(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 828 638**

(51) Int. CI.:

G01S 19/30 (2010.01)
G01S 19/29 (2010.01)
G01S 19/37 (2010.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.06.2014 PCT/GB2014/051738**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **11.12.2014 WO14195712**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.06.2014 E 14731763 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.10.2020 EP 3004928**

(54) Título: **Receptor y procedimiento para señales de espectro ensanchado de secuencia directa**

(30) Prioridad:

05.06.2013 EP 13275134

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.05.2021

(73) Titular/es:

AIRBUS DEFENCE AND SPACE LIMITED (100.0%)
Gunnels Wood Road, Stevenage
Hertfordshire SG1 2AS, GB

(72) Inventor/es:

TURNER, MICHAEL y
MAK, KWOK

(74) Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

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

DESCRIPCIÓN

Receptor y procedimiento para señales de espectro ensanchado de secuencia directa

Campo técnico

La presente invención se refiere a un aparato y procedimiento para recibir y procesar una señal de espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum). Más particularmente, la presente invención se refiere al procesamiento de una señal de DSSS obteniendo una función de correlación, para su uso en código DSSS y seguimiento de portadora, usando un procedimiento de correlación basado en transformada de tiempo y frecuencia.

Antecedentes de la invención

La modulación de espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS) se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, incluidos los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS - Global Navigation Satellite Systems), sistemas de medición de intervalo de radiofrecuencia, sistemas de transferencia de tiempo por radiofrecuencia, receptores antiinterferencias y sondeo de canales. Una señal de DSSS comprende una onda portadora que ha sido modulada en fase con una secuencia de "chips" de seudo-ruidos, teniendo cada chip una duración mucho más corta que un bit de información. La secuencia de chips puede denominarse código ensanchado. La señal de información se puede recuperar de una señal de DSSS recibida multiplicando la señal de DSSS recibida con una réplica del código ensanchado. Este procedimiento de demodulación requiere que la réplica del código ensanchado se alinee con precisión en frecuencia y fase con la señal de DSSS recibida.

Para demodular una señal de DSSS recibida, se utiliza un procedimiento de dos etapas. La primera etapa es la adquisición, esto implica establecer una estimación inicial de la frecuencia de la señal ensanchada recibida y la fase de código. Las estimaciones iniciales permiten alinear la réplica del código ensanchado dentro de ± 1 chip de código. Luego, en la segunda etapa, el seguimiento de la portadora, la réplica de la fase del código ensanchado se sincroniza con mayor precisión con la fase del código recibido para des-ensanchar la señal de DSSS recibida, y un lazo de bloqueo de frecuencia (FLL - Frequency Lock Loop) y un lazo de bloqueo de fase (PLL - Phase Lock Loop) rastrean con precisión la frecuencia y fase de la señal des-ensanchada.

Una implementación de seguimiento de código convencional se muestra en la figura 1, e incluye un lazo de bloqueo de retardo (DLL - Delay Lock Loop) que realiza correlaciones de las señales de entrada con versiones tempranas (por una fracción de un chip), puntuales (a tiempo) y tardías (por una fracción de un chip) de la réplica del código ensanchado. En detalle, como se muestra en la figura 1, el aparato de seguimiento de código recibe una señal de frecuencia intermedia (FI), que es una señal de DSSS recibida con conversión descendente. La señal de FI se mezcla con formas de onda seno y coseno generadas por un oscilador controlado numéricamente (NCO - Numerically Controlled Oscillator) 101 de la portadora para generar componentes en fase (I) y en cuadratura (Q). Los componentes I y Q están correlacionados cada uno con las versiones Temprana (Te), Puntual (P) y Tardía (Ta) de la réplica del código ensanchado, generada por un generador de códigos 102 y pasada a través de filtros Integrar y Volcar (I&D - Integrate and Dump).

Un discriminador DLL 103 emite una señal de error correspondiente a la diferencia entre las salidas del correlacionador temprano y tardío, lo que proporciona un indicador del error de lazo. La señal de error se pasa a través de un filtro de código 104 y se utiliza para activar el generador de código 102 de manera apropiada para sincronizar la señal recibida con la réplica de la secuencia de códigos.

Se implementan lazos de seguimiento separados en el dominio del tiempo para rastrear la frecuencia portadora y la fase que se requiere para la demodulación de datos. En este ejemplo, el discriminador de lazo se basa en una función ATAN 105 y utiliza el correlacionador rápido como su entrada. La salida de la función ATAN 105 se filtra en un filtro de lazo de la portadora 106 y se realimenta para controlar el NCO de la portadora 101. Un inconveniente de este diseño es que los lazos de código y de portadora están estrechamente acoplados, ya que la salida del discriminador DLL 103 en el lazo de código se verá afectada por los cambios en la frecuencia y fase del NCO de la portadora provocados por el funcionamiento del lazo de la portadora.

Otros inconvenientes de la estrategia de seguimiento de código convencional incluyen el requisito de un DLL dedicado separado, con lazos de seguimiento de fase y frecuencia asociados, por fuente de señal a rastrear. Además, la operación del DLL se basa generalmente en discriminadores que operan sobre envolventes o potencias de señal, con el resultado de que la acción del lazo es un procedimiento de promediado no coherente.

Además, las señales de navegación por satélite modernas utilizan formatos de señales de navegación más complejos,

por ejemplo, el sistema Galileo utiliza codificación de desplazamiento binario (BOC - Binary Offset Coding). Para estos tipos de formas de onda, un lazo de seguimiento de DLL convencional como se muestra en la figura 1 también puede sufrir un bloqueo falso debido al seguimiento en un lóbulo lateral de correlación, así como una precisión de seguimiento deteriorada en presencia de interferencia de trayectos múltiples.

El documento US 2004/0138811 A1 describe un receptor GPS que comprende un interruptor que se apaga para dejar de suministrar energía a una sección de retención de sincronización cuando se obtienen datos de intervalo. El documento US 4.578.678 describe un receptor GPS que tiene varios canales para una pluralidad de satélites, cada uno de los cuales incluye un mezclador complejo y un correlacionador cruzado de retraso N. "Direct-sequence spread spectrum acquisition using transform domain processing" por Brown T A y col, Military Communications Conference 1993, New York, EE. UU., vol. 3, 11 Octubre 1993, págs. 1018-1022, describe dos técnicas de dominio de transformación que realizan la adquisición de una señal de espectro ensanchado de secuencia directa.

La invención se hace en este contexto.

Resumen de la invención

Según la presente invención, se proporciona un procedimiento para procesar una señal de DSSS de espectro ensanchado de secuencia directa según la reivindicación 1, y un aparato para recibir una señal de DSSS de espectro ensanchado de secuencia directa según la reivindicación 14.

Realizar el seguimiento de portadora de DSSS puede comprender la obtención de estimaciones de fase de portadora y de código, y el procedimiento puede comprender, además: obtener una estimación de la variación de fase del código ensanchado a lo largo del tiempo basada en las estimaciones de fase de portadora y de código, usando un procedimiento de ajuste de curva. La estimación de la fase del código ensanchado a lo largo del tiempo mediante el ajuste de curva puede proporcionar un rendimiento mejorado en escenarios de baja señal a ruido. El ajuste de la curva se puede aplicar, por ejemplo, mediante regresión lineal o un filtro de Kalman.

El receptor puede ser un receptor de GNSS y el procedimiento puede comprender, además: obtener una pluralidad de seudointervalos usando la estimación obtenida de la fase de código ensanchado a lo largo del tiempo; y procesar los seudointervalos obtenidos en un algoritmo de navegación para obtener una ubicación estimada.

El procedimiento puede comprender, además: recibir una pluralidad de señales de DSSS de trayectos de señales separadas espacialmente; obtener, para cada una de las señales de DSSS recibidas, la pluralidad de funciones de correlación; alinear en el tiempo las funciones de correlación obtenidas de diferentes de las señales DSSS recibidas; y sumar las funciones de correlación alineadas en el tiempo.

El procedimiento puede comprender, además: detectar un desfase entre los picos de correlación en dos de la pluralidad de funciones de correlación; aplicar una rotación de fase a una de las dos funciones de correlación, alinear los picos de correlación en las dos funciones de correlación; y sumar las funciones de correlación con picos alineados.

El procedimiento puede comprender, además: interpolar entre fases de los picos de correlación en sucesivas funciones de correlación, obtener un valor de desplazamiento fraccional; alinear los picos de correlación en la pluralidad de funciones de correlación en base al desplazamiento fraccional obtenido; y sumar las funciones de correlación con picos alineados.

El receptor de DSSS puede ser un receptor del Sistema Global de Navegación por Satélite GNSS que comprende una pluralidad de canales de recepción, cada uno dispuesto para rastrear una señal de DSSS recibida de uno diferente de una pluralidad de satélites del GNSS, y el procedimiento puede comprender, además: compartir cada una de las muestras de señales transformadas con cada uno de la pluralidad de canales de recepción.

Obtener cada una de la pluralidad de funciones de correlación puede comprender: obtener muestras de datos del segmento de la señal de DSSS recibida; y rellenar con ceros las muestras de datos obtenidas para aumentar la resolución de frecuencia del procedimiento de correlación basado en el dominio transformado.

El procedimiento de correlación basado en transformada de tiempo y frecuencia puede utilizar una Transformada Rápida de Fourier (TRF), una Transformada de Fourier discreta no uniforme, transformadas de seno y coseno discretas o una Transformada de Fourier fraccional.

La realización de la adquisición de DSSS puede comprender: obtener una pluralidad de funciones de correlación de adquisición; estimar un desplazamiento Doppler a partir de cambios en la fase del pico de correlación dentro de las funciones de correlación de adquisición obtenidas; sumar de forma coherente las funciones de correlación de

adquisición en base al desplazamiento Doppler estimado; y determinar que la adquisición es exitosa si un pico de correlación en la función de correlación de adquisición sumada excede un umbral predeterminado.

La señal de DSSS recibida puede ser una señal modulada por modulación por desplazamiento de fase (PSK - Phase Shift Keying), y el procedimiento puede comprender además: obtener una función de correlación para cada uno de una pluralidad de símbolos de datos en la señal de DSSS recibida; estimar, para cada una de las funciones de correlación obtenidas, una polaridad de datos; eliminar la polaridad de datos estimada de cada una de las funciones de correlación obtenidas; y sumar las funciones de correlación para la pluralidad de símbolos de datos, después de eliminar las polaridades de datos estimadas.

Cada uno de la pluralidad de segmentos puede tener una longitud menor que la duración de un símbolo de datos, y obtener la función de correlación para cada uno de una pluralidad de símbolos de datos en la señal de DSSS recibida puede comprender: obtener funciones de correlación para cada uno de un número predeterminado de los segmentos; alinear las funciones de correlación obtenidas en fase, en base a una estimación Doppler obtenida durante la adquisición de DSSS; y sumar el número predeterminado de funciones de correlación alineadas para obtener una función de correlación integrada para dicho uno de la pluralidad de símbolos de datos.

El procedimiento de correlación basado en transformadas de tiempo y frecuencia puede incluir una o más operaciones en el dominio de la frecuencia para realizar la acumulación sobre una pluralidad de transformadas directas.

El procedimiento de correlación basado en la transformada de tiempo y frecuencia puede comprender además: cargar la pluralidad de muestras en una matriz columna, donde el tiempo de transformación de frecuencia se aplica a cada columna de muestras en la matriz columna para obtener una matriz de frecuencia transformada; obtener una matriz de fase basada en la estimación de fase obtenida durante la adquisición de DSSS; aplicar las correcciones de fase e integrar en el dominio de frecuencia multiplicando la matriz de frecuencia transformada por la matriz de fase y la compleja conjugada de la réplica transformada en frecuencia del código ensanchado, para obtener una matriz integrada; y obtener una función de correlación integrada aplicando la transformación de frecuencia inversa a la matriz integrada.

El procedimiento puede comprender además aplicar una corrección Doppler gruesa aplicando una rotación de fase a la conjugada compleja de la réplica transformada en frecuencia del código ensanchado.

De acuerdo con la presente invención, también se proporciona un medio de almacenamiento legible por computadora dispuesto para almacenar un programa de computadora, que cuando se ejecuta, realiza el procedimiento.

Según la presente invención, se proporciona además un aparato para recibir una señal de espectro ensanchado de secuencia directa DSSS, comprendiendo el aparato: medios para realizar la adquisición de DSSS para obtener estimaciones de un desplazamiento de frecuencia y una fase de código ensanchado; medios para obtener secuencialmente, para cada uno de una pluralidad de segmentos de una señal de DSSS recibida, una función de correlación entre el segmento de la señal de DSSS y una réplica de un código ensanchado usando un procedimiento de correlación basado en transformadas de tiempo y frecuencia con compensación Doppler gruesa, la frecuencia estimada y fase de código ensanchado; y medios para realizar el seguimiento de la portadora de DSSS rastreando la fase de un pico de correlación en las funciones de correlación obtenidas, y aplicar correcciones de fase a las funciones de correlación obtenidas para proporcionar una compensación Doppler fina, donde el procedimiento de correlación basado en la transformación de tiempo y frecuencia implica, para cada segmento de la señal de DSSS recibida, obtener una pluralidad de muestras, realizar una transformación de tiempo a frecuencia, multiplicar las muestras transformadas por una conjugada compleja del tiempo a la réplica transformada en frecuencia del código ensanchado, y realizar una transformación inversa de tiempo a frecuencia.

Los medios para realizar el seguimiento de la portadora de DSSS pueden disponerse para detectar un cambio en la fase y un índice de intervalo de pico de código del pico de correlación a lo largo del tiempo en las funciones de correlación obtenidas.

La señal de DSSS puede comprender una señal de datos modulada por un código ensanchado, realizar el seguimiento de la portadora de DSSS puede comprender ingresar la fase del pico de correlación en un lazo de seguimiento de fase dispuesto para corregir una fase de la función de correlación, y el procedimiento puede comprender además recuperar la señal de datos utilizando componentes en fase y en cuadratura del pico de correlación.

La función de correlación puede comprender una pluralidad de muestras de correlación distribuidas a través de una pluralidad de intervalos de correlación.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describen realizaciones de la presente invención solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 ilustra un aparato convencional para demodular una señal de DSSS;
la figura 2 ilustra un aparato para demodular una señal de DSSS según una realización de la presente invención;
la figura 3 ilustra un aparato para obtener una función de correlación, según una realización de la presente invención;
la figura 4 ilustra un ejemplo de una función de correlación emitida por el correlacionador de seguimiento de las figuras 2 y 3, según una realización de la presente invención;
la figura 5 ilustra un procedimiento de demodulación de una señal de DSSS , según una realización de la presente invención;
la figura 6 ilustra un aparato para demodular una señal de DSSS según una realización de la presente invención;
las figuras 7A y 7B ilustran un procedimiento de adquisición de DSSS, según una realización de la presente invención; y
las figuras 8A y 8B ilustran un procedimiento de seguimiento de DSSS, según una realización de la presente invención.

Descripción Detallada

Las figuras 2 y 3 ilustran un aparato para demodular una señal de DSSS, según una realización de la presente invención. La presente realización usa una estrategia de transformación en el dominio del tiempo y la frecuencia generalizada para realizar un seguimiento coherente de las portadoras de DSSS, usando una función de correlación compleja coherente estimada como fuente de información de fase.

Como se muestra en la figura 2, el aparato comprende un correlacionador de adquisición de DSSS 210, un correlacionador de seguimiento de DSSS 220 y un algoritmo de seguimiento de DSSS 230. Aunque en la presente realización se muestran correlacionadores de adquisición y seguimiento 210, 220 separados, en otras realizaciones un solo correlacionador puede realizar la correlación para los procedimientos de adquisición y seguimiento. En general, puede proporcionarse cualquier medio para obtener una función de correlación de adquisición y una función de correlación de seguimiento.

El correlacionador de adquisición 210 y el correlacionador de seguimiento 220 reciben, ambos, muestras I y Q de una señal de DSSS recibida. Por ejemplo, un receptor de DSSS que incluye el aparato de la figura 2 puede comprender además una antena dispuesta para recibir una señal de DSSS, un amplificador dispuesto para amplificar la señal de DSSS recibida, un módulo de conversión descendente dispuesto para convertir de forma descendente la señal de DSSS amplificada a una señal de FI y un convertidor analógico a digital (CAD) dispuesto para muestrear la señal de FI y emitir muestras digitalizadas de la señal de DSSS. Las muestras I y Q se pueden obtener a partir de las muestras de salida del CAD multiplicándolas con formas de onda de seno y coseno del oscilador local.

Además, como se muestra en la figura 2, el correlacionador de adquisición 210 y el correlacionador de seguimiento 220 reciben, ambos, muestras de una réplica del código ensanchado. Las muestras de la réplica del código ensanchado se pueden almacenar en la memoria y recuperar cuando sea necesario para la correlación, o se pueden generar a pedido mediante un generador de código de números seudo-aleatorios (NSA) dispuesto para generar el código de NSA requerido para la fuente de señal que se va a rastrear, por ejemplo, un satélite de GNSS.

En detalle, el correlacionador de adquisición 210 realiza la adquisición de DSSS para obtener estimaciones iniciales de un desplazamiento de frecuencia y una fase de código ensanchado, correlacionando las muestras de entrada I y Q con las muestras de código. Luego, una vez realizada la adquisición, el correlacionador de seguimiento 220 obtiene secuencialmente, para cada uno de una pluralidad de segmentos de la señal de DSSS recibida, una función de correlación entre el segmento de señal de DSSS y el segmento correspondiente de la réplica del código ensanchado. Las funciones de correlación se introducen en el algoritmo de seguimiento de DSSS, que realiza el seguimiento de la portadora de DSSS comparando la posición y fase de un pico de correlación en una de las funciones de correlación obtenidas con una posición y fase anteriores del pico de correlación. De esta manera, el algoritmo de seguimiento de DSSS puede monitorear los cambios en la fase pico a lo largo del tiempo, con el fin de realizar el seguimiento de la portadora y/o de la fase del código.

El correlacionador de seguimiento 220 de la presente realización aprovecha el hecho de que un procedimiento de correlación es muy similar a un procedimiento de convolución, y que una convolución en el dominio de tiempos es equivalente a una multiplicación en el dominio de frecuencias. La frecuencia estimada y la fase de código ensanchado obtenidas durante la adquisición de DSSS por el correlacionador de adquisición 210 se introducen en el correlacionador de seguimiento 220, que usa un procedimiento de correlación basado en Transformada de Tiempo y

Frecuencia para obtener la función de correlación. El procedimiento de correlación basado en Transformada de Tiempo y Frecuencia es similar al utilizado en un receptor de GNSS convencional para la adquisición de DSSS, pero en la presente realización la correlación se realiza durante el seguimiento de DSSS y la función de correlación se introduce en el algoritmo de seguimiento 230.

El algoritmo de seguimiento 230 realiza el seguimiento de la portadora de DSSS siguiendo la fase en el tiempo de un pico de correlación en las funciones de correlación recibidas del correlacionador de seguimiento 220, y aplicando correcciones de fase a las funciones de correlación obtenidas para proporcionar una compensación Doppler fina. De esta manera, la compensación Doppler fina se logra aplicando post-correcciones después de que se haya realizado la correlación. En contraste con una implementación de seguimiento convencional como la que se muestra en la figura 1, que aplica una compensación Doppler fina antes de correlacionar la señal recibida con una réplica del código ensanchado, la estrategia utilizada en la presente realización significa que el lazo de la portadora y la función de correlación primaria están desacoplados. Esto proporciona un procedimiento más robusto que es menos sensible a las estimaciones de seguimiento de la portadora, lo que permite al receptor realizar un seguimiento en entornos de muy baja señal a ruido.

El correlacionador de seguimiento 220 se muestra con más detalle en la figura 3, y comprende una primera función 221 de Transformada Rápida de Fourier (TRF) directa, una segunda función 222 de TRF y una función 223 conjugada compleja dispuesta para proporcionar la conjugada compleja de la salida de la segunda TRF 222. Las muestras I y Q de un segmento predefinido de la señal de DSSS recibida se introducen en la primera TRF 221, y las muestras de código correspondientes se introducen en la segunda TRF 222. La primera y segunda TRF 221, 222 convierten las muestras I y Q y las muestras de código, respectivamente, del dominio de tiempo al dominio de frecuencias. La longitud de cada segmento predefinido puede ser la misma o una fracción de la longitud del símbolo de datos.

Las muestras I y Q de dominio transformado se multiplican en el dominio de frecuencias por la conjugada compleja de las muestras de código de dominio transformado, y el producto de dominio de frecuencia se transforma de nuevo en el dominio de tiempo utilizando la función TRF inversa. 224. Específicamente, para cada bloque de datos de la transformada de Fourier (es decir, muestras de CAD y las muestras de NSA conjugadas para el segmento de señal de entrada que se está procesando actualmente) se realiza una multiplicación elemento por elemento y el resultado es la transformada inversa (TRFI). Como se describió anteriormente, este procedimiento es equivalente a realizar una correlación en el dominio del tiempo. La inclusión de la conjugada compleja 223 en el trayecto de la señal de código significa que el procedimiento es una correlación en lugar de una convolución.

En los casos de uso en los que se puede esperar un desplazamiento de frecuencia Doppler sustancial, el correlacionador de seguimiento se puede configurar para obtener el desplazamiento de frecuencia Doppler estimado durante la adquisición de DSSS y eliminar el desplazamiento de frecuencia Doppler estimado de las muestras de señal transformadas en el dominio de frecuencia antes de realizar la multiplicación.

Para generar secuencialmente funciones de correlación para una pluralidad de segmentos de la señal de DSSS, las muestras de cada segmento se almacenan temporalmente antes de ser introducidas al correlacionador de seguimiento 220 a su vez.

El procedimiento de TRF produce una correlación cíclica que se adapta bien a las señales de DSSS, que utilizan secuencias de código ensanchado que son generalmente cíclicas, es decir, que se repiten periódicamente. La correlación resultante proporciona la función de correlación completa, incluidas todas las fases de correlación entre las dos señales.

Aunque en la presente realización se usa una función TRF para transformar muestras del dominio de tiempo al dominio de frecuencia, y se usa una función TRF inversa para realizar la transformación inversa del dominio de frecuencia al dominio de tiempo, la invención no se limita a funciones basadas en TRF. En general, se puede utilizar cualquier función transformada adecuada, por ejemplo, una Transformada de Fourier Discreta no uniforme, transformadas discretas de seno y coseno o una Transformada de Fourier Fraccional. La función transformada inversa correspondiente se puede utilizar para convertir los resultados de la correlación de nuevo en el dominio de tiempo para obtener la función de correlación.

Las funciones de procesamiento de los correlacionadores 210, 220 y el algoritmo de seguimiento pueden, por ejemplo, dividirse en un procedimiento de canalización con coprocesadores, como Unidades de Procesamiento de Gráficos (UPG) o Procesadores de Señales Digitales (PSD) que realizan las transformadas y transformadas inversas, y una Unidad Central de Procesamiento (CPU) que realiza el control y el seguimiento de la fase y el código de la portadora.

Las realizaciones de la presente invención pueden aprovechar la disponibilidad de funciones de correlación detalladas para proporcionar, por ejemplo, capacidades mejoradas de monitoreo de señales, calidad de señal y evaluación de la

calidad del canal, mitigación de la degradación del canal, y/o compensación multitrayecto. Por ejemplo, la calidad de la señal puede monitorearse comparando la función de correlación cruzada de la señal de entrada y la réplica del código con la de la respuesta del receptor calibrado sin deterioro.

La figura 4 ilustra un ejemplo de la magnitud de una función de correlación emitida por el correlacionador de seguimiento 220 de las figuras 2 y 3. En la presente realización, la señal de DSSS recibida es una señal del Sistema de Posición Global (GPS) modulada por un código ensanchado Burdo/de Adquisición (BA) . El código ensanchado BA comprende una secuencia de NSA que se repite cada milisegundo y hay 1023 chips por secuencia de NSA. En la presente realización, la señal y el código ensanchado se muestrean a una velocidad de 20,46 millones de muestras (Mmuestras) por segundo. Por lo tanto, hay 20 muestras por chip y 20460 muestras en cada TRF y TRF inversa. La función de correlación también tendrá 20460 muestras, reflejando todas las fases del código ensanchado en comparación con la señal.

La magnitud de la función de autocorrelación de NSA del código BA del GPS es de aproximadamente 30 decibeles (dB). La figura 4 ilustra la función de correlación obtenida para los parámetros descritos anteriormente. Como se muestra en la figura 4, la función de correlación incluye un pico de correlación. El índice del intervalo de correlación en el que se produce el pico de correlación indica la fase de código de la señal recibida. Además, en la presente realización, dado que hay 20 muestras por chip, habrá 20 intervalos de correlación temprana y tardía alrededor del pico de correlación, correspondientes a diferencias de fase de código de hasta más y menos un chip entre la señal de DSSS y la réplica del código ensanchado. Con diferencias de fase de código mayores que ± 1 chip, los resultados de correlación se acercarán a cero.

La figura 5 ilustra un procedimiento para controlar un receptor de DSSS, según una realización de la presente invención. El procedimiento se puede realizar, por ejemplo, mediante el aparato que se muestra en la figura 2. Primero, en la etapa S501, se realiza la adquisición de DSSS para obtener estimaciones iniciales de un desplazamiento de frecuencia y una fase de código ensanchado, mediante la correlación de las muestras de entrada I y Q a las muestras de código. Luego, en la etapa S502, las funciones de correlación se obtienen secuencialmente para cada uno de una pluralidad de segmentos de la señal de DSSS recibida. A continuación, en la etapa S503, el seguimiento de DSSS se realiza comparando la fase y posición de un pico de correlación en una de las funciones de correlación obtenidas con una fase y posición previas del pico de correlación.

La figura 6 ilustra un aparato para demodular una señal de DSSS, según una realización de la presente invención. El aparato incluye un correlacionador de adquisición 610 y un correlacionador de seguimiento 620 similar al correlacionador de adquisición 210 y al correlacionador de seguimiento 220 de la figura 2. El aparato de la presente realización comprende además una parte de seguimiento de portadora DSSS 630-1 y una parte de seguimiento de código DSSS 630 -2.

Para adquirir y rastrear una señal de DSSS, las muestras de CAD de la señal de DSSS recibida se recopilan de una sección de recepción de hardware, se almacenan en búfer y se pasan a los canales de recepción lógicos. En los receptores de GNSS, que deben rastrear un número de satélites (por ejemplo, 30 satélites), cada canal de recepción lógico rastrea uno diferente de los satélites, utilizando el código de NSA del satélite correspondiente.

En la presente realización, la señal recibida es una señal de GPS que está desplazada por Doppler debido al movimiento del satélite con respecto al receptor. Los desplazamientos de frecuencia Doppler en señales de GNSS pueden, por ejemplo, ser de hasta ± 5 kiloHercios (kHz). Una vez que el correlacionador de adquisición 610 ha realizado la adquisición de la señal, se conocen tanto la frecuencia Doppler como la fase de código de la señal de navegación y el canal de recepción entra en la fase de seguimiento de la portadora.

En la fase de seguimiento de la portadora, las muestras de CAD correspondientes a un segmento de la señal de DSSS recibida se aplican al correlacionador 620 de seguimiento basado en TRF. El segmento en el que se va a realizar la correlación puede tener una duración de una fracción o múltiples secuencias de NSA. En la presente realización, el código ensanchado de NSA es periódico con un período de repetición de 1 ms, y las muestras de un segmento de 1 ms de la señal de DSSS recibida, correspondiente a la duración de un período de repetición del código ensanchado, se introducen en el correlacionador de seguimiento 620 .

Además, como se describió anteriormente con referencia a las figuras 2 y 3, muestras de una réplica local del código ensanchado a procesar por el canal receptor son generadas u obtenidas de un almacén de datos . Si es necesario, la réplica del código ensanchado se convierte a la misma frecuencia de muestreo que las muestras de la señal de entrada del CAD. El correlacionador de seguimiento 620 realiza una TRF y toma la conjugada de la salida compleja de la TRF para la réplica del código ensanchado. El procedimiento de muestrear la réplica del código ensanchado, realizar una TRF y tomar la conjugada compleja no tiene que realizarse durante cada correlación, y puede, por ejemplo, realizarse una vez al inicio o almacenarse previamente procesado en una memoria.

Una vez que se ha realizado la correlación, la función de correlación se envía a la parte de seguimiento de la portadora 630-1. En la presente realización se ilustra un canal de recepción, que realiza el seguimiento de DSSS para un satélite entre una pluralidad de satélites. Cuando se requiere realizar el seguimiento en paralelo de señales de una pluralidad de fuentes, por ejemplo, satélites de GNSS que utilizan cada uno un código ensanchado de NSA diferente para la transmisión, la parte de transformación inicial (por ejemplo, TRF) del procedimiento de correlación se puede compartir entre los canales de recepción para todos los satélites, lo que reduce significativamente las necesidades de procesamiento del receptor. Esto reduce la carga de procesamiento, ya que las muestras de cada segmento de la señal recibida que se va a correlacionar solo deben transformarse una vez y luego pueden compartirse con cada canal de recepción.

La parte de seguimiento de la portadora 630-1 usa la fase del intervalo de correlación de picos como entrada a un filtro de seguimiento de fase. Específicamente, la función de correlación se introduce en un módulo de corrección de fase 631 que aplica una corrección de fase, por ejemplo, multiplicando la función de correlación por $e^{-j\theta}$ para aplicar una rotación de fase. A continuación, un módulo de detección 632 detecta la fase del pico de correlación en la función de correlación corregida. Como se muestra en la figura 6, el valor de fase del pico de correlación se alimenta a un filtro de lazo 633, que podría ser, por ejemplo, un lazo PLL estándar o un filtro de Kalman, y la salida del filtro de lazo 633 se utiliza para controlar el módulo de corrección de fase 631. Por lo tanto, la corrección de fase aplicada se puede actualizar basándose en la fase detectada del pico de correlación.

La posición del pico se caracteriza por el intervalo de fase de código en el que existe el pico de correlación en relación con la fase de código de NSA. Para rastrear la posición del pico de correlación, el módulo de detección de picos 632 puede ser provisto con el índice (I) del intervalo de correlación en el que se encontró el pico de correlación durante el procedimiento de adquisición, que es la ubicación más probable del pico de correlación de la señal. El índice del intervalo del pico (I) puede incluirse en los parámetros de adquisición almacenados por el correlacionador de adquisición 610 cuando el procedimiento de correlación se completa con éxito.

En algunas realizaciones, la precisión del seguimiento de picos de correlación puede mejorarse aún más mediante el uso de interpolación sobre los intervalos de fase de código para incluir desplazamientos fraccionarios. Al tomar una serie de estimaciones de picos de correlación sucesivas y realizar una regresión lineal sobre ellas, se puede realizar una estimación de la fase de código a lo largo del tiempo. Los filtros de Kalman también se pueden incluir en el seguimiento de picos de correlación, si es necesario.

Debido a que el lazo de seguimiento de fase aplica una corrección de fase a la función de correlación de salida, a diferencia de los diseños de la técnica anterior que controlan el oscilador local que genera los componentes de la señal I y Q (ver figura 1), el lazo de seguimiento de fase se desacopla del procedimiento de correlación.

Además, en la presente realización, el valor de fase del pico de correlación detectado por el módulo de detección de pico 632 se introduce en un módulo de estimación de símbolo/dato 634, que estima el valor actual del símbolo/dato con el que se modula la señal de DSSS recibida. Después del corrector de fase 631, toda la energía de la señal en la función de correlación se alinea en fase entre los segmentos de la función de correlación. Esto significa que la energía sobre un solo símbolo se puede sumar de forma coherente. Después de sumar la energía sobre un solo símbolo, se puede estimar la polaridad del símbolo, es decir, si la componente en fase de la función de correlación sumada es mayor o menor que cero.

El módulo de estimación del símbolo/dato 634 controla un módulo de retirada de símbolo/dato 635 para retirar el símbolo/dato de la función de correlación, después del lazo de seguimiento de la fase de la portadora. Esto proporciona una función de correlación coherente que puede enviarse a la parte de seguimiento de código 630-2.

Al proporcionar una función de correlación coherente, el procedimiento de correlación se puede extender después de aplicar la corrección de la portadora, integrando una pluralidad de funciones de correlación complejas. Esto se describirá con más detalle a continuación.

Las estimaciones de polaridad de los símbolos se pueden utilizar para determinar los datos de navegación del receptor en un receptor de GNSS. Esto se puede hacer simplemente encontrando la palabra de sincronización que da la polaridad de los símbolos y la alineación para la FEC convolucional o los datos en sí.

Como se muestra en la figura 6, la parte de seguimiento de código 630-2 recibe la función de correlación coherente. Un módulo 636 de cálculo de fase de código de pico calcula la fase de código del pico de correlación, incluyendo un desplazamiento fraccional. La fase de código se introduce en un filtro de seguimiento de código 637 que proporciona una estimación de la fase de código a lo largo del tiempo, para su uso en el seguimiento del código. Aquí, cualquier desviación del pico actual con respecto a una posición anterior del pico proporciona el cambio en la fase del código,

que es en sí mismo una indicación de la presencia de desplazamiento de frecuencia Doppler, por ejemplo, debido al movimiento del satélite.

Además, en la presente realización, múltiples correlaciones complejas se suman de forma coherente en un módulo de suma y alineación de picos 638. Antes de sumar las funciones de correlación sucesivas, el módulo de suma y alineación de picos 638 comprueba la posición actual del pico de correlación con una posición anterior del pico de correlación para determinar si la ubicación del pico se ha movido. Si el pico de correlación se ha movido, la nueva función de correlación se desplaza para garantizar que la función de correlación esté alineada antes de sumar. Después de alinearse en fase, las funciones de correlación sucesivas se pueden sumar de forma coherente para dar una función de correlación integrada. Alinear y sumar funciones de correlación de esta manera puede aumentar el tiempo de integración, proporcionando una mejor recuperación de la señal.

La función de correlación integrada de salida se puede utilizar para varios aspectos del monitoreo de señales, incluido el monitoreo de la calidad de la señal (por ejemplo, deformación en la señal transmitida), detección y mitigación de trayectos múltiples, rechazo de lóbulos laterales, rechazo de suplantación de identidad, rechazos de interferencia de banda estrecha, detección y seguimiento de intercepción y retransmisión de señales de navegación, y/o combinación óptima de múltiples antenas.

Las figuras 7A y 7B ilustran un procedimiento de adquisición de DSSS usando el procedimiento de correlación basado en dominio transformado, según una realización de la presente invención. El procedimiento puede usarse para realizar la correlación sucesivamente sobre un intervalo esperado de desplazamientos de frecuencia Doppler que se van a buscar, sobre una pluralidad de códigos de expansión y sobre una pluralidad de segmentos de datos. El procedimiento puede ser utilizado por los correlacionadores de adquisición de las figuras 2 y 6 para adquirir una señal de DSSS.

En la presente realización, el procedimiento de correlación basado en dominio transformado es un procedimiento basado en TRF similar al descrito anteriormente con referencia a la figura 3, pero se entenderá que la invención no se limita a procedimientos basados en TRF y otras funciones de transformación pueden ser usadas.

Primero, en la etapa S701 el correlacionador de adquisición carga las muestras I y Q para un número predeterminado N de segmentos de señal, que son segmentos de la señal de DSSS recibida de longitud predeterminada. Por ejemplo, cada segmento puede tener la duración de un período de repetición del código ensanchado.

Luego, en la etapa S702, se aplica una TRF a las muestras I y Q para todos los segmentos de señal que se pueden compartir con otros procedimientos de adquisición o seguimiento en paralelo. Por ejemplo, en un receptor de GNSS que incluye una pluralidad de canales de recepción, cada uno dispuesto para rastrear un satélite diferente, las muestras I y Q transformadas se pueden compartir con los otros canales de recepción. A continuación, en la etapa S703, se obtienen muestras de la compleja conjugada del código ensanchado transformado que se va a buscar.

A continuación, en la etapa S704 el procedimiento de adquisición entra en un lazo que prueba cada una de las posibilidades de desplazamiento Doppler del curso. En primer lugar, en la etapa S704, las muestras transformadas por TRF de la señal se rotan cíclicamente sobre cada una de una pluralidad de intervalos de frecuencia Doppler, correspondiendo cada intervalo a una frecuencia Doppler diferente a probar. A continuación, en la etapa S705, se obtiene una función de correlación entre las muestras I y Q transformadas y las muestras de código ensanchado. La función de correlación obtenida en la etapa S705 proporciona la correlación para el desplazamiento Doppler burdo que está siendo probado por el intervalo Doppler actual (I). A continuación, en la etapa S706, los resultados de correlación para los N segmentos que se procesan se suman de manera no coherente, sumando las energías de los resultados de correlación individuales. En la etapa S707 se comprueba si el pico de correlación sumado es mayor que cualquier pico de correlación obtenido para los otros intervalos de frecuencia Doppler que ya se han probado. Si ya se ha encontrado un pico más grande, a continuación, el procedimiento pasa a la etapa S709 y se repite hasta que se hayan probado todos los intervalos de frecuencia Doppler.

Después de completar las etapas S704 a S709, se ha establecido el ajuste Doppler del curso y fase de código máximo, como consecuencia de encontrar el valor de correlación máximo a partir de la adición no coherente de las funciones de correlación. Hasta este punto, el procedimiento de adquisición es el mismo que un procedimiento de adquisición convencional.

En un procedimiento de adquisición convencional, el pico de correlación más grande obtenido durante este procedimiento para cada segmento normalmente se compara con un umbral predeterminado para determinar si se ha detectado una señal.

Sin embargo, en la presente realización, cuando se ha encontrado el pico de correlación más grande en la etapa S707, a continuación, en la etapa S708 se almacenan las funciones de correlación obtenidas usando el intervalo de

frecuencia Doppler (I) para los N segmentos, junto con el índice (I) del intervalo Doppler. A continuación, una vez que se han procesado todos los N segmentos, en la etapa S710 se estima un desplazamiento Doppler fino a partir de los cambios de fase del pico de correlación. Luego, en la etapa S711 las funciones de correlación de todos los N segmentos se rotan para alinear las funciones de correlación en fase, y en la etapa S712 las funciones de correlación se agregan de forma coherente para obtener una función de correlación integrada sobre todos los N segmentos. En la etapa S713 se comprueba si el pico de correlación es mayor que un umbral predeterminado. Si la prueba falla, a continuación, el procedimiento vuelve a la etapa S701 y carga las muestras I y Q para un nuevo conjunto de segmentos de señal. Sin embargo, si se supera el umbral predeterminado, a continuación, la adquisición tiene éxito. En la etapa S714, se almacenan los parámetros de adquisición y el procedimiento continúa hasta la etapa de seguimiento del DSSS. Cabe señalar que como este procedimiento utiliza la adición coherente de las funciones de correlación de los segmentos de datos, es significativamente más sensible que la técnica convencional. Es posible encontrar con precisión señales que de otro modo no serían detectables, con la ubicación de correlación correcta y la estimación Doppler fina de menos de un Hertz.

El uso de la fase del pico de correlación y la suma coherente en la fase de adquisición proporciona una mejora significativa en la sensibilidad del procedimiento de adquisición.

Las figuras 8A y 8B ilustran un procedimiento de seguimiento de la portadora de DSSS, según una realización de la presente invención. El procedimiento puede realizarse, por ejemplo, mediante el aparato de las figuras 2 o 6. El procedimiento parte de los datos adquiridos en un procedimiento de adquisición, por ejemplo, el procedimiento de las figuras 7A y 7B, y luego refina sucesivamente las estimaciones de velocidad de fase y fase de la portadora para cada función de correlación antes de la suma. Esto permite que cada función de correlación se alinee con precisión antes de la suma, con el resultado de que se pueden lograr tiempos de integración muy largos.

Con más detalle, en la etapa S801 se cargan los parámetros de adquisición, incluyendo la ubicación de correlación de pico y el desplazamiento de frecuencia Doppler que se determinaron durante la adquisición. A continuación, en la etapa S802 se cargan las secuencias de código ensanchado transformadas a correlacionar, y en la etapa S803 se cargan muestras de señales de entrada para un segmento de duración predeterminada. La duración predeterminada puede denominarse período de correlación principal.

A continuación, en la etapa S804, el procedimiento de correlación de seguimiento se realiza usando un procedimiento de correlación basado en Transformada de Tiempo y Frecuencia como se describe anteriormente con referencia a la figura 3. El procedimiento continúa realizando correlaciones para segmentos sucesivos de la señal de DSSS recibida hasta que se determina en la etapa S805 que se ha obtenido un número suficiente de correlaciones para cubrir un número predeterminado de símbolos de datos. Dependiendo de la realización particular, la señal de DSSS puede transmitirse con una duración de símbolo de datos que es similar al período de repetición del código ensanchado, o que es mucho mayor que el período de repetición del código ensanchado. En el aparato de la figura 6, las etapas S801 a S805 son realizadas por el correlacionador de seguimiento 620.

Una vez que se ha obtenido un número suficiente de funciones de correlación, en la etapa S806 cada una de las funciones de correlación se alinea en fase con las otras funciones de correlación usando la estimación actual del valor de desplazamiento de frecuencia Doppler. En el aparato de la figura 6, la etapa S806 la realiza el corrector de fase 631. A continuación, en la etapa S807 se suman las funciones de correlación alineadas de un símbolo de datos y se estima la polaridad del símbolo. La etapa S807 corresponde a las funciones realizadas por el corrector de fase 631 en la figura 6, que alinea las funciones de correlación aplicando correcciones de fase, y por el estimador del símbolo/dato 634, que estima la polaridad del símbolo.

A continuación, en la etapa S808 se elimina la polaridad del símbolo de datos. En el aparato de la figura 6, la etapa S808 la realiza el módulo que elimina el símbolo/dato 635. En la etapa S809 se usa un algoritmo de seguimiento de fase de la portadora para eliminar cualquier desplazamiento de fase residual de una pluralidad de funciones de correlación y para actualizar la estimación Doppler. La etapa S809 corresponde a la función del filtro del lazo 633 en la figura 6.

Una vez que se han eliminado la polaridad del símbolo de datos y cualquier desfase residual, en la etapa S810 se pueden sumar las funciones de correlación a través del número predeterminado de símbolos de datos para obtener una función de correlación integrada. A continuación, en la etapa S811 se actualiza la nueva ubicación del pico de correlación, se usa la interpolación para obtener un desplazamiento de muestra fraccional y se almacenan la función de correlación integrada, la nueva ubicación del pico y el desplazamiento fraccional. Las etapas S810 y S811 corresponden a las funciones realizadas por el módulo de cálculo de fase de código del pico 636 y el filtro de seguimiento del código 637 de la figura 6.

A continuación, en la etapa S812 se verifica si hay un número suficiente de funciones de correlación integradas para

realizar una integración final. Aquí, puede ser necesario un segundo número predeterminado de funciones de correlación integradas. Si hay funciones de correlación integradas insuficientes, el procedimiento vuelve a la etapa S803 y continúa hasta que haya un número suficiente disponible, y a continuación procede a la etapa S813.

En la etapa S813, cada una de las funciones de correlación integradas almacenadas se rota en fase para alinear los picos en diferentes funciones de correlación integradas, permitiendo que las funciones de correlación integradas se sumen de forma coherente. En el aparato de la figura 6, la etapa S813 se realiza mediante el módulo 638 de alineación y suma de picos. Finalmente, en la etapa S814 se estima la fase del código a lo largo del tiempo usando una técnica de ajuste de curvas, por ejemplo, regresión lineal.

En algunas realizaciones, las etapas S812 y S813 se pueden omitir, y la etapa S814 se puede realizar directamente en la función de correlación integrada obtenida en la etapa S810.

En la etapa S803 de la figura 8A, son posibles varias estrategias al seleccionar el período de correlación primario. Por ejemplo, la señal de DSSS recibida puede ser modulada por modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK - Binary Phase Shift Keying) con bits de datos, y el período de correlación primario puede seleccionarse considerando la duración de un bit de datos. Si hay una transición de fase durante un período de correlación, parte de la integración se realizará con una polaridad de símbolo y el resto de la integración se realizará con la polaridad opuesta. En el peor de los casos, la transición ocurre a la mitad del período de correlación, sin producir una correlación general.

Si el período de datos es mucho más largo que el período de correlación, esto no es un problema significativo. Por ejemplo, para GPS, la velocidad de datos es de 50 bits por segundo (bps), por lo que la duración de cada bit de datos es de 20 ms. En este ejemplo, cuando el período de correlación es el mismo que el período de repetición del código de expansión de NSA, que es 1 ms para GPS, la pérdida máxima que puede resultar de una transición de datos es de 1/20° de la amplitud de la señal, equivalente a menos de 0,5 dB. Es decir, cuando se suman un total de 20 funciones de correlación, cada una correspondiente a un segmento de 1 ms para obtener una función de correlación integrada a través de un símbolo de datos, correspondiente a una porción de 20 ms de la señal recibida, como máximo una de las 20 funciones de correlación va a incluir una transición de datos. Como se explicó anteriormente, si la transición de datos ocurre a la mitad de una de las 20 funciones de correlación, esa función de correlación no producirá una correlación, lo que conducirá a una reducción de 1/20° cuando las funciones de correlación se suman durante un período de datos. Este es el peor de los casos, cuando se produce una transición de 1 a 0, o viceversa, durante el período de 20 ms cubierto por la función de correlación integrada. Dependiendo de los datos transmitidos, es posible que no haya transición de datos dentro de la función de correlación integrada durante un período de 20 ms, específicamente, si la función de correlación incluye segmentos de dos bits de datos con el mismo valor, es decir, 11 o 00.

Sin embargo, en algunas señales de DSSS, el período del símbolo de datos puede ser similar al período de repetición del código ensanchado. Para algunas señales de GNSS modernas, incluido Galileo, el período del símbolo es el mismo que la longitud de NSA. En tales sistemas, el período de correlación primario debe elegirse preferiblemente para que tenga una longitud que sea una fracción predeterminada del período de repetición de NSA. Esto proporciona la ventaja de que se reduce la probabilidad de que ocurra una transición de datos en cualquier segmento dado. A bajas relaciones señal a ruido (RSR), el uso de segmentos tan cortos puede significar que se deben sumar varias funciones de correlación antes de ingresarlas en el algoritmo de seguimiento de fase, lo que, a su vez, puede requerir una buena estimación del desplazamiento de frecuencia Doppler.

Se han descrito realizaciones de la invención en las que se usa un procedimiento de correlación basado en Transformada de Tiempo y Frecuencia para obtener una función de correlación durante el seguimiento de DSSS. La función de correlación se puede utilizar como entrada en un algoritmo de seguimiento de fase, y el error se utiliza para corregir la función de correlación. Una ventaja de esta estrategia es el desacoplamiento de la función de correlación primaria (por ejemplo, los correlacionadores de seguimiento de las figuras 2 o 6) del lazo de la portadora. Esto proporciona un procedimiento de seguimiento más sólido que es menos sensible a las estimaciones de seguimiento de la portadora, lo que permite al receptor realizar un seguimiento en entornos de muy baja señal a ruido.

Una vez que se ha corregido la función de correlación para la fase de la portadora, las correlaciones sucesivas a través de la función de correlación completa se pueden sumar para producir una integración coherente. Mediante el seguimiento de la fase de la correlación máxima y el desplazamiento de la función de correlación en la fase de forma adecuada, se pueden producir períodos de integración muy largos e incluso ilimitados.

Además, como se describió anteriormente, para las señales de GNSS, los desplazamientos de frecuencia Doppler pueden ser de hasta ± 5 kHz. En este escenario, si la correlación de TRF se realiza en intervalos de 1 ms, por ejemplo, los intervalos de TRF serán de 1 KHz. El desplazamiento de frecuencia Doppler burdo debe eliminarse de los datos muestreados en el dominio de la frecuencia, antes de la multiplicación con la compleja conjugada de la transformada

de los NSA de referencia. En realizaciones alternativas, el Doppler del curso puede eliminarse mediante un desplazamiento cíclico de los NSA transformados.

Sin embargo, incluso después de que se haya eliminado la frecuencia de desplazamiento Doppler burdo, puede haber una frecuencia Doppler residual que puede rotar la función de correlación resultante en ± π sobre cada función de correlación sucesiva. Este Doppler residual reducirá la amplitud de la correlación, debido al cambio de fase de la señal en comparación con la referencia del receptor local. Esta reducción de amplitud sigue una función sincrónica de la frecuencia Doppler residual, lo que resulta en una reducción máxima de más de la mitad de la amplitud de correlación máxima posible (reducción de 3 dB), que se produce cuando hay un cambio de fase de ± π sobre correlaciones sucesivas.

Para mitigar esta pérdida de amplitud de correlación, en algunas realizaciones de la presente invención la resolución de frecuencia de la transformada de Fourier inicial se incrementa rellenando con ceros la señal muestreada y aumentando la longitud de referencia en consecuencia. Al aumentar la resolución de frecuencia de esta manera, el cambio de fase de la correlación se puede limitar a ±π/2 o menos. Esto da el peor de los casos en el que hay un cambio de fase de ±π/2 entre funciones de correlación sucesivas, resultando en aproximadamente 1 dB de pérdida de implementación. Por lo tanto, la pérdida máxima se puede mejorar mediante el uso de relleno de ceros para aumentar la resolución de frecuencia de la TRF.

Además, en algunas realizaciones, el receptor de DSSS puede incluir dos o más antenas separadas, cadenas de RF y canales de muestreo de FI. En tales realizaciones, el receptor puede disponerse para alinear en el tiempo las funciones de correlación de diferentes antenas, y sumar de forma coherente las funciones de correlación alineadas en el tiempo de las diferentes antenas. Esto permite que las salidas de cada antena se combinen de manera coherente cuando las antenas están siguiendo la misma fuente de señal, lo que puede proporcionar mejoras significativas en presencia de interferencia. Preferiblemente, el receptor debería alinear en el tiempo las funciones de integración entre las dos o más fuentes al menos al momento de correlación primaria más cercano, o mejor aún al chip más cercano. En algunas realizaciones, se puede detectar la relación señal a ruido (RSR) de cada antena, y las funciones de correlación se pueden ponderar antes de sumar para dar una combinación óptima, por ejemplo, aplicando una ponderación mayor a las funciones de correlación de una antena una alta RSR.

Se han descrito realizaciones de la invención en las que se usa un procedimiento basado en transformadas de tiempo y frecuencia, como el que se muestra en la figura 3, para obtener funciones de correlación que luego pueden integrarse en el dominio de tiempo. Por ejemplo, como se describió anteriormente con referencia a las etapas S806 y S807 de la figura 8A, para una estimación de símbolo óptima es mejor integrar sobre un símbolo completo. En el procedimiento de la figura 8A, esto se logra estableciendo la función de correlación por período de transformación directa, antes de alinear en fase y sumar las funciones de correlación. Sin embargo, la invención no se limita a la integración en el dominio de tiempo. Al realizar la acumulación sobre una pluralidad de transformadas directas en el dominio de la frecuencia, se puede aplicar una única TRF inversa a los datos de una pluralidad de TRF directas. Específicamente, cada transformada directa implica aplicar la transformación de tiempo a frecuencia a un conjunto de muestras para un segmento de la señal de DSSS, y la acumulación se realiza para los conjuntos transformados de muestras para una pluralidad de segmentos de la señal de DSSS. Esta estrategia reduce el número de TRF inversas necesarias para generar la función de correlación completa en todos los casos, incluido un caso de señal única.

La figura 9 ilustra una realización de la invención en la que la integración se realiza en el dominio de frecuencia. Se puede utilizar un procedimiento como el que se muestra en la figura 9 para aplicar las correcciones de fase para la compensación de Doppler fina en el dominio de frecuencia y para obtener las funciones de correlación realizando la integración en el dominio de frecuencia antes de realizar la transformación de frecuencia inversa.

Primero, en la etapa S901, las muestras de señal se cargan en una matriz columna, en la que cada columna es la longitud del período de la transformada TRF. Preferiblemente, cada columna es contigua y se proporcionan suficientes columnas para cubrir un símbolo completo. Un ejemplo de una matriz S de muestras sin procesar en columnas es el siguiente:

$$S = \begin{bmatrix} S_{1,1} & S_{1,2} & \Lambda & S_{1,m} \\ S_{2,1} & S_{2,2} & \Lambda & S_{2,m} \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \Lambda & \mathrm{M} \\ S_{n,1} & S_{n,2} & \Lambda & S_{n,m} \end{bmatrix}$$

Luego, en la etapa S902 se realiza una TRF en las columnas para obtener una matriz transformada en frecuencia con las TRF en columnas, como se muestra a continuación:

$$f(S)=\begin{bmatrix} f_1(S_1) & f_1(S_2) & \Lambda & f_1(S_m) \\ f_2(S_1) & f_2(S_2) & \Lambda & f_2(S_m) \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \Lambda & \mathbf{M} \\ f_n(S_1) & f_n(S_2) & \Lambda & f_n(S_m) \end{bmatrix}$$

A continuación, en la etapa S903 se obtiene una matriz integrada multiplicando por matriz la matriz transformada en frecuencia por una matriz de fase. La matriz de fase se obtiene utilizando el cambio promedio de fase calculado durante el procedimiento de adquisición y mantenido en el lazo de seguimiento. La multiplicación de la matriz por la matriz de fase tiene el efecto de aplicar una compensación Doppler fina, mientras que simultáneamente se realiza la integración entre las TRF en la matriz de frecuencia transformada. A continuación, se muestra un ejemplo de una matriz de fase:

$$\theta=\begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\theta} \\ e^{-j2\theta} \\ \mathbf{M} \\ e^{-j(n-1)\theta} \end{bmatrix}$$

A continuación, en la etapa S904, la conjugada compleja de la TRF de la secuencia de NSA se gira para eliminar el desplazamiento Doppler burdo establecido durante la adquisición. En otras realizaciones, en lugar de rotar la TRF de la secuencia de NSA, se puede aplicar una rotación a la matriz transformada en frecuencia de muestras para aplicar una compensación Doppler gruesa. Sin embargo, rotar los NSA es más eficiente, ya que puede realizarse una vez y a continuación reutilizarse para correlaciones posteriores. Un ejemplo de una TRF columna de una secuencia de NSA es el siguiente:

$$f(PRN)=\begin{bmatrix} f_1(PRN) \\ f_2(PRN) \\ \mathbf{M} \\ f_n(PRN) \end{bmatrix}$$

A continuación, en la etapa S905 se multiplica la matriz obtenida en la etapa S903, elemento por elemento, por la conjugada compleja rotada de la TRF de la secuencia de NSA, para obtener una matriz con corrección Doppler. Finalmente, en la etapa S906 se realiza una TRFI sobre la matriz con corrección Doppler obtenida en la etapa S905 para obtener una función de correlación integrada sobre el período del símbolo.

La función general realizada por las etapas que se muestran en la figura 9 se puede resumir de la siguiente manera:

$$C = IFFT\left(f(S)\theta\, o\left(\overline{f(PRN)}\right)\right)$$

donde *C* es la función de correlación, *f*(*NSA*) es la conjugada compleja de la secuencia TRF NSA y denota la multiplicación de matrices elemento por elemento. Este procedimiento reduce la carga de procesamiento en aproximadamente un factor del número de TRF sumadas, que en el ejemplo descrito anteriormente es m TRF.

En realizaciones alternativas, el orden de las etapas de multiplicación de matrices S903 y S905 puede conmutarse. Esto es necesario cuando, por ejemplo, las secuencias de NSA no son simétricas o cuando se usa relleno de ceros para eliminar la simetría con el fin de aumentar la resolución de frecuencia como parte de la transformada de frecuencia. Además, aunque se usa un procedimiento basado en matrices en la realización de la figura 9, en otras realizaciones se podrían usar diferentes técnicas matemáticas para aplicar correcciones de fase y realizar la integración en el dominio de frecuencia.

La integración en el dominio de frecuencia reduce el número de TRFI, lo que a su vez permite un seguimiento más rápido, ya que la TRFI es una operación de procesamiento intenso. Aunque las funciones TRF e TRFI se usan en la figura 9, en otras realizaciones en general se puede usar cualquier función de transformada adecuada, por ejemplo, una transformada discreta de Fourier no uniforme, una transformada de seno y coseno discreta o una transformada

fraccional de Fourier, junto con la correspondiente función de transformada inversa.

Aunque se han descrito aquí determinadas realizaciones en esta invención con referencia a los dibujos, se entenderá que serán posibles muchas variaciones y modificaciones sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para procesar una señal de espectro ensanchado de secuencia directa DSSS, comprendiendo el procedimiento:

realizar la adquisición de DSSS (210) para obtener estimaciones de un desplazamiento de frecuencia y una fase de código ensanchado; y
realizar el seguimiento de la portadora de DSSS (220) basado en el desplazamiento de frecuencia estimado y la fase de código ensanchado mediante:

la utilización de un procedimiento de correlación basado en transformadas de tiempo y frecuencia para obtener secuencialmente una función de correlación compleja entre un segmento de señal de DSSS y una réplica de un código ensanchado, para cada uno de una pluralidad de segmentos de una señal de DSSS recibida, en base al desplazamiento de frecuencia estimado y la fase del código ensanchado para la compensación de Doppler gruesa;
la determinación de una fase de la portadora de código ensanchado correspondiente a un pico de correlación en la función de correlación compleja;
la alineación en fase de las funciones de correlación complejas aplicando una rotación de fase a una o más de las funciones de correlación complejas usando la fase de la portadora de código ensanchado determinada, para compensar un desplazamiento de frecuencia Doppler entre las funciones de correlación complejas sucesivas;
la suma de las funciones de correlación complejas alineadas en fase sobre un símbolo de datos; y
la estimación de una polaridad del símbolo de datos basado en las funciones de correlación complejas sumadas,

donde el procedimiento de correlación basado en la transformación de tiempo y frecuencia implica, para cada uno de la pluralidad de segmentos de la señal de DSSS recibida, obtener una pluralidad de muestras, realizar una transformación de tiempo a frecuencia (221), multiplicar las muestras transformadas por una conjugada compleja (223) del tiempo hasta la réplica transformada en frecuencia (222) del código ensanchado, y realizar una transformación inversa de tiempo a frecuencia (224).

2. El procedimiento de la reivindicación 1, donde realizar el seguimiento de la portadora de DSSS comprende obtener estimaciones de la fase de la portadora y del código, comprendiendo además el procedimiento:
obtener una estimación de la fase del código ensanchado a lo largo del tiempo basándose en las estimaciones de la fase de la portadora y del código, usando un procedimiento de ajuste de curva.

3. El procedimiento de la reivindicación 2, donde el receptor es un receptor de GNSS, y el procedimiento comprende, además:

obtener una pluralidad de seudointervalos usando la estimación obtenida de la fase de código ensanchado a lo largo del tiempo; y
procesar los seudointervalos obtenidos en un algoritmo de navegación para obtener una ubicación estimada.

4. El procedimiento de la reivindicación 1, 2 o 3, que comprende, además:

recibir una pluralidad de señales de DSSS de trayectos de señales espacialmente separados;
obtener, para cada una de las señales de DSSS recibidas, la pluralidad de funciones de correlación;
alinear en el tiempo las funciones de correlación obtenidas de las diferentes señales de DSSS recibidas; y
sumar las funciones de correlación alineadas en el tiempo.

5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además:

interpolar entre fases de los picos de correlación en sucesivas funciones de correlación, para obtener un valor de desplazamiento fraccional;
alinear los picos de correlación en la pluralidad de funciones de correlación en base al desplazamiento fraccional obtenido; y
sumar las funciones de correlación alineadas con picos.

6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el receptor de DSSS es un receptor del Sistema de Navegación por Satélite Global GNSS que comprende una pluralidad de canales de recepción, cada uno dispuesto para rastrear una señal de DSSS recibida desde uno diferente de una pluralidad de satélites GNSS, y el procedimiento comprende, además:

compartir cada una de las muestras de señales transformadas con cada uno de la pluralidad de canales de recepción.

7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la obtención de cada una de la pluralidad de funciones de correlación comprende:

obtener muestras de datos del segmento de la señal de DSSS recibida; y rellenar con ceros las muestras de datos obtenidas para aumentar la resolución de frecuencia del procedimiento de correlación basado en dominio transformado, y/o
donde el procedimiento de correlación basado en transformadas de tiempo y frecuencia usa una Transformada Rápida de Fourier TRF, una transformada de Fourier discreta no uniforme, transformadas de seno y coseno discretas o una transformada de Fourier fraccional.

8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde realizar la adquisición de DSSS comprende:

obtener una pluralidad de funciones de correlación de adquisición;
estimar un desplazamiento Doppler a partir de cambios en la fase del pico de correlación dentro de las funciones de correlación de adquisición obtenidas;
sumar de forma coherente las funciones de correlación de adquisición en base al desplazamiento Doppler estimado; y
determinar que la adquisición es exitosa si un pico de correlación en la función de correlación de adquisición sumada excede un umbral predeterminado.

9. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la señal de DSSS recibida es una señal modulada de modulación por desplazamiento de fase PSK, comprendiendo el procedimiento, además:

obtener una función de correlación para cada uno de una pluralidad de símbolos de datos en la señal de DSSS recibida;
estimar, para cada una de las funciones de correlación obtenidas, una polaridad de datos;
eliminar la polaridad de datos estimada de cada una de las funciones de correlación obtenidas; y
sumar las funciones de correlación para la pluralidad de símbolos de datos, después de eliminar las polaridades de datos estimadas.

10. El procedimiento de la reivindicación 9, donde la pluralidad de segmentos tiene cada uno una longitud menor que la duración de un símbolo de datos, y la obtención de la función de correlación para cada uno de una pluralidad de símbolos de datos en la señal de DSSS recibida comprende:

obtener funciones de correlación para cada uno de un número predeterminado de segmentos;
alinear las funciones de correlación obtenidas en fase, en base a una estimación Doppler obtenida durante la adquisición de DSSS; y
sumar el número predeterminado de funciones de correlación alineadas para obtener una función de correlación integrada para uno de dicha pluralidad de símbolos de datos.

11. El procedimiento de la reivindicación 1, 2 o 3, donde el procedimiento de correlación basado en la transformación de tiempo y frecuencia incluye una o más operaciones en el dominio de frecuencia para realizar la acumulación sobre una pluralidad de transformadas directas.

12. El procedimiento de la reivindicación 11, donde el procedimiento de correlación basado en transformadas de tiempo y frecuencia comprende, además:

cargar la pluralidad de muestras en una matriz columna, donde la transformación de frecuencia se aplica a cada columna de muestras en la matriz columna para obtener una matriz de frecuencia transformada;
obtener una matriz de fase basada en la estimación de fase obtenida durante la adquisición de DSSS;
aplicar las correcciones de fase e integrar en el dominio de frecuencia multiplicando la matriz de frecuencia transformada por la matriz de fase y la compleja conjugada de la réplica transformada en frecuencia del código ensanchado, para obtener una matriz integrada; y
obtener una función de correlación integrada aplicando la transformación de frecuencia inversa a la matriz integrada.

13. El procedimiento de la reivindicación 11 o 12, que comprende, además:
aplicar corrección Doppler gruesa aplicando una rotación de fase a la conjugada compleja de la réplica transformada en frecuencia del código ensanchado.

14. Aparato para recibir una señal de espectro ensanchado de secuencia directa DSSS, comprendiendo el aparato :

medios para realizar la adquisición de DSSS para obtener estimaciones de un desplazamiento de frecuencia y una fase de código ensanchado;
medios para realizar el seguimiento de la portadora de DSSS utilizando un procedimiento de correlación basado en transformada de tiempo y frecuencia para obtener secuencialmente una función de correlación compleja entre un segmento de señal de DSSS y una réplica de un código ensanchado, para cada uno de una pluralidad de segmentos de una señal de DSSS recibida, basado en la frecuencia estimada y la fase del código ensanchado para la compensación de Doppler gruesa,
donde los medios para realizar el seguimiento de la portadora de DSSS comprenden:

un detector de picos configurado para determinar una fase portadora de código ensanchado correspondiente a un pico de correlación en la función de correlación compleja;
un corrector de fase configurado para alinear en fase las funciones de correlación complejas aplicando una rotación de fase a una o más de las funciones de correlación complejas usando la fase portadora de código ensanchado determinada, para compensar un desplazamiento de frecuencia Doppler entre las funciones de correlación complejas sucesivas;
un módulo sumador configurado para sumar las funciones de correlación complejas alineadas en fase sobre un símbolo de datos; y
un estimador de símbolo de datos configurado para estimar una polaridad del símbolo de datos basado en las funciones de correlación complejas sumadas,
donde el procedimiento de correlación basado en la transformación de tiempo y frecuencia implica, para cada uno de la pluralidad de segmentos de la señal de DSSS recibida, obtener una pluralidad de muestras, realizar una transformación de frecuencia para transformar las muestras del dominio del tiempo al dominio de frecuencia, multiplicando las muestras transformadas por una conjugada compleja de la réplica transformada en frecuencia del código ensanchado y realizar una transformación de frecuencia inversa.

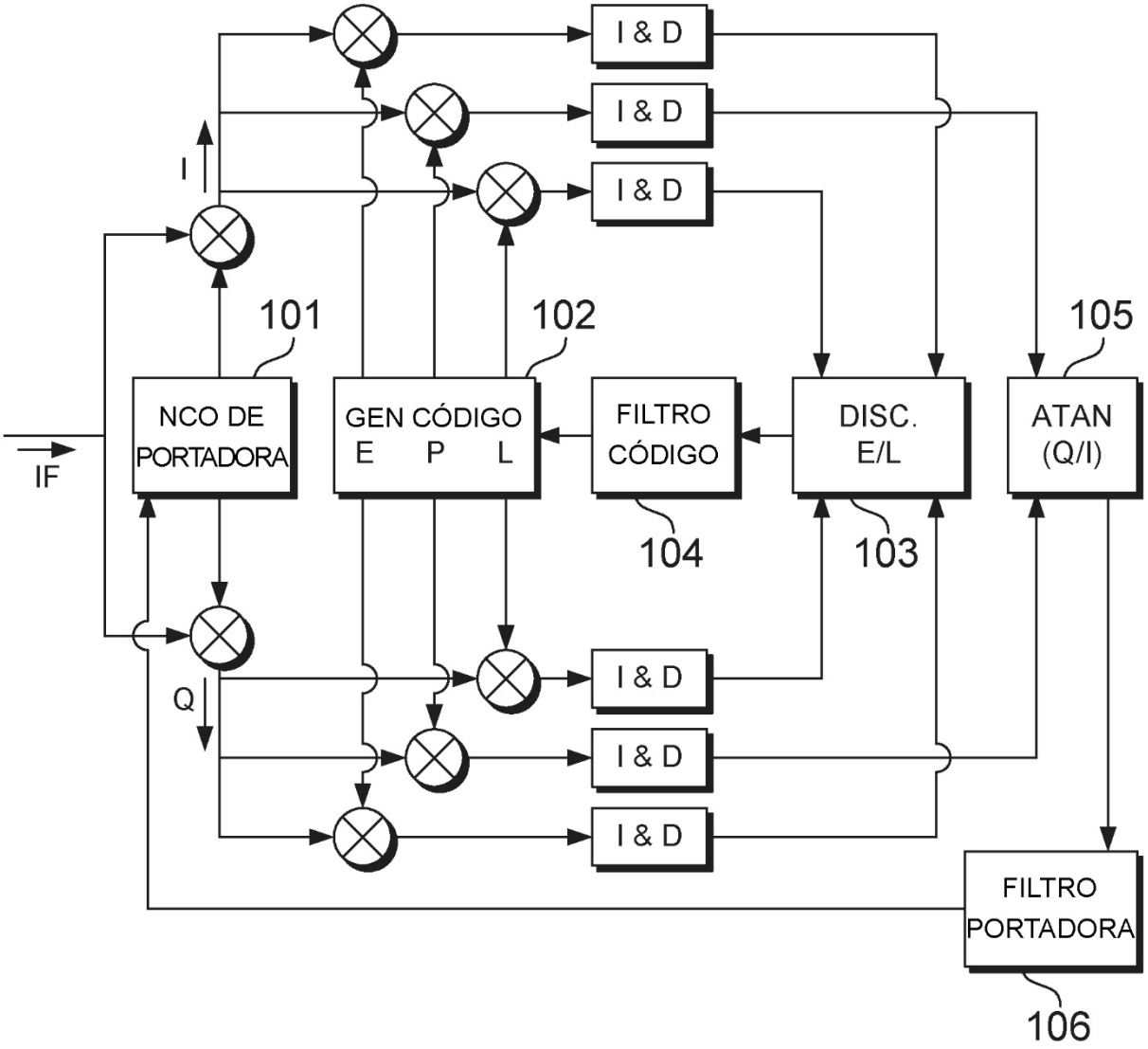

I & D
I & D
I & D
I
101
102
105
NCO DE PORTADORA
GEN CÓDIGO E P L
FILTRO CÓDIGO
DISC. E/L
ATAN (Q/I)
IF
104
103
Q
I & D
I & D
I & D
FILTRO PORTADORA
106

FIG. 1

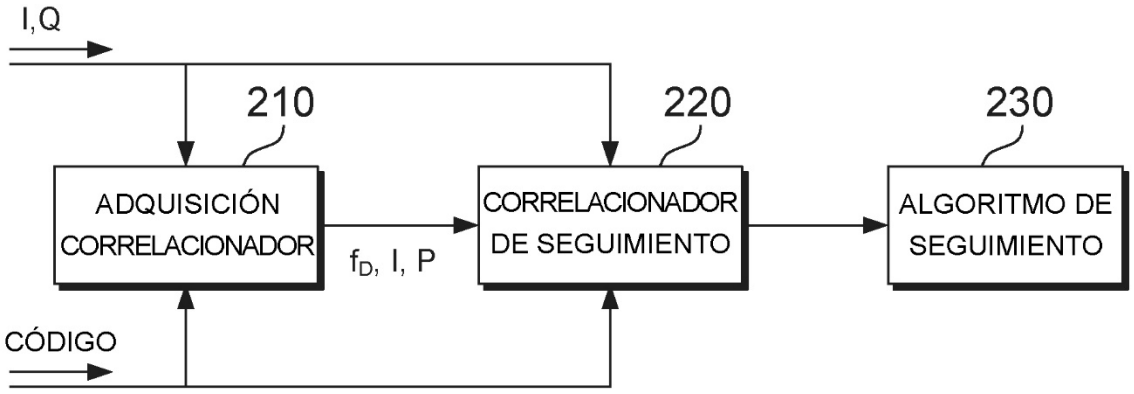

I,Q
210
220
230
ADQUISICIÓN CORRELACIONADOR
f_D, I, P
CORRELACIONADOR DE SEGUIMIENTO
ALGORITMO DE SEGUIMIENTO
CÓDIGO

FIG. 2

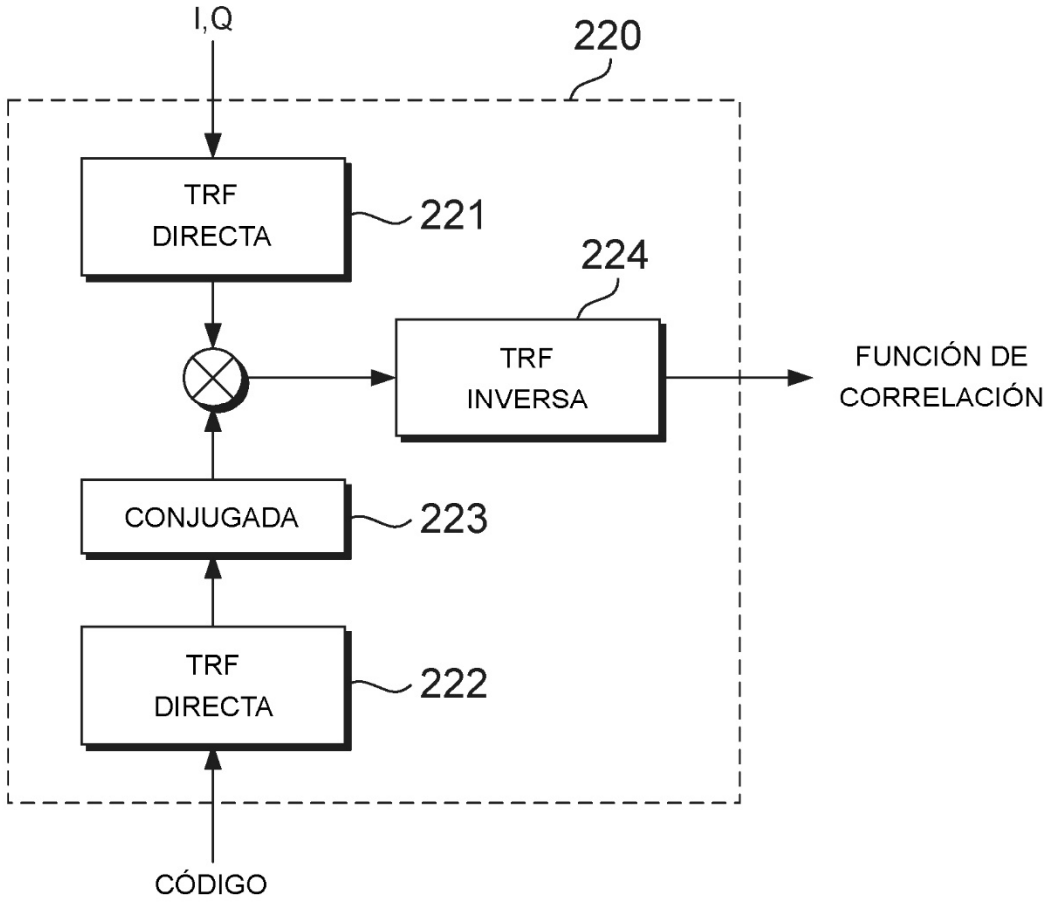

I,Q
220
TRF DIRECTA
221
224
TRF INVERSA
FUNCIÓN DE CORRELACIÓN
CONJUGADA
223
TRF DIRECTA
222
CÓDIGO

FIG. 3


NÚM. DE RESULTADOS
45000
40000
35000
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
ÍNDICE DE INTERVALO (I)

FIG. 4

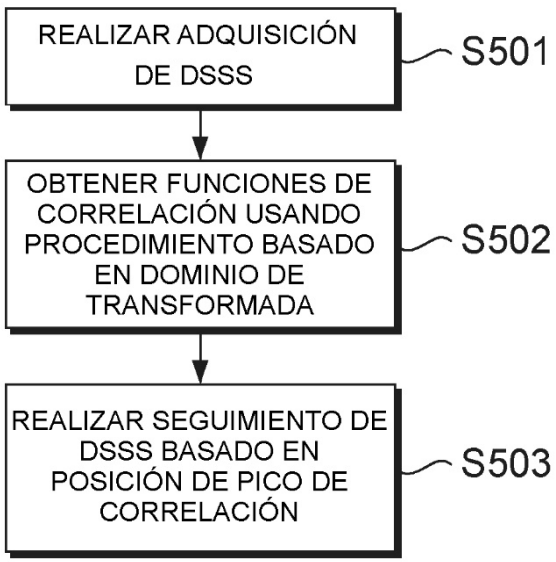

REALIZAR ADQUISICIÓN DE DSSS
S501
OBTENER FUNCIONES DE CORRELACIÓN USANDO PROCEDIMIENTO BASADO EN DOMINIO DE TRANSFORMADA
S502
REALIZAR SEGUIMIENTO DE DSSS BASADO EN POSICIÓN DE PICO DE CORRELACIÓN
S503

FIG. 5

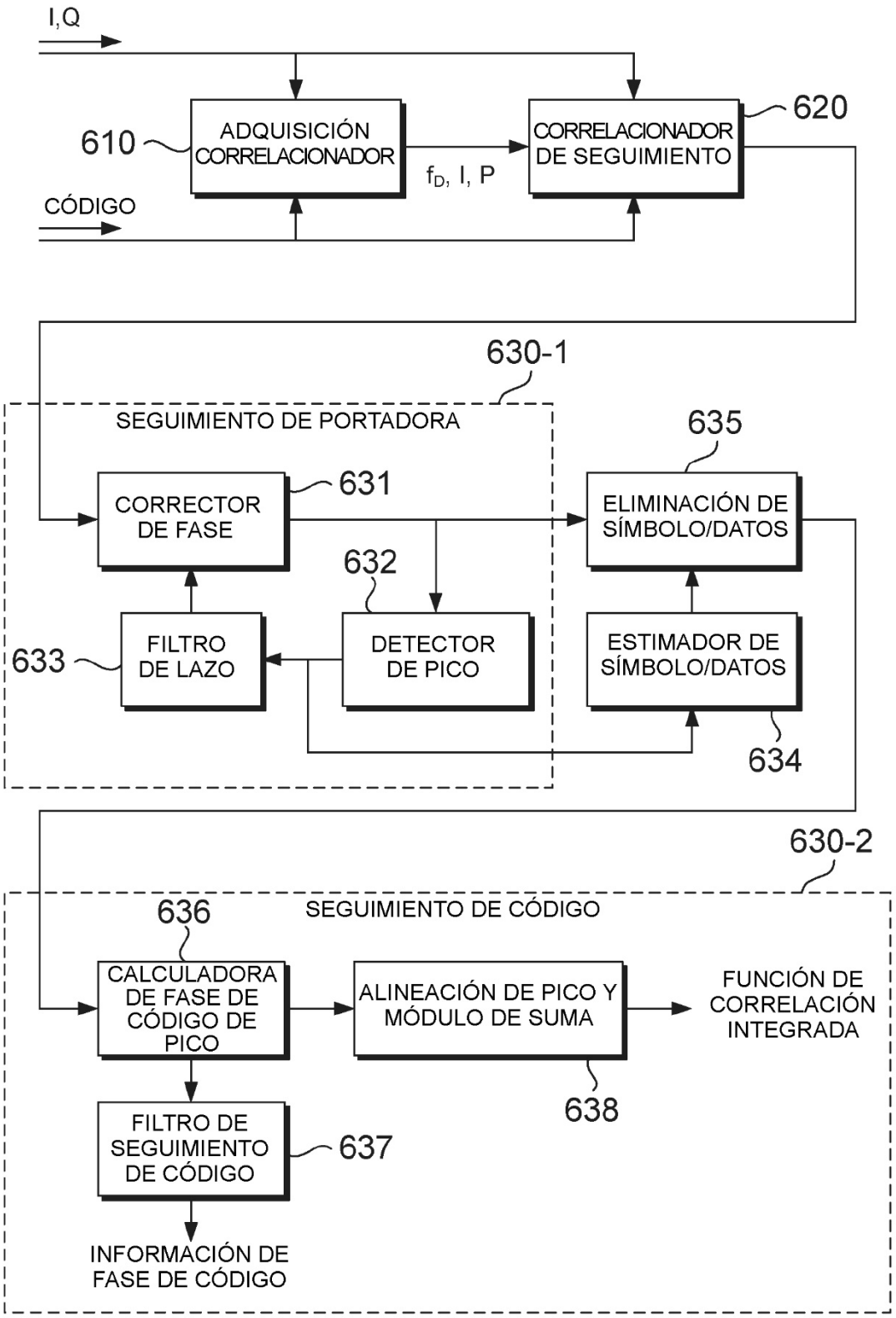

I,Q
610
ADQUISICIÓN CORRELACIONADOR
f_D, I, P
CORRELACIONADOR DE SEGUIMIENTO
620
CÓDIGO
630-1
SEGUIMIENTO DE PORTADORA
635
CORRECTOR DE FASE
631
ELIMINACIÓN DE SÍMBOLO/DATOS
632
633
FILTRO DE LAZO
DETECTOR DE PICO
ESTIMADOR DE SÍMBOLO/DATOS
634
630-2
636
SEGUIMIENTO DE CÓDIGO
CALCULADORA DE FASE DE CÓDIGO DE PICO
ALINEACIÓN DE PICO Y MÓDULO DE SUMA
FUNCIÓN DE CORRELACIÓN INTEGRADA
638
FILTRO DE SEGUIMIENTO DE CÓDIGO
637
INFORMACIÓN DE FASE DE CÓDIGO

FIG. 6

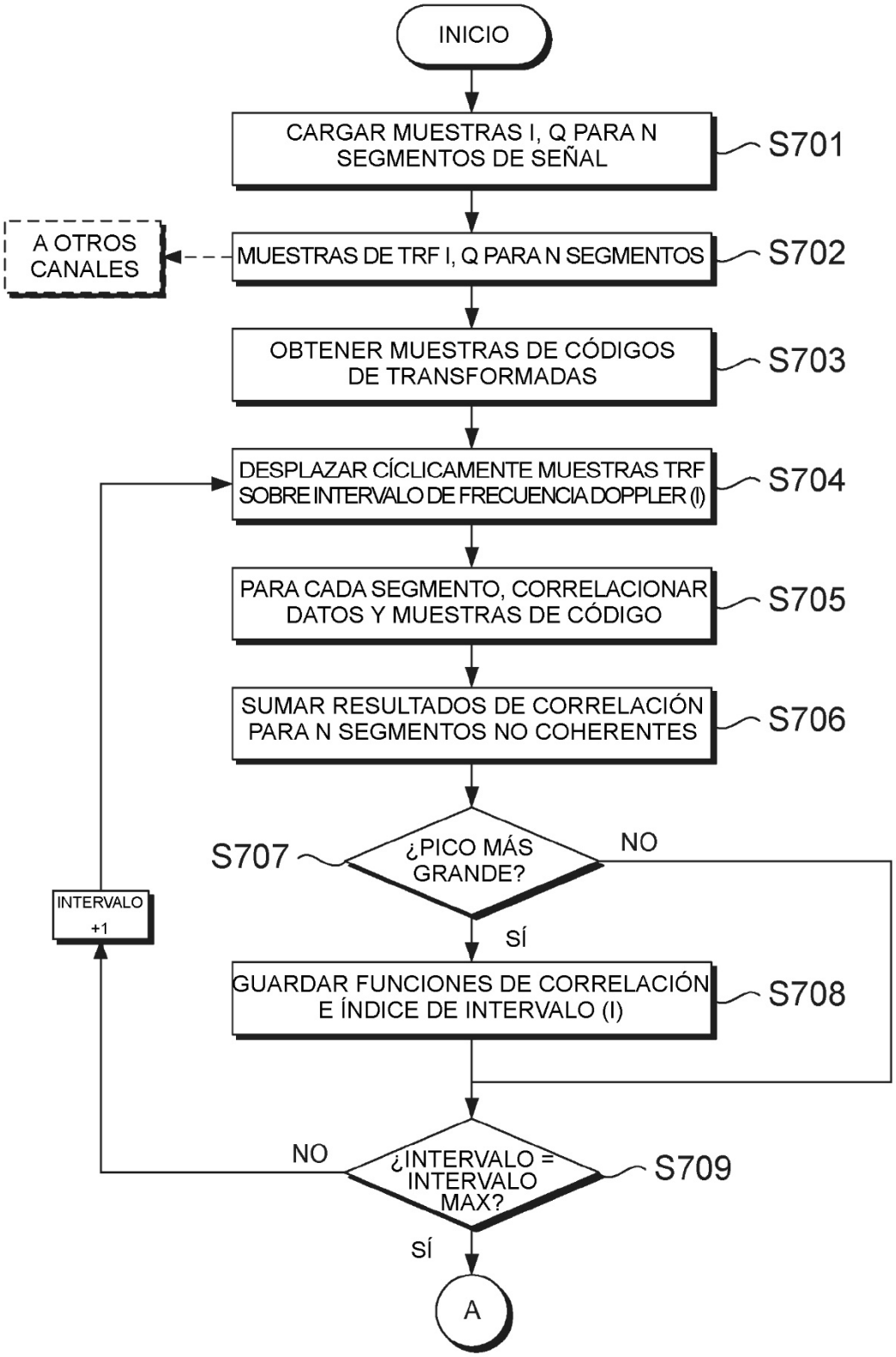

INICIO
CARGAR MUESTRAS I, Q PARA N SEGMENTOS DE SEÑAL
S701
A OTROS CANALES
MUESTRAS DE TRF I, Q PARA N SEGMENTOS
S702
OBTENER MUESTRAS DE CÓDIGOS DE TRANSFORMADAS
S703
DESPLAZAR CÍCLICAMENTE MUESTRAS TRF SOBRE INTERVALO DE FRECUENCIA DOPPLER (I)
S704
PARA CADA SEGMENTO, CORRELACIONAR DATOS Y MUESTRAS DE CÓDIGO
S705
SUMAR RESULTADOS DE CORRELACIÓN PARA N SEGMENTOS NO COHERENTES
S706
S707
¿PICO MÁS GRANDE?
NO
SÍ
INTERVALO +1
GUARDAR FUNCIONES DE CORRELACIÓN E ÍNDICE DE INTERVALO (I)
S708
NO
¿INTERVALO = INTERVALO MAX?
S709
SÍ
A

FIG. 7A

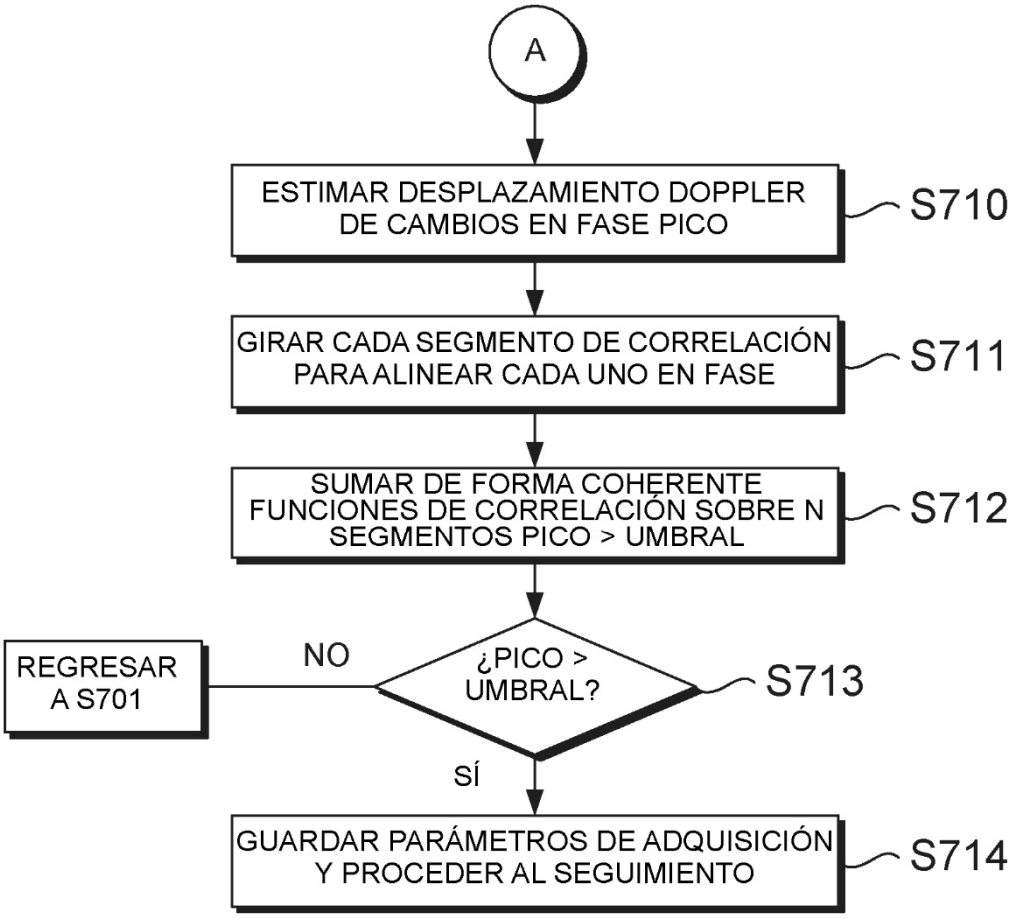

A
ESTIMAR DESPLAZAMIENTO DOPPLER DE CAMBIOS EN FASE PICO
S710
GIRAR CADA SEGMENTO DE CORRELACIÓN PARA ALINEAR CADA UNO EN FASE
S711
SUMAR DE FORMA COHERENTE FUNCIONES DE CORRELACIÓN SOBRE N SEGMENTOS PICO > UMBRAL
S712
¿PICO > UMBRAL?
S713
NO
REGRESAR A S701
SÍ
GUARDAR PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN Y PROCEDER AL SEGUIMIENTO
S714

FIG. 7B

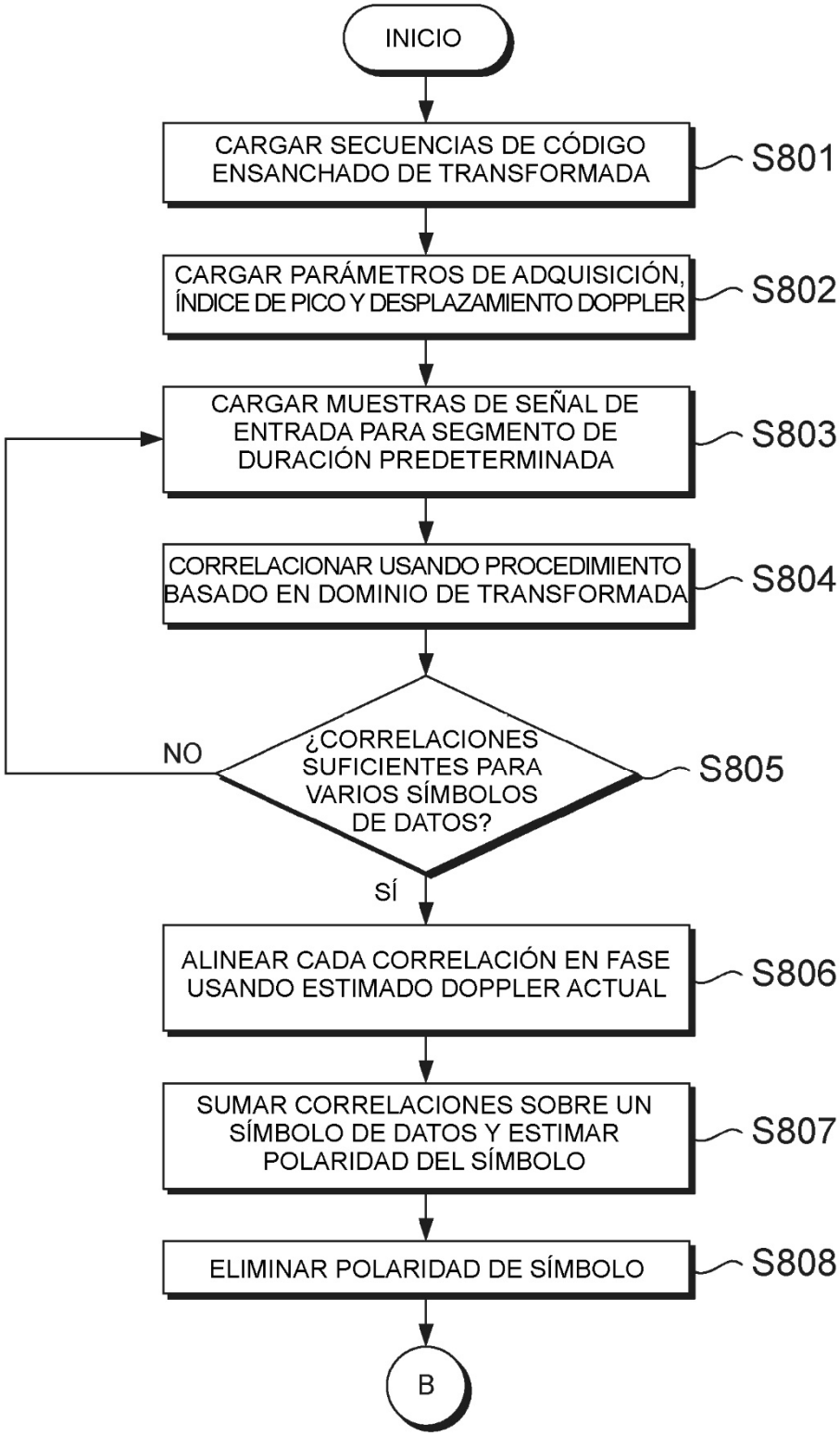

INICIO
CARGAR SECUENCIAS DE CÓDIGO ENSANCHADO DE TRANSFORMADA
S801
CARGAR PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN, ÍNDICE DE PICO Y DESPLAZAMIENTO DOPPLER
S802
CARGAR MUESTRAS DE SEÑAL DE ENTRADA PARA SEGMENTO DE DURACIÓN PREDETERMINADA
S803
CORRELACIONAR USANDO PROCEDIMIENTO BASADO EN DOMINIO DE TRANSFORMADA
S804
¿CORRELACIONES SUFICIENTES PARA VARIOS SÍMBOLOS DE DATOS?
S805
NO
SÍ
ALINEAR CADA CORRELACIÓN EN FASE USANDO ESTIMADO DOPPLER ACTUAL
S806
SUMAR CORRELACIONES SOBRE UN SÍMBOLO DE DATOS Y ESTIMAR POLARIDAD DEL SÍMBOLO
S807
ELIMINAR POLARIDAD DE SÍMBOLO
S808
B

FIG. 8A

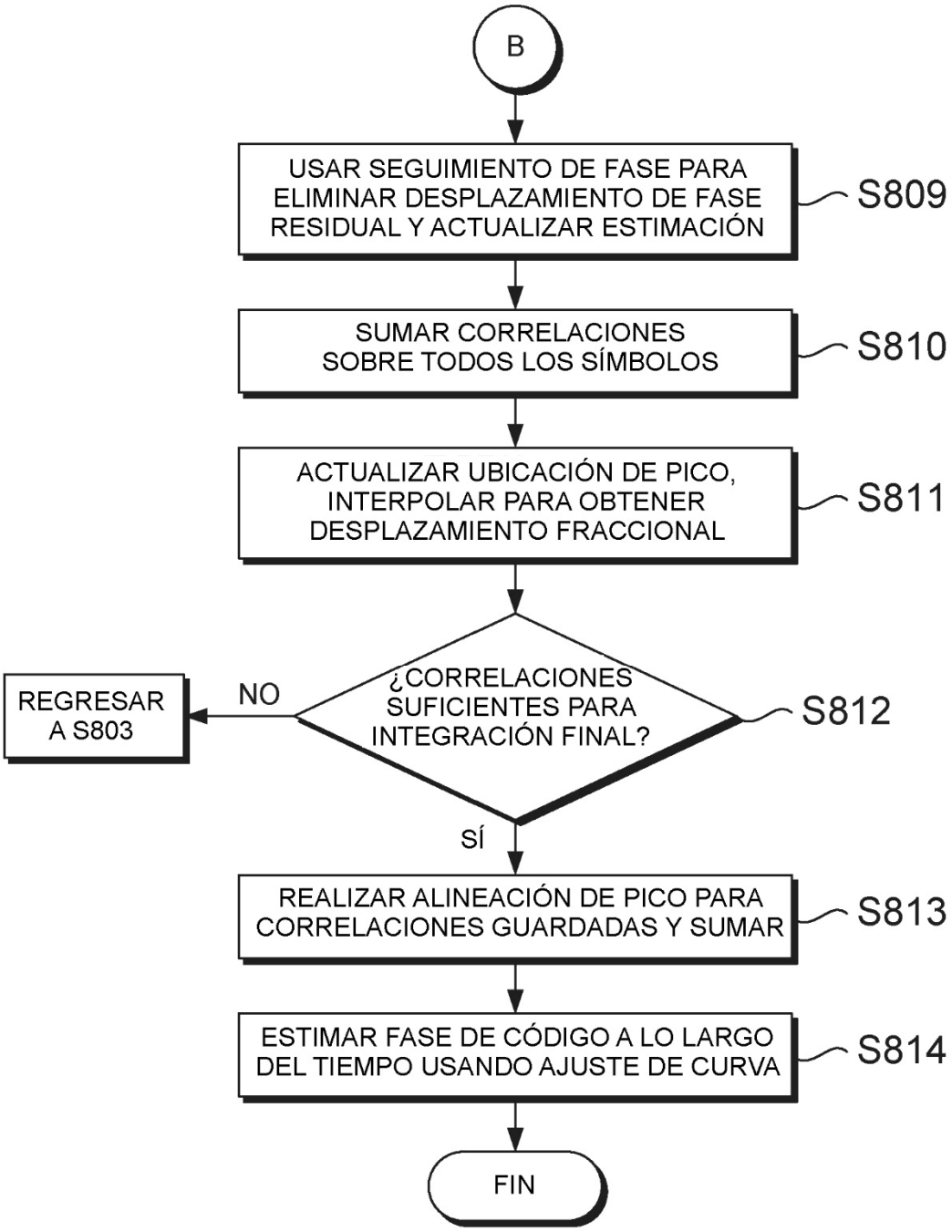

B
USAR SEGUIMIENTO DE FASE PARA ELIMINAR DESPLAZAMIENTO DE FASE RESIDUAL Y ACTUALIZAR ESTIMACIÓN
S809
SUMAR CORRELACIONES SOBRE TODOS LOS SÍMBOLOS
S810
ACTUALIZAR UBICACIÓN DE PICO, INTERPOLAR PARA OBTENER DESPLAZAMIENTO FRACCIONAL
S811
¿CORRELACIONES SUFICIENTES PARA INTEGRACIÓN FINAL?
S812
NO
REGRESAR A S803
SÍ
REALIZAR ALINEACIÓN DE PICO PARA CORRELACIONES GUARDADAS Y SUMAR
S813
ESTIMAR FASE DE CÓDIGO A LO LARGO DEL TIEMPO USANDO AJUSTE DE CURVA
S814
FIN

FIG. 8B

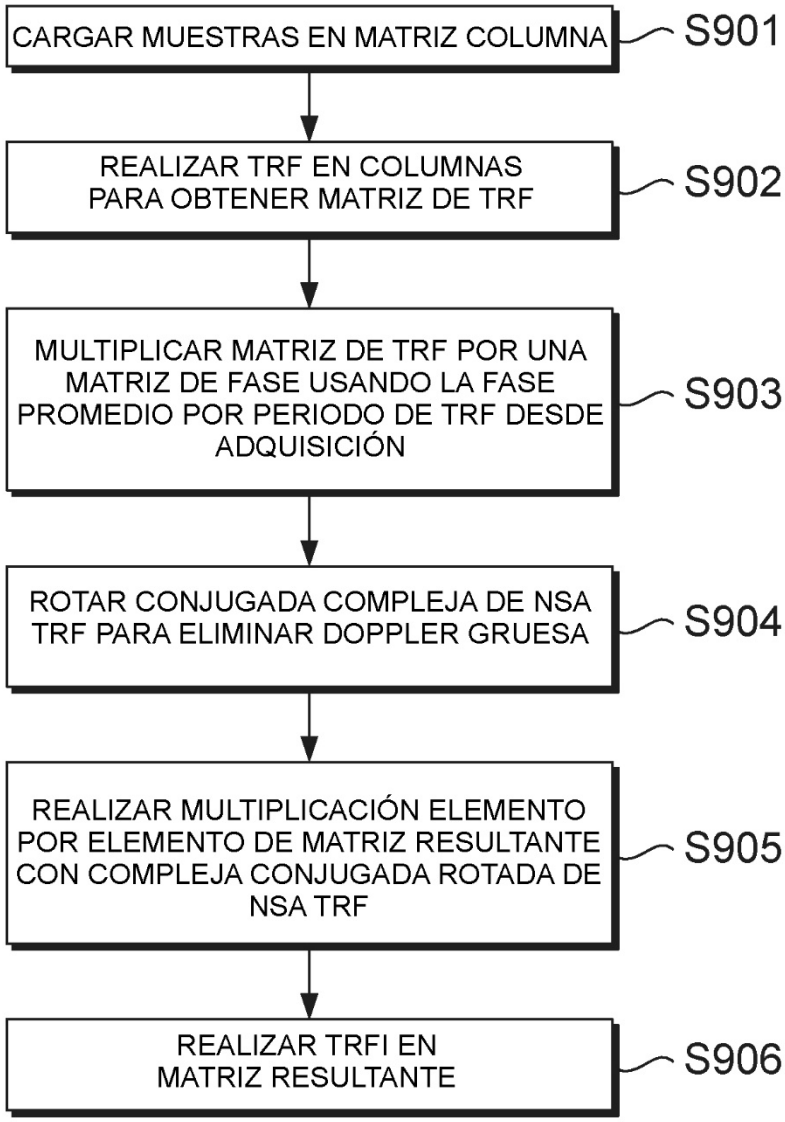

CARGAR MUESTRAS EN MATRIZ COLUMNA
S901
REALIZAR TRF EN COLUMNAS PARA OBTENER MATRIZ DE TRF
S902
MULTIPLICAR MATRIZ DE TRF POR UNA MATRIZ DE FASE USANDO LA FASE PROMEDIO POR PERIODO DE TRF DESDE ADQUISICIÓN
S903
ROTAR CONJUGADA COMPLEJA DE NSA TRF PARA ELIMINAR DOPPLER GRUESA
S904
REALIZAR MULTIPLICACIÓN ELEMENTO POR ELEMENTO DE MATRIZ RESULTANTE CON COMPLEJA CONJUGADA ROTADA DE NSA TRF
S905
REALIZAR TRFI EN MATRIZ RESULTANTE
S906

FIG. 9