

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 949**

51 Int. Cl.:

H04B 7/185 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.07.2012 PCT/US2012/048973**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.03.2013 WO13036328**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.07.2012 E 12748611 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2020 EP 2754254**

54 Título: **Temporización avanzada y transferencia de tiempo para constelaciones de satélites que usan el rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa**

30 Prioridad:

09.09.2011 US 201161533122 P
12.03.2012 US 201213418200

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

15.07.2020

73 Titular/es:

THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US

72 Inventor/es:

WHELAN, DAVID A.;
GUTT, GREGORY M. y
FYFE, PETER M.

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 773 949 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

Temporización avanzada y transferencia de tiempo para constelaciones de satélites que usan el rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa

Referencia cruzada a las solicitudes relacionadas

5 Antecedentes

La presente divulgación se relaciona con la temporización avanzada y transferencia de tiempo para la temporización y transferencia de tiempo para las constelaciones de satélites. En particular, se relaciona con la temporización avanzada y transferencia de tiempo para las constelaciones de satélites que usan el rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa. La solicitud de patente de los Estados Unidos US 5,506,781 trata sobre la sincronización de un satélite sin temporización precisa en una red de satélites que comprende satélites que tienen una temporización precisa y satélites que no tienen una temporización precisa. El documento US 5,506,781 divulga cómo alcanzar la sincronización de fase entre satélites de temporización precisa y subsecuentemente cómo los satélites sin temporización precisa sincronizan con aquellos que tienen temporización precisa, la sincronización por bloqueo de fase a portadores enviados desde satélites con temporización precisa.

15 La publicación de IEEE "Autonomous Time Synchronization Algorithm and Time Synchronization Link Performance Analysis in the Satellite Constellation" trata sobre la sincronización de tiempo de satélites en diversas órbitas.

Resumen

La presente divulgación se relaciona con un método, sistema, y aparato para la temporización avanzada y transferencia de tiempo para constelaciones de satélites que usan el rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa. En particular, la presente divulgación enseña un método para temporizar una constelación de satélites. El método divulgado involucra transmitir, mediante al menos un primer satélite, al menos una señal de rango de entrecruzamiento a al menos un segundo satélite. En una o más realizaciones, al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite es un satélite de temporización con un tiempo de sincronización, en donde cuando el al menos un primer satélite es un satélite de temporización, el al menos un segundo satélite es un satélite de no temporización; y cuando el al menos un segundo satélite es un satélite de temporización, el al menos un primer satélite es un satélite de no temporización. El método involucra además recibir, mediante al menos un segundo satélite, al menos una señal de rango de entrecruzamiento. También, el método involucra calcular al menos una medición de rango de al menos un primer satélite a al menos un segundo satélite usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de al menos una señal de rango de entrecruzamiento hasta la recepción de al menos una señal de rango de entrecruzamiento. Adicionalmente, el método involucra calcular una estimación de tiempo y frecuencia para al menos un primer satélite y al menos un segundo satélite en relación entre sí para sincronizar el tiempo y la frecuencia de al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite usando al menos una medición de rango y/o el tiempo de sincronización de al menos un satélite de temporización. El al menos un satélite de temporización está equipado para obtener el tiempo de sincronización a través de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS); y el al menos un satélite de no temporización no está equipado para obtener el tiempo de sincronización a través de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS).

En uno o más ejemplos, al menos un primer satélite es un satélite de temporización con el tiempo de sincronización, y al menos un segundo satélite es un satélite de no temporización sin el tiempo de sincronización.

40 En algunos ejemplos, al menos un satélite de temporización obtiene el tiempo de sincronización a través de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS), al menos una señal del sistema de navegación global por satélite (GLONASS), al menos una señal de satélite Galileo, al menos una señal del Sistema de Navegación BeiDou, y/o un reloj atómico. En uno o más ejemplos, el tiempo de sincronización no es un tiempo preciso. En al menos un ejemplo, al menos un segundo satélite es un satélite de temporización con el tiempo de sincronización, y al menos un primer satélite es un satélite de no temporización sin el tiempo de sincronización.

45 En al menos un ejemplo, el método involucra además generar al menos una señal de corrección para sincronizar el tiempo y la frecuencia de al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite, y transmitir al menos una señal de corrección a al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite. En algunos ejemplos, al menos un primer satélite y al menos un segundo satélite son un satélite en Órbita Terrestre Inferior (LEO), un satélite en Órbita Terrestre Media (MEO), y/o un satélite en Órbita Terrestre Geosíncrona (GEO). En algunos ejemplos, el satélite LEO es un satélite Iridium LEO o un satélite Iridium Next Generation LEO.

50 En uno o más ejemplos, el método divulgado emplea una constelación de satélites Iridium LEO. En al menos un ejemplo, cada uno de los satélites Iridium LEO en la constelación tiene una geometría de antena que transmite cuarenta y ocho (48) haces puntuales con un patrón de haz puntual distintivo. En al menos un ejemplo, al menos una señal de entrecruzamiento puede transmitirse desde al menos uno de los satélites Iridium en la constelación. Los cuarenta y ocho (48) haces puntuales de un satélite Iridium pueden usarse para transmitir señales localizadas a fuentes receptoras (por ejemplo, estaciones de referencia) ubicadas en o cerca de la superficie de la Tierra. Debe anotarse que cuando se emplea uno de los satélites Iridium LEO descritos anteriormente, la potencia de señal de transmisión

es suficientemente fuerte para permitir que la señal penetre en un ambiente interior de manera fiable, y puede emplear métodos de codificación de señal con el fin de hacerlo. Debe anotarse además que este sistema podría emplear al menos un satélite Iridium next generation, o una combinación de satélites Iridium existentes con la configuración de satélite Iridium next generation.

5 En uno o más ejemplos, el método involucra además transmitir, mediante al menos un satélite de temporización, al menos una señal de posicionamiento a al menos una estación de referencia. El método también involucra recibir, mediante al menos una estación de referencia, al menos una señal de posicionamiento. También, el método involucra calcular al menos una medición de rango de posicionamiento desde al menos un satélite de temporización hasta al menos una estación de referencia usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de al menos una
10 señal de posicionamiento hasta la recepción de al menos una señal de posicionamiento. Adicionalmente, el método involucra calcular una estimación de posicionamiento orbital para al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite usando al menos una medición de rango, el tiempo de sincronización, datos de posicionamiento de al menos un satélite de temporización, y/o en al menos una medición de rango de posicionamiento. En al menos un ejemplo, al menos un satélite de temporización obtiene los datos de posicionamiento a través de al menos una señal del sistema
15 de posicionamiento global (GPS), al menos una señal del sistema de navegación global por satélite (GLONASS), al menos una señal de Sistema de Navegación BeiDou, y/o al menos una señal de satélite Galileo.

En al menos un ejemplo, el método involucra además transmitir, mediante al menos una estación de referencia, al menos una señal de posicionamiento a al menos un satélite de temporización. También, el método involucra recibir, mediante al menos un satélite de temporización, al menos una señal de posicionamiento. Además, el método involucra calcular al menos una medición de rango de posicionamiento desde al menos una estación de referencia a al menos
20 un satélite de temporización usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de al menos una señal de posicionamiento hasta la recepción de al menos una señal de posicionamiento (es decir el tiempo de llegada (TOA) de la recepción de al menos una señal de posicionamiento en referencia al reloj del receptor, que en este caso está en el satélite de temporización). Adicionalmente, el método involucra calcular una estimación de posicionamiento orbital para al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite usando al menos una medición de rango, el tiempo de sincronización, datos de posicionamiento de al menos un satélite de temporización, y/o en al menos una medición de rango de posicionamiento. En algunos ejemplos, al menos un satélite de temporización obtiene los datos de posicionamiento a través de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS), al menos una señal del sistema de navegación global por satélite (GLONASS), al menos una señal del Sistema de Navegación BeiDou,
30 y/o al menos una señal de satélite Galileo.

En uno o más ejemplos, un método para temporizar una constelación de satélites involucra transmitir, mediante al menos un primer satélite, al menos una primera señal de rango de entrecruzamiento a al menos un segundo satélite. En al menos un ejemplo, al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite es un satélite de temporización con un tiempo de sincronización. El método involucra además recibir, mediante al menos un segundo satélite, al menos
35 una primera señal de rango de entrecruzamiento. También, el método involucra transmitir, mediante al menos un segundo satélite, al menos una segunda señal de rango de entrecruzamiento a al menos un primer satélite. Además, el método involucra recibir, mediante al menos un primer satélite, al menos una segunda señal de rango de entrecruzamiento. Adicionalmente, el método involucra calcular al menos una primera medición de rango desde al menos un primer satélite hasta al menos un segundo satélite usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de al menos una primera señal de rango de entrecruzamiento hasta la recepción de al menos una primera
40 señal de rango de entrecruzamiento. También, el método involucra calcular al menos una segunda medición de rango desde al menos un segundo satélite hasta al menos un primer satélite usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de al menos una segunda señal de rango de entrecruzamiento hasta la recepción de al menos una segunda señal de rango de entrecruzamiento. Adicionalmente, el método involucra calcular una estimación de tiempo y frecuencia para al menos un primer satélite y al menos un segundo satélite en relación entre sí para sincronizar el tiempo y la frecuencia de al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite usando al menos una primera medición de rango, al menos una segunda medición de rango, y/o el tiempo de sincronización de al menos un satélite de temporización.
45

En al menos una realización, un sistema para temporizar una constelación de satélites involucra al menos un primer satélite configurado para transmitir al menos una señal de rango de entrecruzamiento a al menos un segundo satélite. El sistema involucra además al menos un segundo satélite configurado para recibir al menos una señal de rango de entrecruzamiento. En una o más realizaciones, al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite es un satélite de temporización con un tiempo de sincronización, en donde cuando el al menos un primer satélite es un satélite de temporización, el al menos un segundo satélite es un satélite de no temporización; y cuando el al menos un segundo satélite es un satélite de temporización, el al menos un primer satélite es un satélite de no temporización. También, el sistema involucra al menos un procesador configurado para calcular al menos una medición de rango desde al menos un primer satélite hasta al menos un segundo satélite usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de al menos una señal de rango de entrecruzamiento hasta la recepción de al menos una señal de rango de entrecruzamiento. Adicionalmente, el sistema involucra al menos un procesador configurado además para
50 calcular una estimación de tiempo y frecuencia para al menos un primer satélite y al menos un segundo satélite en relación entre sí para sincronizar el tiempo y la frecuencia de al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite usando al menos una medición de rango y/o el tiempo de sincronización de al menos un satélite de temporización. El al menos un satélite de temporización está equipado para obtener el tiempo de sincronización a
60

través de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS); y el al menos un satélite de no temporización no está equipado para obtener el tiempo de sincronización a través de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS).

5 En uno o más ejemplos, al menos un procesador está configurado además para generar al menos una señal de corrección para sincronizar el tiempo y la frecuencia de al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite. En al menos un ejemplo, el sistema involucra además al menos un transmisor que está configurado para transmitir al menos una señal de corrección a al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite.

10 En al menos un ejemplo, al menos un satélite de temporización está configurado además para transmitir al menos una señal de posicionamiento a al menos una estación de referencia. En algunos ejemplos, al menos una estación de referencia está configurada para recibir al menos una señal de posicionamiento. En uno o más ejemplos, al menos un procesador está configurado además para calcular al menos una medición de rango de posicionamiento desde al menos un satélite de temporización hasta al menos una estación de referencia usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de al menos una señal de posicionamiento hasta la recepción de al menos una señal de posicionamiento, y calcular una estimación de posicionamiento orbital para al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite usando al menos una medición de rango, el tiempo de sincronización, datos de posicionamiento de al menos un satélite de temporización, y/o al menos una medición de rango de posicionamiento.

20 En uno o más ejemplos, el sistema involucra además al menos una estación de referencia configurada para transmitir al menos una señal de posicionamiento a al menos un satélite de temporización. En al menos un ejemplo, al menos un satélite de temporización está configurado además para recibir al menos una señal de consulta de posicionamiento. En algunos ejemplos, al menos un procesador está configurado además para calcular al menos una medición de rango de posicionamiento desde al menos una estación de referencia hasta al menos un satélite de temporización usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de al menos una señal de posicionamiento hasta la recepción de al menos una señal de posicionamiento, y para calcular una estimación de posicionamiento orbital para al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite usando al menos una medición de rango, el tiempo de sincronización, datos de posicionamiento de al menos un satélite de temporización, y/o al menos una medición de rango de posicionamiento.

30 En al menos un ejemplo, un sistema para temporizar una constelación de satélites involucra al menos un primer satélite configurado para transmitir al menos una primera señal de rango de entrecruzamiento a al menos un segundo satélite, y para recibir al menos una segunda señal de rango de entrecruzamiento. El sistema involucra además al menos un segundo satélite configurado para recibir al menos una primera señal de rango de entrecruzamiento, y para transmitir al menos una segunda señal de rango de entrecruzamiento. En uno o más ejemplos, al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite es un satélite de temporización con un tiempo de sincronización. También, el sistema involucra al menos un procesador configurado para calcular al menos una primera medición de rango desde al menos un primer satélite hasta al menos un segundo satélite usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de al menos una primera señal de rango de entrecruzamiento hasta la recepción de al menos una primera señal de rango de entrecruzamiento. Además, el sistema involucra al menos un procesador configurado además para calcular al menos una segunda medición de rango desde al menos un segundo satélite hasta al menos un primer satélite usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de al menos una segunda señal de rango de entrecruzamiento hasta la recepción de al menos una segunda señal de rango de entrecruzamiento. Adicionalmente, el sistema involucra al menos un procesador configurado además para calcular una estimación de tiempo y frecuencia para al menos un primer satélite y al menos un segundo satélite en relación entre sí para sincronizar el tiempo y la frecuencia de al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite usando al menos una primera medición de rango, al menos una segunda medición de rango, y/o el tiempo de sincronización de al menos un satélite de temporización.

45 En uno o más ejemplos, el sistema y método divulgados emplean una constelación de satélites Iridium Next Generation donde un subconjunto de la constelación está equipado con receptores de GPS o una fuente de temporización precisa alternativa. Este subconjunto, dispersado a través de todos los planos, proporciona una conexión a tiempo y frecuencia continuos, precisos dentro de la constelación a través del rango de entrecruzamiento a satélites no equipados con receptores de GPS.

50 En al menos un ejemplo, la constelación de satélites Iridium Next Generation incluye un subconjunto de la constelación que está equipado con receptores de GPS o una fuente de temporización precisa alternativa que se usa para proporcionar datos de temporización precisos a satélites Iridium entrecruzados (constelación existente).

55 En uno o más ejemplos, el satélite anclado a la fuente de temporización precisa (es decir el satélite de temporización) y/o satélite apareado (es decir el satélite de no temporización) se puede usar para transmitir un mensaje de posicionamiento, navegación, y temporización (PN&T) a un usuario en tierra con un receptor habilitado de tal manera que puedan mantener el tiempo preciso o usarlo como una señal de rango.

En al menos un ejemplo, los entrecruzamientos de satélites pueden abarcarse a través de múltiples constelaciones con diferentes misiones.

En uno o más ejemplos, los entrecruzamientos de satélites pueden abarcar al menos dos conjuntos (es decir tales como dos bloques de satélites con misiones similares tales como satélites Iridium e Iridium Next Generation) de satélites con misiones similares si no las mismas.

5 En al menos un ejemplo, al menos un satélite puede resolver la posición y el tiempo usando satélites de GPS. En algunos ejemplos, al menos un satélite puede resolver la posición y el tiempo usando una combinación de satélites de GPS e Iridium.

10 En uno o más ejemplos, el sistema divulgado involucra al menos un satélite LEO con una fuente de temporización precisa (es decir un satélite de temporización), al menos un satélite LEO capaz de entrecruzarse con dicho satélite LEO previo para recibir datos de temporización precisos (es decir un satélite de no temporización), y al menos una estación de referencia en tierra para relacionar la referencia de tiempo precisa con la referencia de tiempo de los satélites LEO.

15 En al menos un ejemplo, el sistema divulgado involucra una constelación de satélites LEO donde un subconjunto de los satélites LEO está habilitado con una fuente de temporización precisa (por ejemplo, un receptor de GPS) (es decir satélites de temporización) y donde el resto de los satélites (es decir satélites de no temporización) en la constelación son capaces de entrecruzarse con los satélites previos (es decir los satélites de temporización) de una forma tal que todos los satélites dentro de la constelación son capaces de recibir datos de temporización precisos. El sistema involucra además al menos una estación de referencia en tierra para relacionar la referencia de tiempo precisa con la referencia de tiempo de satélites LEO.

20 En uno o más ejemplos, el sistema divulgado involucra al menos un satélite LEO con una fuente de temporización precisa (es decir satélite de temporización) y al menos un satélite LEO (es decir satélite de no temporización) capaz de entrecruzarse con dicho satélite LEO previo (es decir satélite de temporización) para recibir datos de temporización precisos. El sistema involucra además al menos una estación de referencia en tierra para relacionar la referencia de tiempo precisa con la referencia de tiempo de satélites LEO y un dispositivo receptor de usuario habilitado.

25 En al menos un ejemplo, los operadores de satélites pueden usar mediciones entrecruzadas para operaciones de satélites, tal como estimar la deriva de frecuencia de los osciladores de satélites y, con los términos de desviación de tiempo y tasa de desviación del satélite, calcular los comandos para ajustar el tiempo y frecuencia del satélite dentro de límites permitidos

30 En uno o más ejemplos, para aprovechar al máximo las mediciones de tiempo de llegada (TOA) cronometradas con precisión, la invención realiza mediciones precisas de TOA y Doppler con estaciones de referencia en tierra para estimar de manera óptima el componente radial de la órbita, que puede usarse para la determinación de órbita

Las características, funciones, y ventajas pueden lograrse independientemente en diversas realizaciones de las presentes invenciones o pueden combinarse en aún otras realizaciones.

Dibujos

35 Estas y otras características, aspectos, y ventajas de la presente divulgación se entenderán mejor con respecto a la siguiente descripción, reivindicaciones anexas, y dibujos acompañantes donde:

La figura 1 representa un diagrama esquemático de una constelación de ejemplo de satélites que puede ser empleada por el sistema divulgado para la temporización avanzada y transferencia de tiempo para constelaciones de satélites que usan el rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación.

40 La figura 2 es un diagrama esquemático del sistema divulgado para la temporización avanzada y transferencia de tiempo para constelaciones de satélites que usan el rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación.

45 La figura 3 es un diagrama de flujo para el método divulgado para la temporización avanzada y transferencia de tiempo para constelaciones de satélites que usan el rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación.

La figura 4 es un diagrama de flujo para un método detallado para la sincronización de tiempo que usa el rango de entrecruzamiento y una referencia de reloj de estación en tierra, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación.

50 La figura 5 es un diagrama de flujo para un método detallado para la sincronización de tiempo que usa el rango de entrecruzamiento y al menos un satélite Iridium equipado con un receptor de GPS, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación.

La figura 6 es un diagrama de flujo para un método detallado para la sincronización de tiempo y la determinación de órbita que usa mediciones de rango de entrecruzamiento y tiempo de llegada (TOA) en tierra para estimar la efeméride de constelación Iridium, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación.

La figura 7 es un gráfico que representa la precisión alcanzable con el rango de entrecruzamiento, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación.

Descripción

5 Los métodos y aparatos divulgados en ese documento proporcionan un sistema operativo para la temporización avanzada y transferencia de tiempo para constelaciones de satélites. En particular, el sistema se relaciona con la temporización avanzada y transferencia de tiempo para las constelaciones de satélites que usan el rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa.

10 Esta divulgación actual se relaciona en general con sistemas para proporcionar información mejorada de posicionamiento, navegación, y temporización para la calibración de oscilador y más específicamente, para usar al menos un satélite con accesibilidad a una fuente de tiempo precisa para calibrar el oscilador local en un satélite apareado de entrecruzamiento. En al menos una realización, el tiempo de precisión en un subconjunto de satélites con capacidades de entrecruzamiento se usa para distribuir el tiempo a través de una red de satélites entrecruzados.

15 El sistema y método divulgados tienen al menos cinco características principales. La primera característica principal se relaciona con la estimación de tiempo de un satélite apareado a través de un entrecruzamiento. Esta característica particular se basa en un método para estimar el tiempo preciso en el satélite dentro de una constelación de satélites sin seguimiento basado en tierra. Un conjunto en red de entrecruzamiento de satélites puede realizar mediciones precisas de tiempo de llegada (TOA) a sus pares en red inmediatamente adyacentes (es decir en relación con su propio oscilador de vehículo espacial (SV) y conocimiento de tiempo). Un beneficio de esto es que permite que los pares de satélites en red aprovechen los beneficios del otro satélite, potencialmente sin el alto coste asociado con equipar todos los satélites de manera similar. En al menos una realización de esta invención, el rango de entrecruzamiento puede completarse como parte del protocolo de comunicación de entrecruzamiento "normal". En una realización, con el fin de ser más rentables, algunos de los satélites pueden estar equipados con receptores de GPS que pueden determinar el tiempo y frecuencia del GPS de manera muy precisa, y el tiempo y frecuencia del GPS se usan para calibrar el oscilador del satélite equipado. De esta forma, los satélites equipados con GPS proporcionan un anclaje de todas las mediciones al tiempo de GPS. Todas las mediciones de entrecruzamiento pueden recopilarse y filtrarse para estimar la desviación y tasa de desviación de cada tiempo de SV con respecto al tiempo de GPS. Estos términos de desviación y tasa de desviación pueden ser usados por los receptores en tierra para corregir cualquier tiempo de SV a tiempo de GPS. Debe anotarse que en vez de utilizar señales de GPS para la sincronización, el sistema y método divulgados pueden emplear diversos medios diferentes para proporcionar sincronización, incluyendo, pero no se limitan a, al menos una señal del sistema de navegación global por satélite (GLONASS), al menos una señal de satélite Galileo, al menos una señal del Sistema de Navegación BeiDou, y/o un reloj atómico. Además, debe anotarse que el sistema y método divulgados se pueden usar con diversos tipos de constelaciones de satélites, tales como una constelación de satélites LEO, GEO, y/o MEO.

35 La segunda característica principal del sistema y método divulgados se relaciona con aplicaciones secundarias para las mediciones de entrecruzamiento. Para esta característica, se puede usar el mismo conjunto de mediciones de entrecruzamiento por los operadores de constelaciones para las operaciones de satélite requeridas, tal como para estimar la deriva de frecuencia de los osciladores de satélite y, con los términos de desviación de tiempo y tasa de desviación de satélite, calcular los comandos para ajustar el tiempo y frecuencia de satélite dentro de los límites permitidos.

40 La tercera característica principal de la presente divulgación se relaciona con el procesamiento de desviación en órbita para minimizar los requisitos de infraestructura en tierra. Para esta característica, el procesamiento de las mediciones de TOA para estimar la desviación de tiempo y tasa de desviación de satélite se puede realizar de una manera distribuida entre los satélites en red entrecruzados para minimizar o eliminar todos juntos la necesidad de procesamiento en tierra y, de este modo, poner a disposición los términos estimados sin contacto en tierra.

45 La cuarta característica principal del sistema y método divulgados se relaciona con satélites apareados que aprovechan los beneficios de un satélite anclado por GPS. Esta característica principal es similar al satélite anclado por GPS que usa su información de tiempo y frecuencia basada en GPS para sincronizar el oscilador local. Para esta característica, los satélites restantes pueden sincronizar sus osciladores mediante la información de tiempo y frecuencia estimada en este proceso.

50 La quinta característica principal del sistema y método divulgados se relaciona con la determinación de órbita. Para esta característica, las mediciones de TOA de entrecruzamiento y el escaso anclaje con satélites equipados con GPS se usan para realizar la determinación de órbita. Las mediciones de TOA de entrecruzamiento se procesan para asegurar una base de tiempo común para todas las mediciones. Las mediciones de entrecruzamiento son insensibles a los cambios relativamente pequeños en la altitud de satélite dado que las líneas de visión para las mediciones son casi perpendiculares a la altitud de ángulo de nadir. Para aprovechar al máximo las mediciones de TOA cronometradas con precisión, la invención realiza mediciones precisas de TOA y Doppler con estaciones de referencia en tierra para estimar de manera óptima el componente radial de la órbita.

En la siguiente descripción, se describen numerosos detalles con el fin de proporcionar una descripción más exhaustiva del sistema. Sin embargo, será evidente para un experimentado en la técnica, que el sistema divulgado se puede practicar sin estos detalles específicos. En los otros casos, las características bien conocidas no se han descrito en detalle de tal manera que no oculten innecesariamente el sistema.

5 Se proporcionan sistemas y métodos de acuerdo con una o más realizaciones para mejorar la posición, navegación, y temporización (PN&T) basadas en satélite a través del uso de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa para proporcionar información de temporización precisa para calibrar el oscilador local en un satélite apareado. En al menos una realización, el satélite apareado puede usar esto para llevar a cabo operaciones típicas en órbita como parte de un protocolo de entrecruzamiento. En al menos una realización, se puede usar más de un entrecruzamiento para distribuir el tiempo a través de al menos dos satélites apareados (por ejemplo, un satélite envía información a dos satélites uno hacia adelante y otro hacia popa en el mismo plano). En al menos una realización, el tiempo de precisión en un subconjunto de satélites con capacidades de entrecruzamiento se usa para distribuir el tiempo a través de una red de satélites entrecruzados. En al menos una realización, este proceso se puede usar para distribuir el tiempo a través de una constelación completa. En al menos una realización, los métodos divulgados se pueden usar además para determinar ubicaciones absolutas o relativas de puntos mediante la medición de distancias para la determinación de órbita.

En algunas realizaciones, el satélite apareado se usará para transmitir un mensaje de PN&T (es decir información precisa de temporización y posición de satélite) a un usuario en tierra de tal manera que puedan mejorar la precisión de tiempo o usar la señal de satélite como una señal de rango. En al menos una realización, las señales de comunicación de al menos un satélite LEO se han adaptado para proporcionar tiempo y frecuencia a receptores habilitados en tierra a través del uso de entrecruzamientos de satélite y una fuente de temporización precisa. En al menos una realización, al menos un satélite LEO es un satélite Iridium (es decir de la constelación Iridium existente) y/o un satélite Iridium Next Generation.

En al menos una realización, la fuente de temporización precisa incluye al menos un receptor de GPS que es instalado en un subconjunto de los satélites LEO con capacidad de entrecruzamiento dentro de una constelación de satélites. En al menos una realización, los entrecruzamientos pueden abarcar entre al menos dos configuraciones de satélite diferentes con compatibilidad de entrecruzamiento razonable.

En al menos una realización, los receptores de GPS están instalados en un subconjunto de satélites dentro de la constelación LEO, y se usan para mantener un tiempo más preciso en esos satélites sin una fuente de temporización instalada similar, tal como un receptor de GPS, a través del paso de información de temporización sobre los entrecruzamientos asociados de los satélites.

En invenciones relacionadas, se ha demostrado que las señales de comunicación de un satélite LEO se pueden adaptar para proporcionar tiempo y frecuencia a receptores habilitados en o cerca de la tierra que están dentro de la huella del satélite. Una parte crítica de este proceso es tener conocimiento del tiempo del satélite en relación con algún estándar en el tiempo de transmisión de señal. Un estándar de tiempo conveniente es el tiempo de GPS, sin embargo, estimar el tiempo de cada satélite podría requerir una extensa red de estaciones de monitorización en tierra, dependiendo del rendimiento del oscilador de referencia en el satélite. La integración de receptores de GPS en los satélites LEO proporciona los mejores medios para determinar la posición, velocidad, y tiempo a bordo del satélite. Como la órbita es suficientemente baja, la disponibilidad y precisión de información de posición y temporización de GPS son aproximadamente comparables con el caso en que un receptor de GPS está en la superficie de la Tierra. Sin embargo, el inconveniente de una constelación de satélites es que instalar un receptor tal en cada satélite puede ser muy costoso y, de este modo, puede inhibir la implementación, es por eso que para la realización de ejemplo solo un subconjunto de la constelación incluye este hardware costoso con el fin de maximizar el rendimiento y minimizar el coste de la arquitectura. Como se anotó previamente, los satélites entrecruzados también agregan otra ventaja ya que permiten que el sistema opere con menos estaciones de monitorización en tierra ya que las mediciones se pueden pasar a través de los entrecruzamientos.

Para una constelación de satélites, tal como Iridium, con capacidad de comunicación de entrecruzamiento bidireccional, se pueden usar mediciones precisas de TOA para estimar el tiempo de satélite en relación entre sí. Las mediciones de TOA permitirán una relación entre cómo está operando el oscilador del satélite local en términos de error de frecuencia como una en función de tiempo o más bien una desviación de tiempo en relación con el GPS. En al menos una realización, las mediciones de TOA desde la tierra pueden usarse para definir la relación entre su tiempo relativo con tiempo de GPS para un plano de satélites.

La figura 1 representa un diagrama 100 esquemático de una constelación de ejemplo de satélites que puede ser empleada por el sistema divulgado para la temporización avanzada y transferencia de tiempo para constelaciones de satélites que usan el rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación. En esta figura, se muestra que cinco satélites 110, 120, 130, 140, y 150 están orbitando la Tierra 160. Los satélites 110, 120, 140, y 150 son satélites Iridium LEO, y el satélite 130 es un satélite Iridium Next Generation LEO. Uno (satélite 130) de estos cinco satélites está equipado con un receptor de GPS para recibir señales de GPS de un satélite de GPS (no se muestra). Como tal, este satélite 130 se denomina como un satélite de temporización. Los cuatro restantes (satélites 110, 120, 140, y 150) de los cinco satélites no están equipados

con receptores de GPS y, de este modo, se denominan como satélites de no temporización. Los cinco satélites transmiten y reciben señales de entrecruzamiento a sus satélites cercanos en la constelación. Por ejemplo, se muestra que el satélite 130 está transmitiendo y recibiendo señales de entrecruzamiento de los satélites 110, 120, y 140.

5 La figura 2 es un diagrama 200 esquemático del sistema divulgado para la temporización avanzada y transferencia de tiempo para constelaciones de satélites que usan el rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación. En esta figura, se muestra que al menos un satélite 210 de GPS está transmitiendo una señal 215 de GPS a un primer satélite Iridium (Sat 1) 220. La señal 215 de GPS contiene información de tiempo precisa y, opcionalmente, datos de efemérides. Sat 1 220, que es un satélite Iridium Next Generation LEO, está equipado con un receptor de GPS y, de este modo, es capaz de recibir la señal 215 de GPS. Sat 1 220 pasa la información de temporización de GPS que recibe de la señal 215 de GPS al centro 250 de operaciones y, opcionalmente en algunas realizaciones, disciplina su oscilador a bordo a la temporización de GPS. Dado que Sat 1 220 puede recibir información de tiempo precisa, Sat 1 220 se denomina como un "satélite de temporización". Debe anotarse que en otras realizaciones, un satélite de temporización puede obtener información de tiempo precisa a través de otros medios que no sean una señal de GPS, tal como mediante un reloj atómico.

15 También se muestra que Sat 1 220 está transmitiendo una primera señal 225 de rango de entrecruzamiento de banda K a otro satélite Iridium (Sat 2) 230. La primera señal 225 de rango de entrecruzamiento de banda K contiene información de tiempo precisa. A diferencia de Sat 1 220, Sat 2 230, el cual es un satélite Iridium LEO, no está equipado con un receptor de GPS y no tiene información de tiempo precisa. Como tal, Sat 2 230 se denomina como un "satélite de no temporización". Después de que Sat 2 230 recibe la señal 225 de rango de entrecruzamiento de banda K, Sat 2 230 envía una segunda señal 226 de rango de entrecruzamiento de banda K a Sat 1 220. Una vez que Sat 1 220 recibe la segunda señal 226 de rango de entrecruzamiento de banda K desde Sat 2 230, Sat 1 220 envía una señal 227 de entrecruzamiento de banda K de rango a Sat 2 230. La señal 227 de entrecruzamiento de banda K de rango contiene datos de rango de entrecruzamiento (por ejemplo, la cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la primera señal 225 de entrecruzamiento de banda K hasta la recepción de la primera señal 225 de entrecruzamiento de banda K, y la cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la segunda señal 226 de rango de entrecruzamiento de banda K hasta la recepción de la segunda señal 226 de entrecruzamiento de banda K) así como la información de tiempo precisa obtenida por Sat 1 220 de la señal 215 de GPS. Luego Sat 2 230 transmite una señal 235, de manera inalámbrica y opcionalmente por cable, a un centro 250 de operaciones en tierra a través de un enlace 240 de conexión basado en Tierra. La señal 235 contiene los datos de rango de entrecruzamiento y la información de tiempo precisa.

Una vez que el centro 250 de operaciones recibe la señal 235, al menos un procesador en el centro 250 de operaciones calcula una medición de rango de entrecruzamiento desde Sat 1 220 hasta Sat 2 230 usando la cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la primera señal 225 de entrecruzamiento de banda K hasta la recepción de la primera señal 225 de entrecruzamiento de banda K y/o usando la cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la segunda señal 226 de rango de entrecruzamiento de banda K hasta la recepción de la segunda señal 226 de entrecruzamiento de banda K. Además, al menos un procesador en el centro 250 de operaciones calcula una estimación de tiempo y frecuencia para Sat 1 220 y Sat 2 230 en relación entre sí y con tiempo de GPS (es decir tiempo preciso) para sincronizar el tiempo y la frecuencia para Sat 1 y Sat 2 usando la medición de rango de entrecruzamiento y la información de tiempo precisa, que se obtuvo por Sat 1 220 de la señal 215 de GPS.

40 En algunas realizaciones, Sat 1 220 envía opcionalmente una primera señal 255 de posicionamiento de banda L a una estación 260 de referencia en tierra. Después de que la estación 260 de referencia recibe la primera señal 255 de posicionamiento de banda L, la estación 260 de referencia envía una segunda señal 256 de posicionamiento de banda L a Sat 1 220. Una vez que Sat 1 220 recibe la segunda señal 256 de posicionamiento de banda L desde la estación 260 de referencia, Sat 1 220 envía una señal 257 de posicionamiento de banda L de rango a la estación 260 de referencia. La señal 257 de posicionamiento de banda L de rango contiene datos de rango radial (por ejemplo, la cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la primera señal 255 de posicionamiento de banda L hasta la recepción de la primera señal 255 de posicionamiento de banda L, y la cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la segunda señal 256 de posicionamiento de banda L hasta la recepción de la segunda señal 256 de posicionamiento de banda L); información de tiempo precisa y datos de efemérides obtenidos por Sat 1 220 de la señal 215 de GPS; y opcionalmente datos de rango de entrecruzamiento (por ejemplo, la cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la primera señal 225 de entrecruzamiento de banda K hasta la recepción de la primera señal 225 de entrecruzamiento de banda K, y la cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la segunda señal 226 de rango de entrecruzamiento de banda K hasta la recepción de la segunda señal 226 de entrecruzamiento de banda K). Luego, la estación 260 de referencia transmite una señal 265, ya sea de manera inalámbrica y/o por cable, al centro 250 de operaciones en tierra. La señal 265 contiene los datos de rango radial, la información de tiempo precisa, los datos de efemérides, y opcionalmente los datos de rango de entrecruzamiento .

Una vez que el centro 250 de operaciones recibe la señal 265, al menos un procesador en el centro 250 de operaciones calcula una medición de rango radial desde Sat 1 220 a la estación 260 de referencia usando la cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la primera señal 255 de posicionamiento de banda L hasta la recepción de la primera señal 255 de posicionamiento de banda L, y/o la cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la segunda señal 256 de posicionamiento de banda L hasta la recepción de la segunda señal 256 de posicionamiento de banda L. También, al menos un procesador en el centro 250 de operaciones calcula una estimación de

posicionamiento orbital para Sat 1 220 y/o Sat 2 230 usando la medición de rango de entrecruzamiento, la información de tiempo precisa, los datos de efemérides, y la medición de rango radial.

- 5 Debe anotarse que en realizaciones alternativas, el rango de entrecruzamiento puede ser solo un rango unidireccional en vez de un rango bidireccional como se muestra en la figura 2. También en otras realizaciones, el rango radial puede ser un rango unidireccional (ya sea rango de enlace ascendente o rango de enlace descendente) en vez de rango bidireccional como se muestra en la figura 2. También, debe anotarse que en algunas realizaciones, tanto para los escenarios de rango unidireccional como de rango bidireccional, el satélite que envía la primera señal de rango de entrecruzamiento es un satélite de temporización y el satélite que recibe la primera señal de rango de entrecruzamiento es un satélite de no temporización, como es el caso en la figura 2. En otras realizaciones, tanto para los escenarios de rango unidireccional como de rango bidireccional, el satélite que envía la primera señal de rango de entrecruzamiento es un satélite de no temporización y el satélite que recibe la primera señal de rango de entrecruzamiento es un satélite de temporización. Adicionalmente, debe anotarse que para el sistema y método divulgados puede haber diversas otras combinaciones diferentes de cuales de los satélites en la constelación son satélites de temporización y cuales son satélites de no temporización.
- 10
- 15 Además, debe anotarse que en algunas realizaciones, al menos un procesador para realizar los cálculos está ubicado en un satélite en lugar de estar ubicado en una estación en tierra (es decir una ubicación terrestre), tal como el centro 250 de operaciones en tierra. Como tal, se deduce que los datos necesarios mediante al menos un procesador para realizar los cálculos pueden transmitirse a al menos un procesador por diversas rutas diferentes, las cuales pueden ser inalámbricas y/o cableadas. También, debe anotarse que las señales de entrecruzamiento y las señales de posicionamiento radial pueden ser otras frecuencias aparte de banda K y banda L. Además, en una o más realizaciones, el sistema y método divulgados no emplean un enlace de conexión para pasar las señales. En al menos una realización, el sistema y método divulgados emplean más de un enlace de conexión para pasar las señales. Adicionalmente, debe anotarse que en otras realizaciones, el satélite de temporización puede recibir su información de temporización de al menos una señal del sistema de navegación global por satélite (GLONASS), al menos una señal de satélite Galileo, al menos una señal del Sistema de Navegación BeiDou, y/o un reloj atómico. Para estos casos, el satélite de temporización estaría equipado con un receptor de GLONASS, un receptor Galileo, y/o un receptor BeiDou con el fin de recibir señales de GLONASS, señales de satélite Galileo, y/o señales de BeiDou, respectivamente. Además, debe anotarse que en algunas realizaciones, la información de temporización no es un tiempo preciso, y el satélite de temporización puede simplemente obtener información de temporización de su propio oscilador interno.
- 20
- 25
- 30 La figura 3 es un diagrama de flujo para el método 300 divulgado para la temporización avanzada y transferencia de tiempo para constelaciones de satélites que usan rango de entrecruzamiento y una fuente de tiempo precisa, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación. Al inicio 310 del método 300, al menos un primer satélite transmite al menos una señal de rango de entrecruzamiento a al menos un segundo satélite 320. En una o más realizaciones, al menos un primer satélite y/o al menos un segundo satélite es un satélite de temporización con un tiempo de sincronización (por ejemplo, tiempo de GPS). Los segundos satélites reciben las señales de rango de entrecruzamiento de los primeros satélites 330.
- 35
- Después de que los segundos satélites reciben las señales de rango de entrecruzamiento, al menos un procesador calcula al menos una medición de rango desde los primeros satélites hasta los segundos satélites usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de las señales de rango de entrecruzamiento hasta la recepción de las señales 340 de rango de entrecruzamiento. Luego, al menos un procesador calcula una estimación de tiempo y frecuencia para los primeros satélites y los segundos satélites en relación entre sí y con el tiempo de sincronización para sincronizar el tiempo y la frecuencia de los primeros satélites y/o los segundos satélites usando al menos una medición de rango y un tiempo de sincronización 350. Después al menos un procesador calcula una estimación de tiempo y frecuencia, el método finaliza 360.
- 40
- 45 La figura 4 es un diagrama de flujo para un método 400 detallado para la sincronización de tiempo que usa el rango de entrecruzamiento y una referencia de reloj de estación en tierra, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación. Al inicio 410 de este método 400, el control en tierra ajusta el tiempo y frecuencia de vehículo espacial (SV) (por ejemplo, satélite Iridium) a aproximadamente el tiempo de GPS y deriva mínima 420. Durante esta etapa (etapa 420), el control en tierra estima el tiempo, frecuencia, y órbita de SV en cada pasaje en estación en tierra (por ejemplo, Estación en la Tierra de telemetría, seguimiento, y control/comando (TTAC)). Luego la estación en tierra usa estos datos para crear comandos para ajustar el tiempo y frecuencia de SV, en ciertos o diversos intervalos de tiempo (por ejemplo, genera comandos aproximadamente cada 12 horas). Luego, el SV ajusta su reloj de datos (es decir el tiempo) y su oscilador de frecuencia maestro según lo ordenado por los comandos. El reloj de datos se ajusta en múltiples marcos de banda L de tal manera que no interfiera con otros servicios.
- 50
- 55 Después de que cada uno del tiempo y frecuencia del SV se ajustan, todos los SV calculan el tiempo de llegada (TOA) de las ráfagas de mensajes de entrecruzamiento de banda K en todos los entrecruzamientos activos 430. El TOA se basa en el ajuste hecho por el reloj de datos de receptor de entrecruzamiento de SV para mantener la sincronización de datos.
- 60 Después de que todos los SV calculan los TOA, todos los SV envían sus mediciones de TOA de entrecruzamiento a la tierra para el procesamiento 440. Las mediciones de TOA pueden ser mediciones sin procesar o representadas por

un ajuste de curva. Después de que todos los SV envían las mediciones de TOA de entrecruzamiento a la tierra, el receptor en tierra que está siguiendo el SV Iridium realiza mediciones de TOA y Doppler con respecto al tiempo de GPS 450. Para esta etapa (etapa 450), el receptor en tierra tiene un estándar de frecuencia común que es accionado tanto por el receptor de GPS como el receptor Iridium. Las mediciones de TOA y Doppler están relacionadas con el tiempo de GPS.

Después de que el receptor en tierra realiza las mediciones, el procesamiento en tierra estima la desviación de reloj y la deriva de reloj en relación con el tiempo de GPS para todos los SV 460. La tasa actualizada se basa en la tasa del TOA para la cual el entrecruzamiento de SV se ajusta a la cuadrática. El procesamiento centralizado usa los datos de efemérides Iridium para calcular los valores de tiempo de vuelo para todos los contactos inter-SV y en tierra de SV para los cuales hay datos de TOA. Luego, el procesamiento centralizado elimina los valores de tiempo de vuelo de las mediciones. El procesamiento centralizado luego estima la desviación y deriva de reloj de los SV en relación entre sí, anclándolo al tiempo de GPS cuando están disponibles los datos de seguimiento de receptor en tierra.

Después de que el procesamiento en tierra realiza las estimaciones, las estimaciones de desviación y deriva de reloj se usan para crear los términos de corrección de reloj de SV Iridium 470. Después de que se crean los términos de corrección, el método 400 finaliza 480.

La figura 5 es un diagrama de flujo para un método 500 detallado para la sincronización de tiempo que usa el rango de entrecruzamiento y al menos un satélite Iridium equipado con un receptor de GPS, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación. Al inicio 510 de este método 500, el control en tierra ajusta el tiempo y frecuencia de vehículo espacial (SV) (por ejemplo, satélite Iridium) a aproximadamente el tiempo de GPS y la deriva mínima 520. Durante esta etapa (etapa 520), el control en tierra estima el tiempo, frecuencia, y órbita de SV en cada pasaje en estación en tierra (por ejemplo, Estación en la Tierra de TTAC). Luego la estación en tierra usa estos datos para crear comandos para ajustar el tiempo y frecuencia de SV, en ciertos o diversos intervalos de tiempo (por ejemplo, genera comandos aproximadamente cada 12 horas). Luego, el SV ajusta su reloj de datos (es decir el tiempo) y su oscilador de frecuencia maestro según lo ordenado por los comandos. El reloj de datos se ajusta en múltiples marcos de banda L de tal manera que no interfiera con otros servicios.

Después de que cada uno del tiempo y frecuencia de los SV se ajustan, los SV equipados con receptores de GPS, los cuales son accionados por el oscilador de frecuencia de SV, determinan cada uno su posición, velocidad, y tiempo (PVT), y calculan su desviación y deriva de reloj de oscilador con respecto al tiempo de GPS 530. Luego, todos los SV calculan el tiempo de llegada (TOA) de las ráfagas de mensajes de entrecruzamiento de banda K en todos los entrecruzamientos activos 540. El TOA se basa en el ajuste hecho por el reloj de datos de receptor de entrecruzamiento de SV para mantener la sincronización de datos.

Después de que todos los SV calculan los TOA, todos los SV envían sus mediciones de TOA de entrecruzamiento a la tierra para el procesamiento 550. Las mediciones de TOA pueden ser las mediciones sin procesar o representadas por un ajuste de curva. Los SV equipados con receptores de GPS envían su desviación y deriva de reloj calculadas a la tierra para el procesamiento.

Después de que todos los SV envían sus mediciones de TOA a la tierra para el procesamiento, el procesamiento en tierra estima la desviación de reloj y deriva de reloj en relación con el tiempo de GPS para todos los SV 560. El procesamiento centralizado usa los datos de efemérides Iridium para calcular los valores de tiempo de vuelo para todos los contactos de inter-SV y SV-en tierra para los cuales hay datos de TOA. Luego, el procesamiento centralizado elimina los valores de tiempo de vuelo de las mediciones. El procesamiento centralizado luego estima la desviación y deriva de reloj de los SV en relación entre sí, anclándolo al tiempo de GPS usando las mediciones de desviación y deriva de reloj de oscilador basado en GPS del SV.

Después de que el procesamiento en tierra realiza las estimaciones, las estimaciones de desviación y deriva de reloj se usan para crear los términos de corrección de reloj de SV Iridium 570. Después de que se crean los términos de corrección, el método 500 finaliza 580.

La figura 6 es un diagrama de flujo para un método 600 detallado para la sincronización de tiempo y la determinación de órbita que usa el rango de entrecruzamiento y las mediciones de tiempo de llegada (TOA) en tierra para estimar la efeméride de constelación Iridium, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación. Al inicio 610 de este método 600, el control en tierra ajusta el tiempo y frecuencia de vehículo espacial (SV) (por ejemplo, satélite Iridium) a aproximadamente el tiempo de GPS y la deriva mínima 620. Durante esta etapa (etapa 620), el control en tierra estima el tiempo, frecuencia, y órbita de SV en cada pasaje en estación en tierra (por ejemplo, Estación en la Tierra de TTAC). Luego la estación en tierra usa estos datos para crear comandos para ajustar el tiempo y frecuencia de SV, en ciertos o diversos intervalos de tiempo (por ejemplo, genera comandos aproximadamente cada 12 horas). Luego, el SV ajusta su reloj de datos (es decir el tiempo) y su oscilador de frecuencia maestro según lo ordenado por los comandos. El reloj de datos se ajusta en múltiples marcos de banda L de tal manera que no interfiera con otros servicios.

Después de que cada uno del tiempo y frecuencia del SV se ajustan, los SV equipados con receptores de GPS, los cuales son accionados por el oscilador de frecuencia de SV, determinan cada uno su posición, velocidad, y tiempo

(PVT), y calculan su desviación y deriva de reloj de oscilador con respecto al tiempo de GPS 630. Luego, todos los SV calculan el tiempo de llegada (TOA) de las ráfagas de mensajes de entrecruzamiento de banda K en todos los entrecruzamientos activos 640. El TOA se basa en el ajuste realizado por el reloj de datos de receptor de entrecruzamiento de SV para mantener la sincronización de datos.

5 Después de que todos los SV calculan los TOA, todos los SV envían sus mediciones de TOA de entrecruzamiento a la tierra para el procesamiento 650. Las mediciones de TOA pueden ser las mediciones sin procesar o representadas por un ajuste de curva. Los SV equipados con receptores de GPS envían su desviación y deriva de reloj calculadas a la tierra para el procesamiento.

10 Después de que todos los SV envían las mediciones de TOA de entrecruzamiento a la tierra, el receptor en tierra que está siguiendo el SV Iridium realiza las mediciones de TOA y Doppler con respecto al tiempo de GPS 660, para esta etapa (etapa 660), el receptor en tierra tiene un estándar de frecuencia común que es accionado tanto por el receptor de GPS como el receptor Iridium. Las mediciones de TOA y Doppler están relacionadas con el tiempo de GPS.

15 Después de que el receptor en tierra realiza las mediciones, el procesamiento en tierra estima la desviación de reloj y la deriva de reloj en relación con el tiempo de GPS para todos los SV 670. El procesamiento centralizado usa los datos de efemérides de Iridium para calcular los valores de tiempo de vuelo para todos los contactos de inter-SV y SV-en tierra para los cuales hay datos de TOA. Luego, el procesamiento centralizado elimina los valores de tiempo de vuelo de las mediciones. El procesamiento centralizado luego estima la desviación y deriva de reloj de los SV en relación entre sí, anclando al tiempo de GPS usando las mediciones de desviación y deriva de reloj de oscilador basado en GPS de SV Iridium.

20 Después de que el procesamiento en tierra realiza las estimaciones, el procesamiento en tierra actualiza las estimaciones de órbita de SV Iridium usando las mediciones de TOA de entrecruzamiento y enlace descendente (es decir radial) 680. Luego, las estimaciones de desviación y deriva de reloj de SV Iridium se usan para crear términos de corrección de reloj de SV Iridium 685. Después de que se crean los términos de corrección, las estimaciones de órbita de SV Iridium se usan para crear efemérides de SV 690. Después de que se crean efemérides de SV, el método 600 finaliza 695.

30 La figura 7 es un gráfico que representa la precisión alcanzable con el rango de entrecruzamiento, de acuerdo con al menos una realización de la presente divulgación. El gráfico muestra el error de rango (escala vertical, en metros (m)) como una función de tiempo (escala horizontal, segundos(s)). Esta precisión proporciona precisiones de temporización de entrecruzamiento único de ~20 nanosegundos y precisiones de rango de ~6 metros. Se espera que toda la red de satélites Iridium tenga errores de temporización de menos de 40 nanosegundos y errores de rango de menos de 12 metros. Se pueden emplear mediciones redundantes para reducir además estos errores.

35 Aunque ciertas realizaciones y métodos ilustrativos se han divulgado en este documento, puede ser evidente a partir de la divulgación anterior para los experimentados en la técnica que pueden hacer variaciones y modificaciones de tales realizaciones y métodos sin apartarse del alcance de la técnica divulgada. Existen muchos otros ejemplos de la técnica divulgada, cada uno diferente de los otros solo en cuestiones de detalle. El alcance de la invención está definido por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para temporizar una constelación de satélites, comprendiendo el método:
- 5 transmitir, mediante al menos un primer satélite, al menos una señal de rango de entrecruzamiento a al menos un segundo satélite, en donde al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite es un satélite de temporización con un tiempo de sincronización; en donde
- cuando el al menos un primer satélite es un satélite de temporización, el al menos un segundo satélite es un satélite de no temporización; y
- cuando el al menos un segundo satélite es un satélite de temporización, el al menos un primer satélite es un satélite de no temporización;
- 10 recibir, mediante el al menos un segundo satélite, la al menos una señal de rango de entrecruzamiento;
- calcular al menos una medición de rango desde el al menos un primer satélite hasta el al menos un segundo satélite usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la al menos una señal de rango de entrecruzamiento hasta la recepción de la al menos una señal de rango de entrecruzamiento; y
- 15 calcular una estimación de tiempo y frecuencia para el al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite en relación entre sí y el tiempo de sincronización para sincronizar el tiempo y la frecuencia de al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite usando al menos una de la al menos una medición de rango y el tiempo de sincronización del al menos un satélite de temporización; en donde
- 20 el al menos un satélite de temporización está equipado para obtener el tiempo de sincronización a través de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS); y el al menos un satélite de no temporización no está equipado para obtener el tiempo de sincronización a través de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS).
2. El método de la reivindicación 1, en donde el método comprende además generar al menos una señal de corrección para sincronizar el tiempo y la frecuencia para al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite; y
- 25 transmitir la al menos una señal de corrección a al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite.
3. El método de la reivindicación 1, en donde el método comprende además:
- transmitir, mediante el al menos un satélite de temporización, al menos una señal de posicionamiento a al menos una estación de referencia;
- recibir, mediante la al menos una estación de referencia, la al menos una señal de posicionamiento;
- 30 calcular al menos una medición de rango de posicionamiento desde el al menos un satélite de temporización hasta la al menos una estación de referencia usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la al menos una señal de posicionamiento hasta la recepción de la al menos una señal de posicionamiento; y
- 35 calcular una estimación de posicionamiento orbital para al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite usando la al menos una medición de rango, el tiempo de sincronización, datos de posicionamiento del al menos un satélite de temporización, y el al menos una medición de rango de posicionamiento.
4. El método de la reivindicación 1, en donde el método comprende además:
- transmitir, mediante al menos una estación de referencia, al menos una señal de posicionamiento hasta el al menos un satélite de temporización;
- recibir, mediante el al menos un satélite de temporización, la al menos una señal de posicionamiento;
- 40 calcular al menos una medición de rango de posicionamiento desde la al menos una estación de referencia hasta el al menos un satélite de temporización usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la al menos una señal de posicionamiento hasta la recepción de la al menos una señal de posicionamiento; y
- 45 calcular una estimación de posicionamiento orbital para al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite usando la al menos una medición de rango, el tiempo de sincronización, datos de posicionamiento del al menos un satélite de temporización, y la al menos una medición de rango de posicionamiento.
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 4 o 5, en donde el al menos un satélite de temporización obtiene los

datos de posicionamiento a través de al menos una de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS), al menos una señal del sistema de navegación global por satélite (GLONASS), al menos una señal del Sistema de Navegación BeiDou, y al menos una señal de satélite Galileo.

6. Un sistema para temporizar una constelación de satélites, comprendiendo el sistema:

5 al menos un primer satélite configurado para transmitir al menos una señal de rango de entrecruzamiento a al menos un segundo satélite;

el al menos un segundo satélite configurado para recibir la al menos una señal de rango de entrecruzamiento,

en donde al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite es un satélite de temporización con un tiempo de sincronización; en donde

10 cuando el al menos un primer satélite es un satélite de temporización, el al menos un segundo satélite es un satélite de no temporización; y

cuando el al menos un segundo satélite es un satélite de temporización, el al menos un primer satélite es un satélite de no temporización;

15 al menos un procesador configurado para calcular al menos una medición de rango desde el al menos un primer satélite hasta el al menos un segundo satélite usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la al menos una señal de rango de entrecruzamiento hasta la recepción de la al menos una señal de rango de entrecruzamiento; y

20 el al menos un procesador está configurado además para calcular una estimación de tiempo y frecuencia para el al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite en relación entre sí y con el tiempo de sincronización para sincronizar el tiempo y la frecuencia de al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite usando al menos una de la al menos una medición de rango y el tiempo de sincronización del al menos un satélite de temporización; en donde

25 el al menos un satélite de temporización está equipado para obtener el tiempo de sincronización a través de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS); y el al menos un satélite de no temporización no está equipado para obtener el tiempo de sincronización a través de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS).

7. El sistema de la reivindicación 7, en donde el al menos un procesador está configurado además para generar al menos una señal de corrección para sincronizar el tiempo y la frecuencia para al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite.

30 8. El sistema de la reivindicación 8, en donde el sistema comprende además al menos un transmisor que está configurado para transmitir la al menos una señal de corrección a al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite.

9. El sistema de la reivindicación 7, en donde el al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite son al menos uno de un satélite en Órbita Terrestre Inferior (LEO), un satélite en Órbita Terrestre Media (MEO), y un satélite en Órbita Terrestre Geosíncrona (GEO).

35 10. El sistema de la reivindicación 7, en donde el al menos un satélite de temporización está configurado además para transmitir al menos una señal de posicionamiento a al menos una estación de referencia;

la al menos una estación de referencia está configurada para recibir la al menos una señal de posicionamiento; y

40 el al menos un procesador está configurado además para calcular al menos una medición de rango de posicionamiento desde el al menos un satélite de temporización hasta la al menos una estación de referencia usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la al menos una señal de posicionamiento hasta la recepción de la al menos una señal de posicionamiento, y para calcular una estimación de posicionamiento orbital para al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite usando la al menos una medición de rango, el tiempo de sincronización, datos de posicionamiento del al menos un satélite de temporización, y la al menos una medición de rango de posicionamiento.

45 11. El sistema de la reivindicación 7, en donde el sistema comprende además:

al menos una estación de referencia configurada para transmitir al menos una señal de posicionamiento hasta el al menos un satélite de temporización;

el al menos un satélite de temporización está configurado además para recibir la al menos una señal de consulta de posicionamiento; y

- el al menos un procesador está configurado además para calcular al menos una medición de rango de posicionamiento desde la al menos una estación de referencia hasta el al menos un satélite de temporización usando una cantidad de tiempo transcurrido desde la transmisión de la al menos una señal de posicionamiento hasta la recepción de la al menos una señal de posicionamiento, y para calcular una estimación de posicionamiento orbital para al menos uno del al menos un primer satélite y el al menos un segundo satélite usando la al menos una medición de rango, el tiempo de sincronización, datos de posicionamiento del al menos un satélite de temporización, y la al menos una medición de rango de posicionamiento.
- 5
12. El sistema como en cualquiera de las reivindicaciones 11 o 12, en donde el al menos un satélite de temporización obtiene los
- 10
- datos de posicionamiento a través de al menos una de al menos una señal del sistema de posicionamiento global (GPS), al menos una señal del sistema de navegación global por satélite (GLONASS), al menos una señal del Sistema de Navegación BeiDou, y al menos una señal de satélite Galileo.

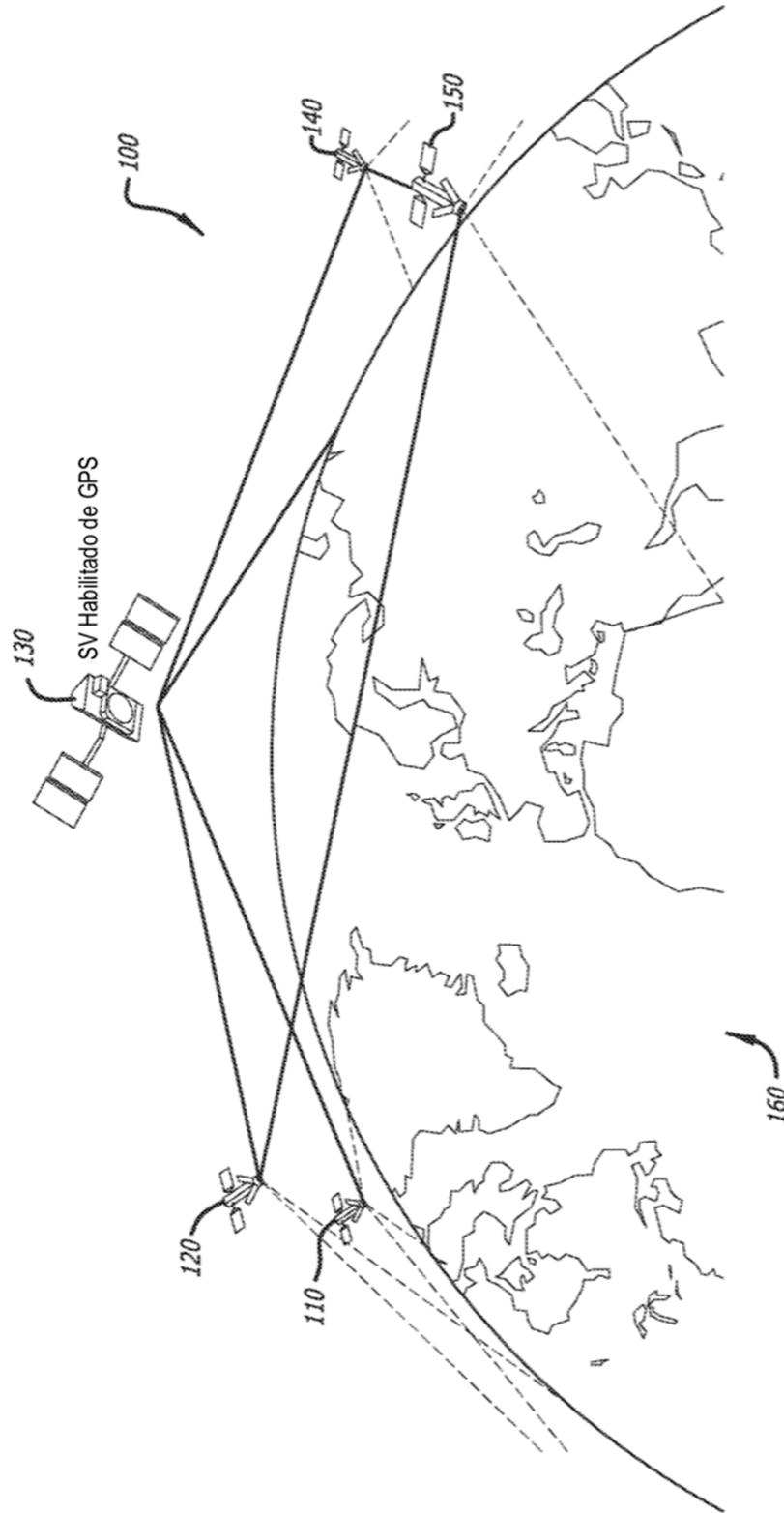
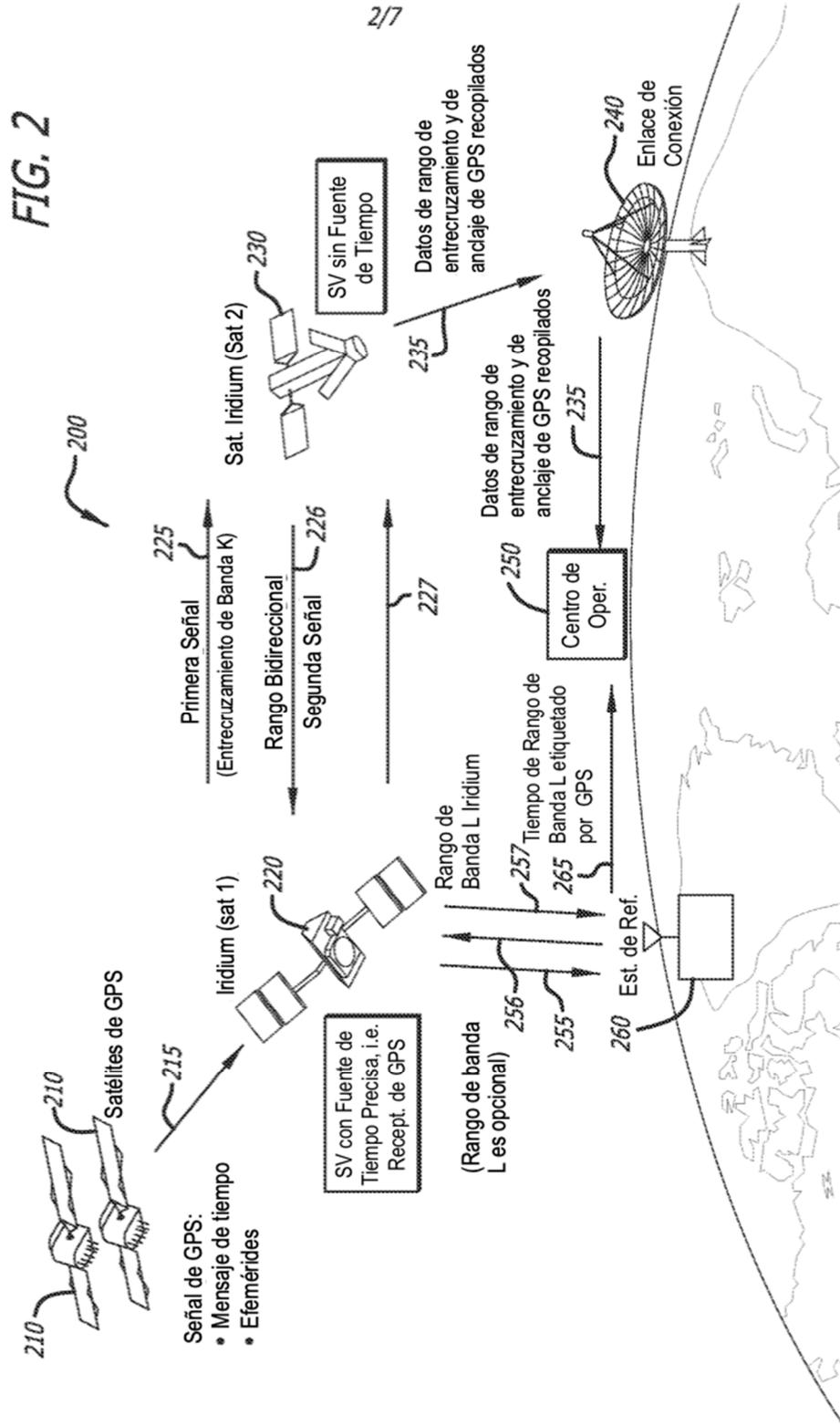


FIG. 1



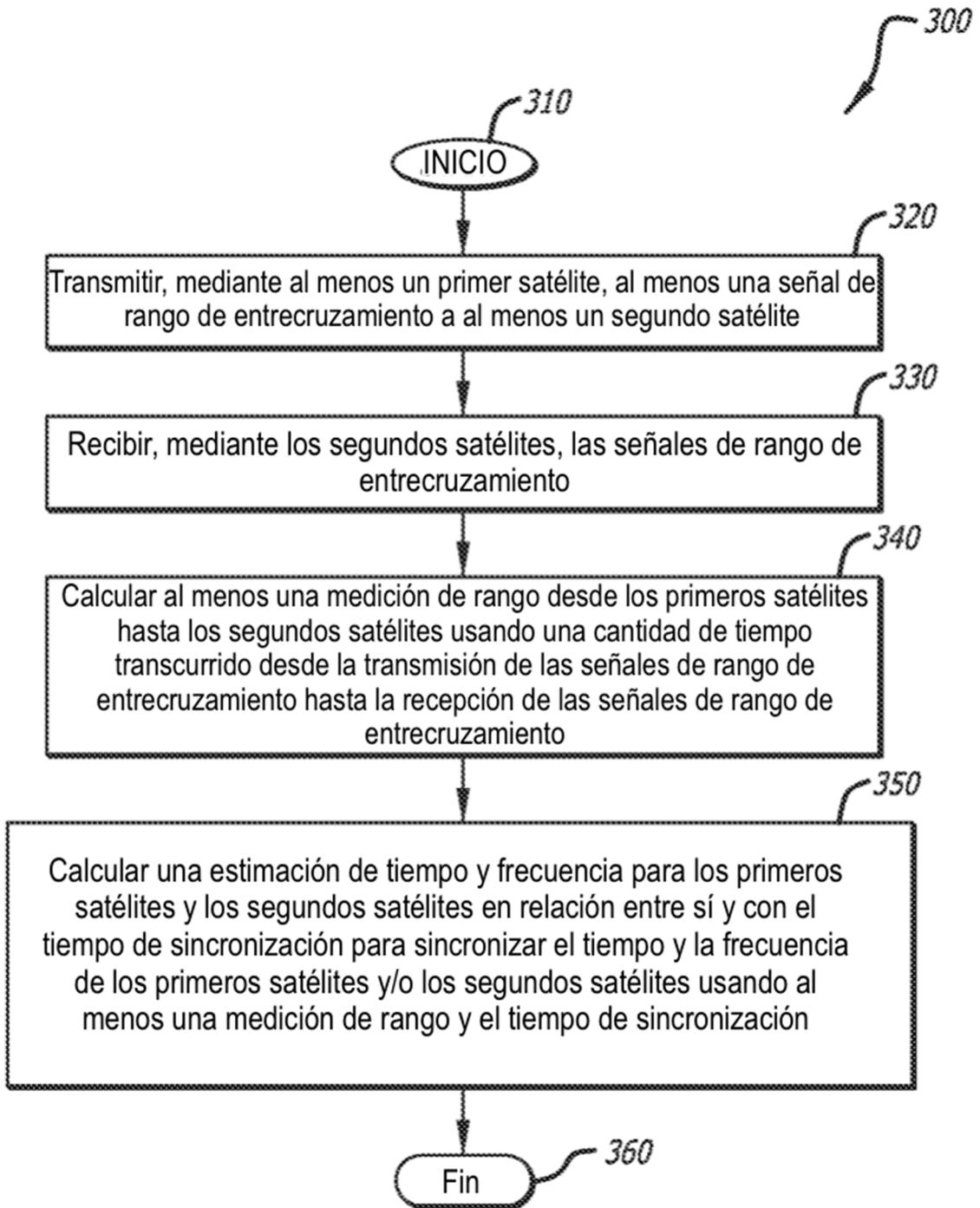


FIG. 3

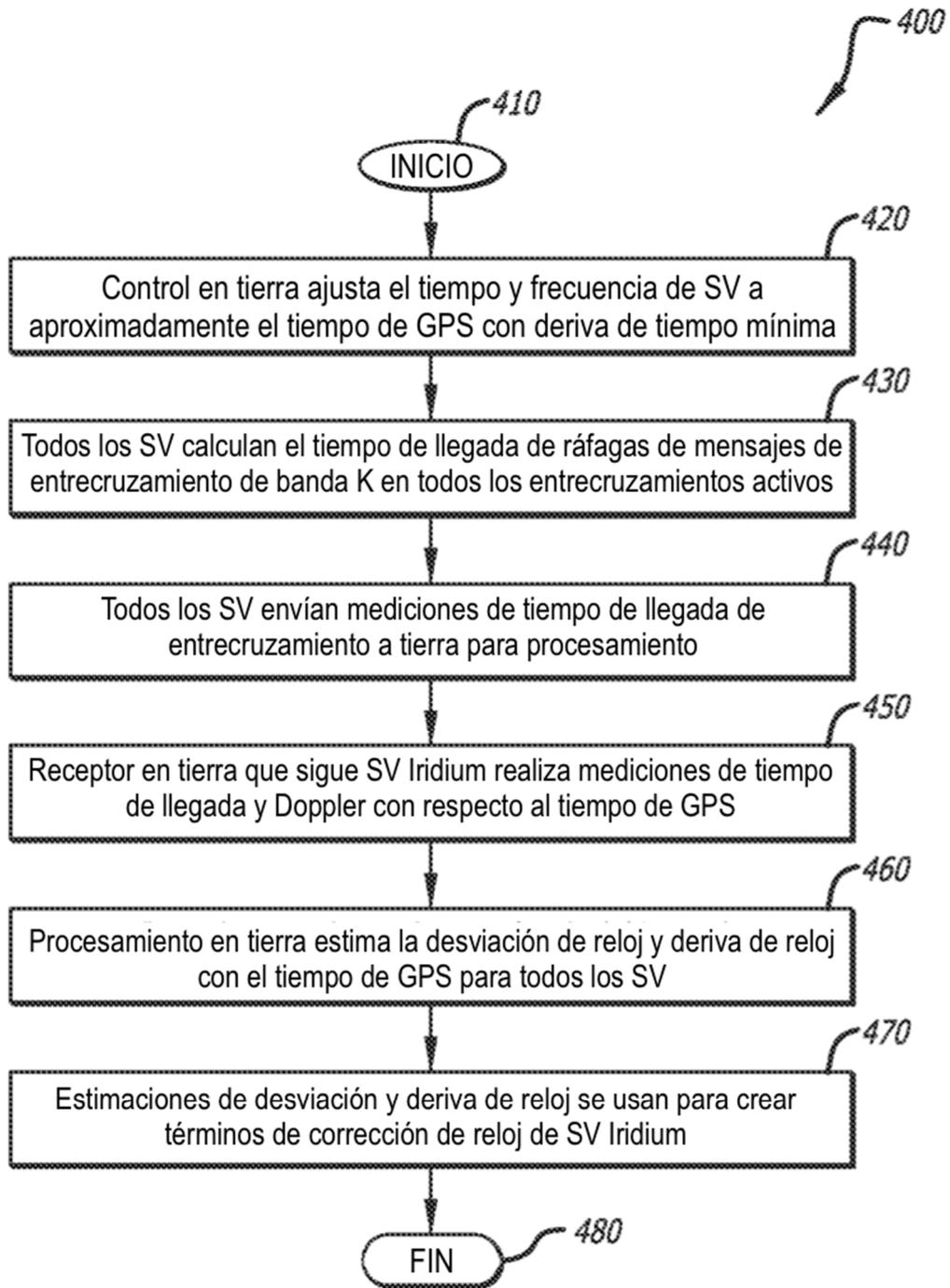


FIG. 4

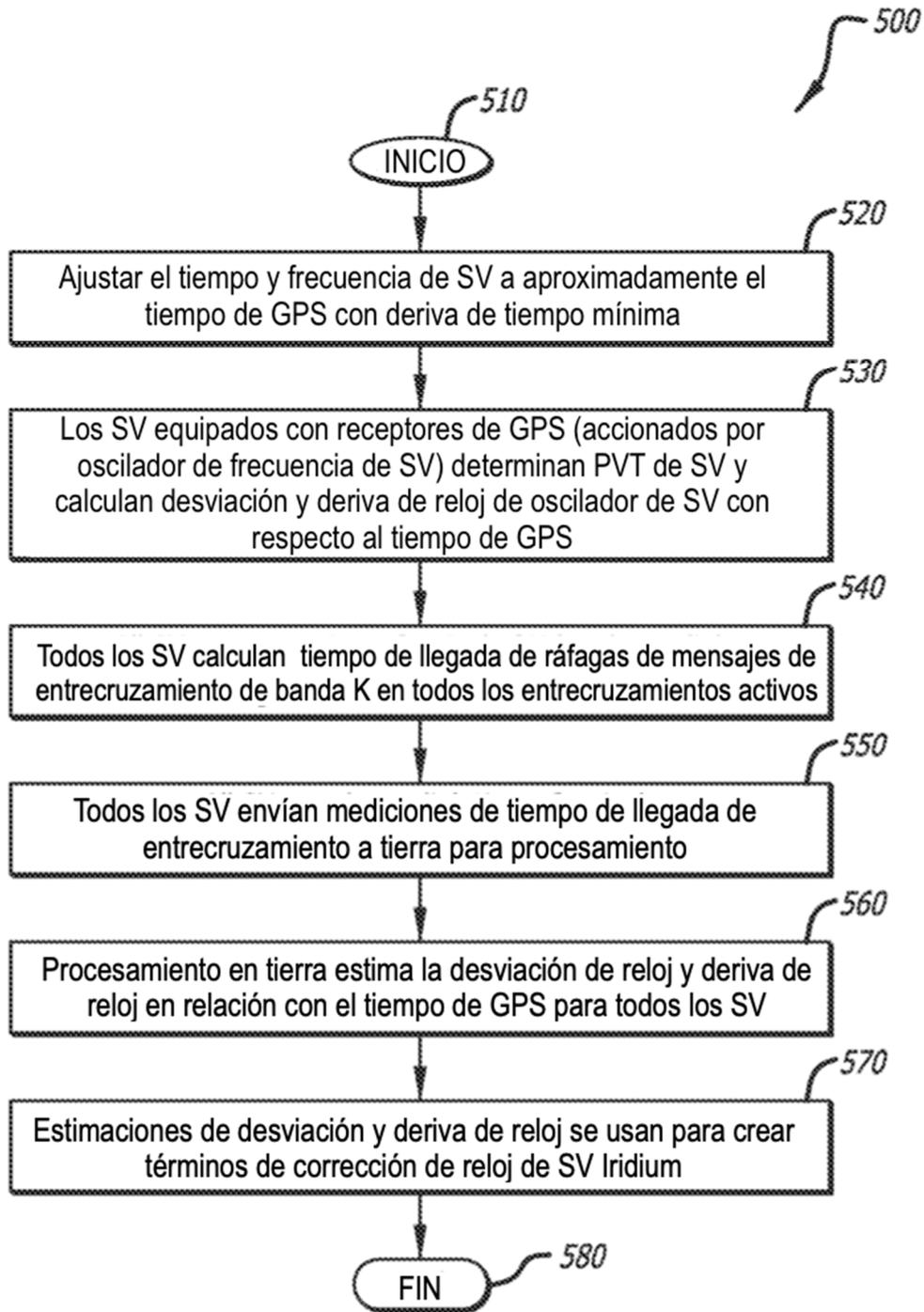
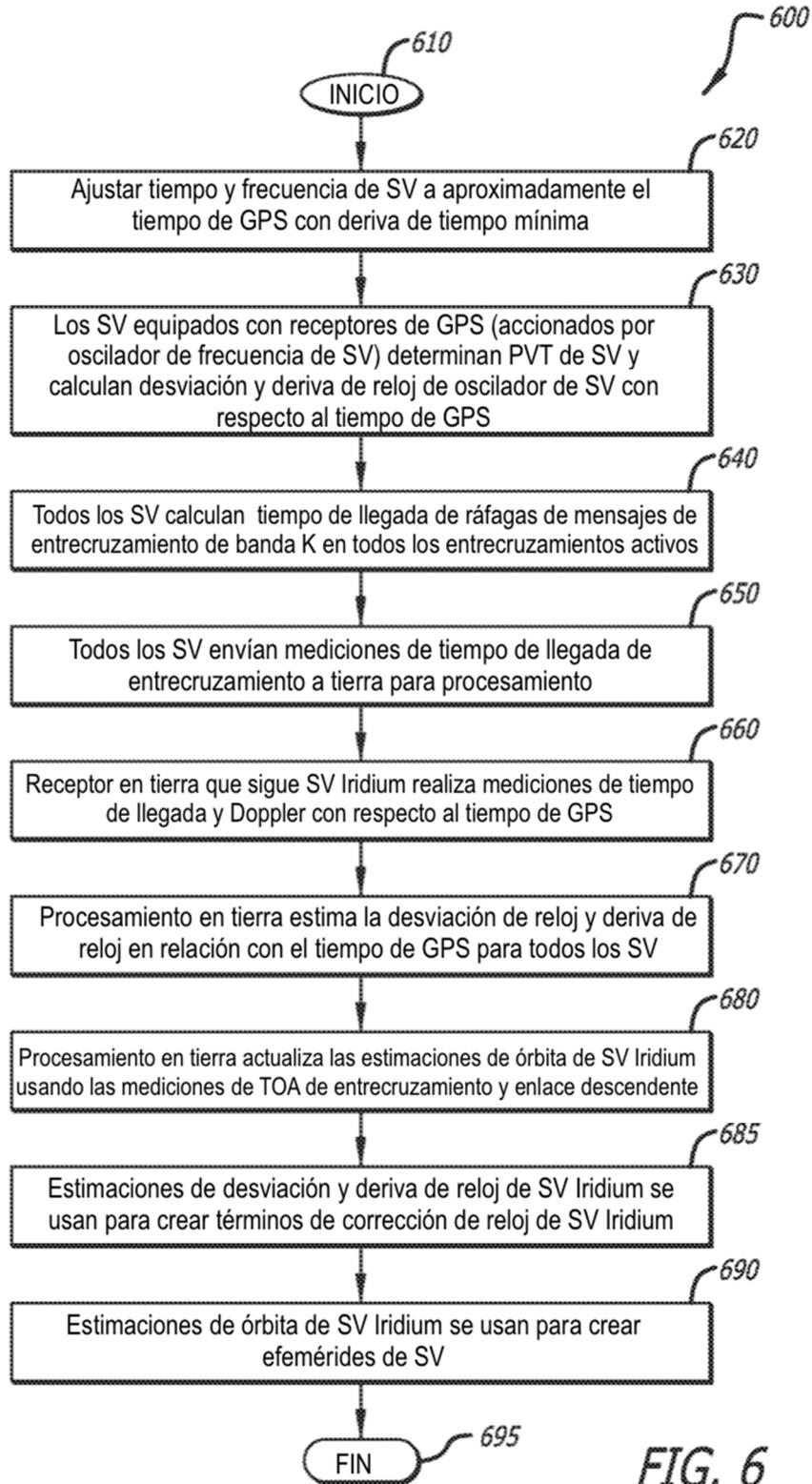


FIG. 5



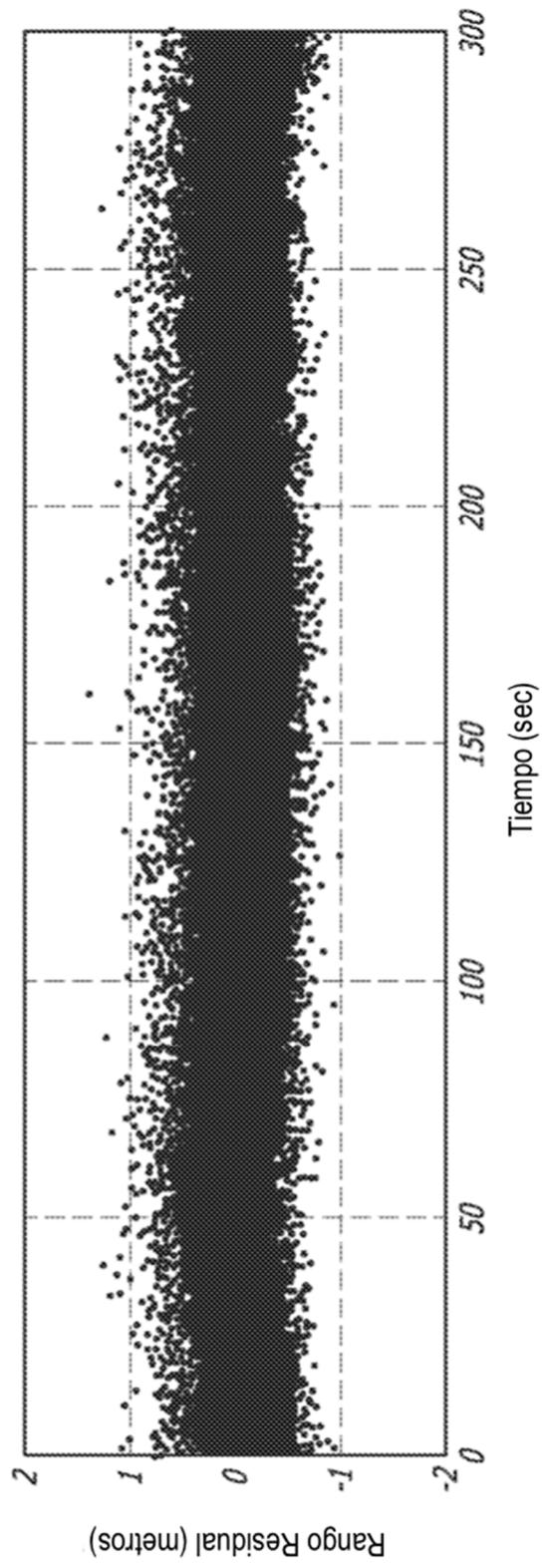


FIG. 7