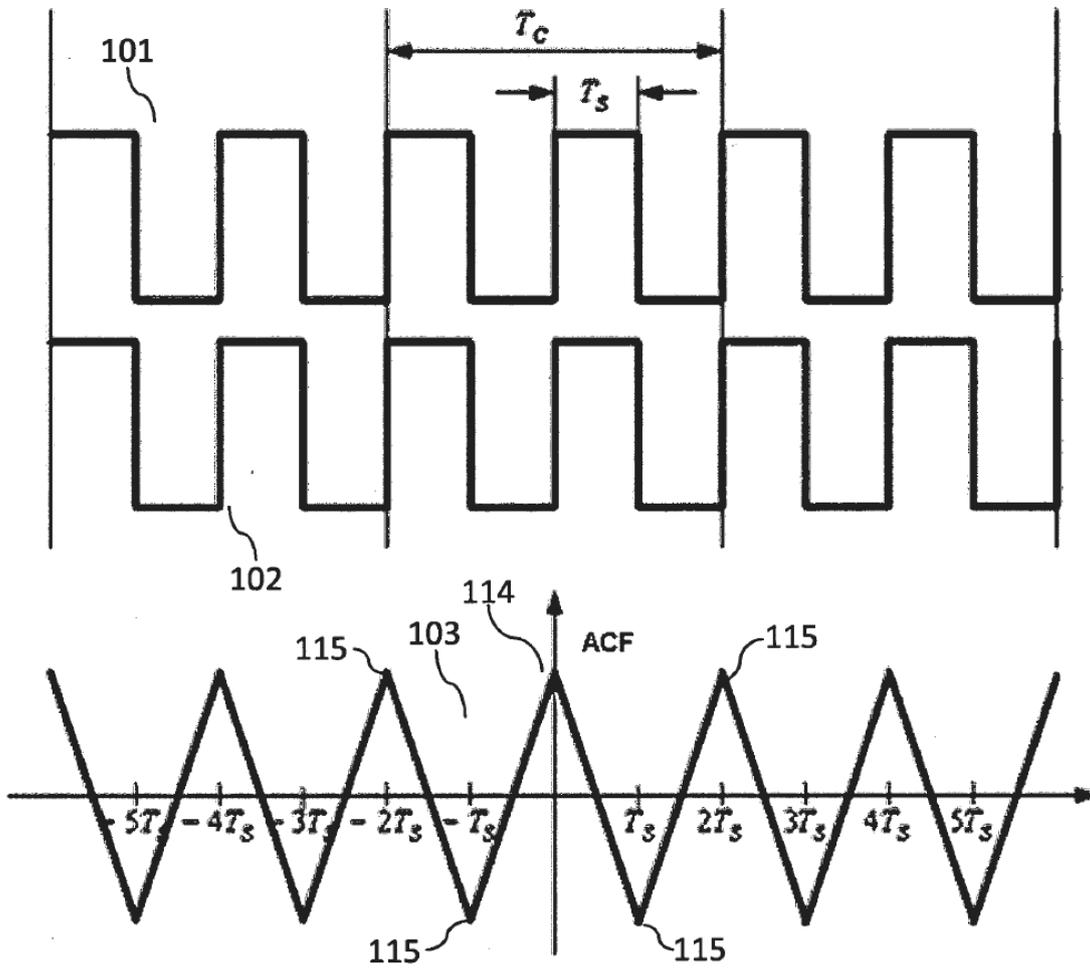


Fig. 1a

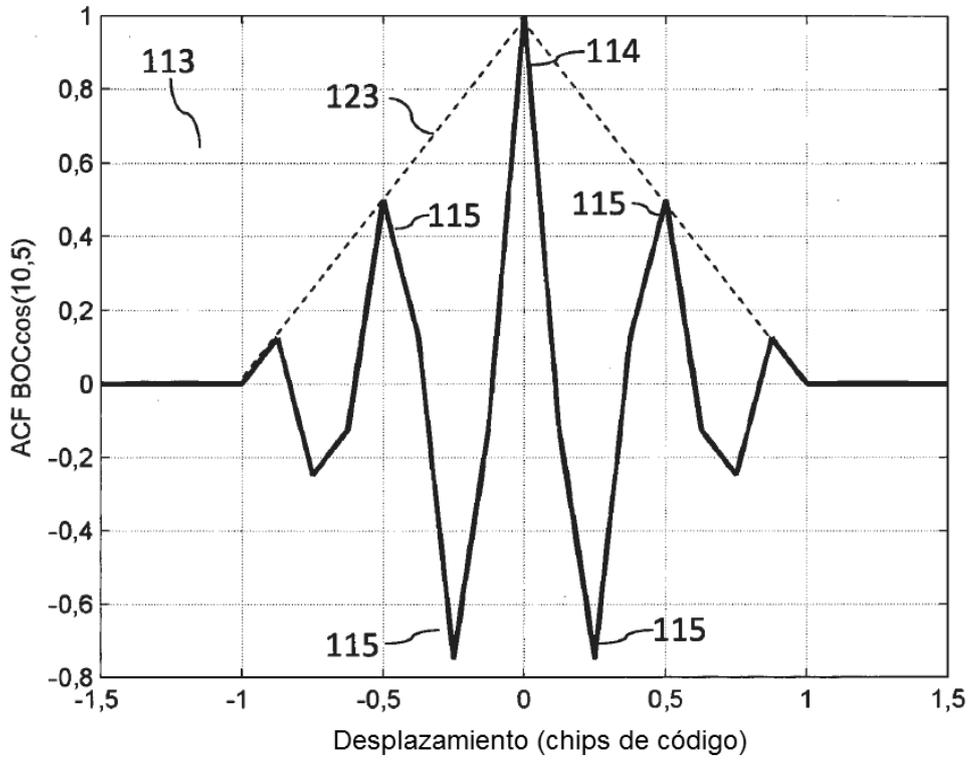


Fig. 1b

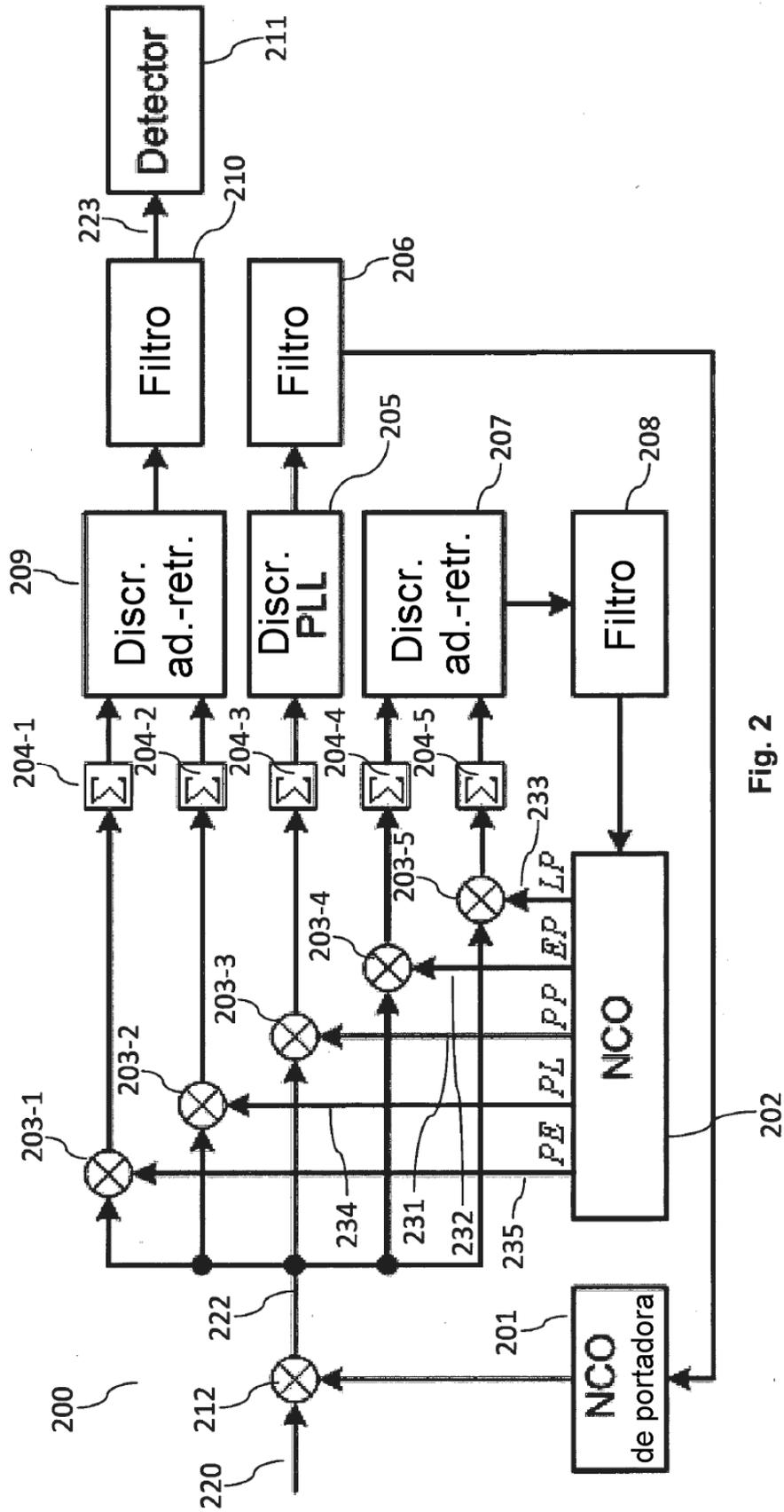


Fig. 2

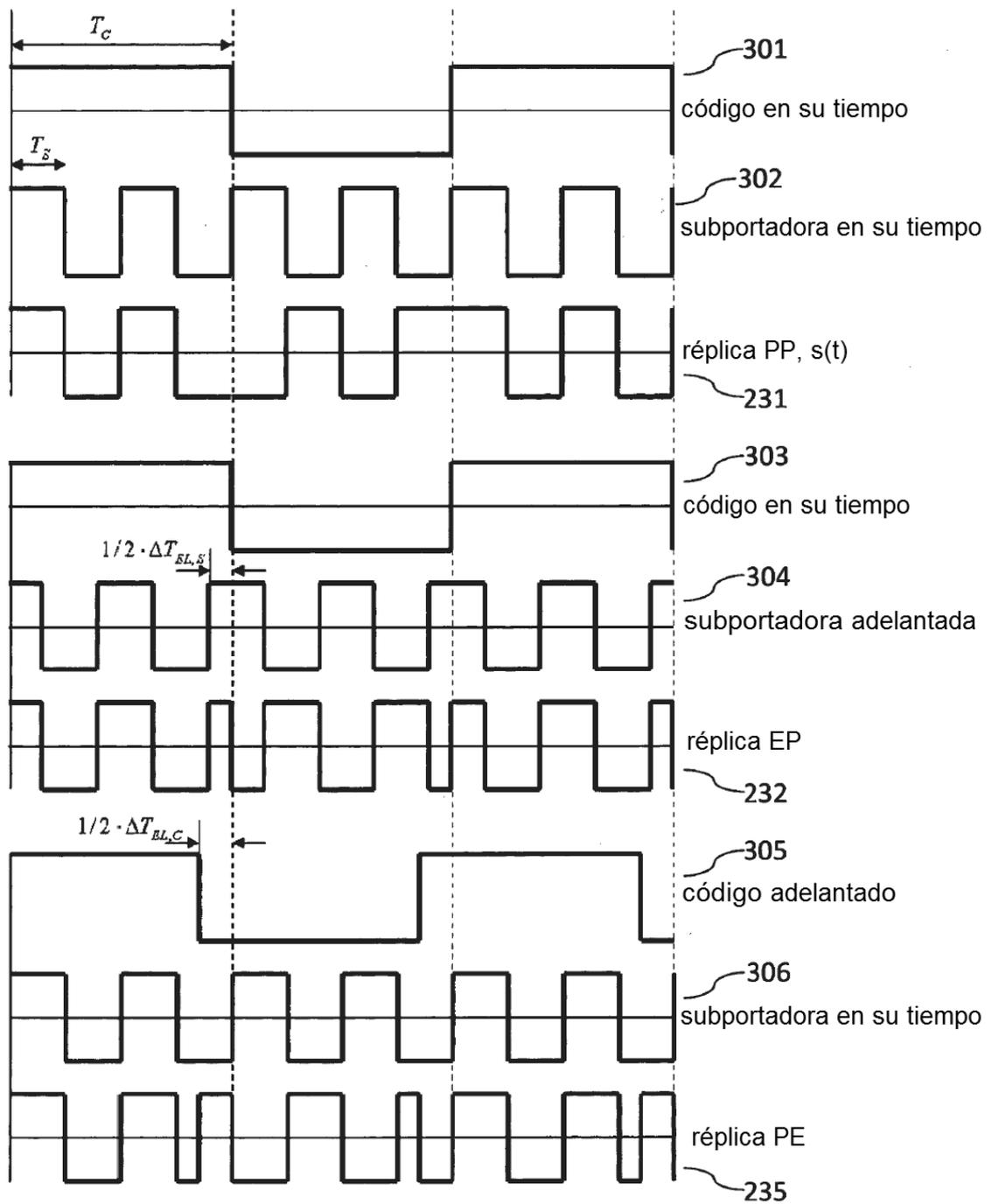


Fig. 3

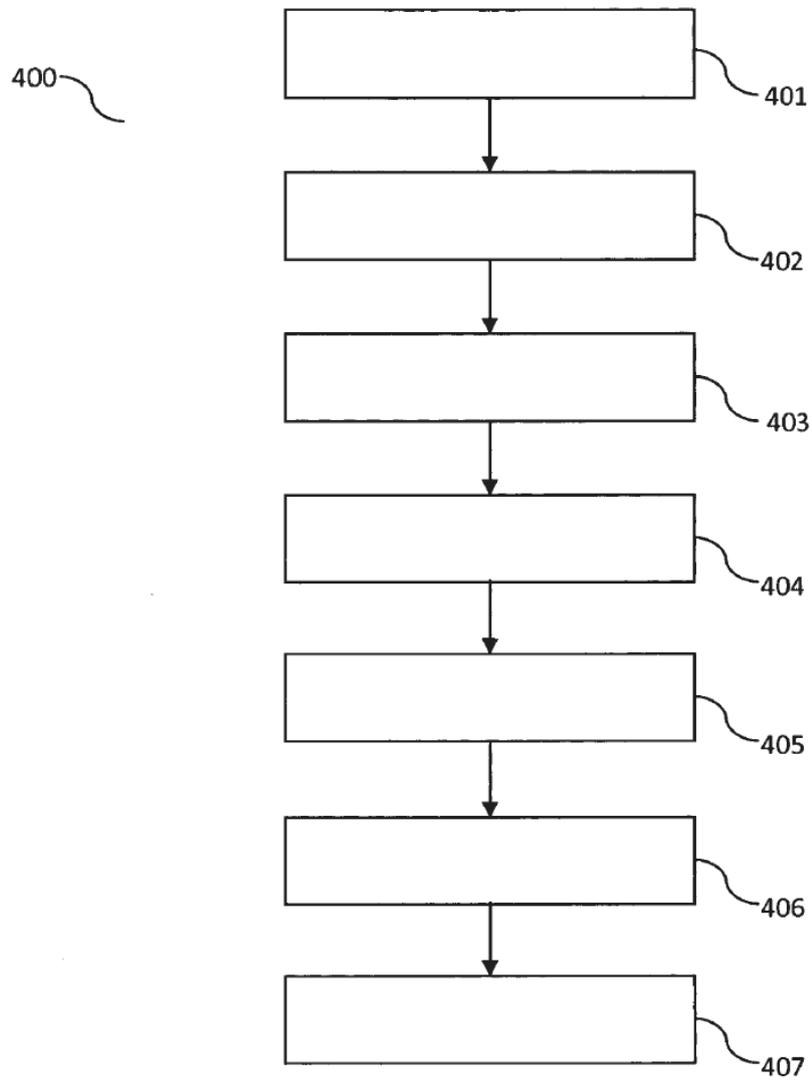


Fig. 4