



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 287 223**

(51) Int. Cl.:
G01S 1/00 (2006.01)
G01S 5/14 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **02256055 .1**
(86) Fecha de presentación : **30.08.2002**
(87) Número de publicación de la solicitud: **1291665**
(87) Fecha de publicación de la solicitud: **12.03.2003**

(54) Título: **Sistema de correlación cruzada para la recuperación de tiempo en un posicionamiento GPS asistido por red.**

(30) Prioridad: **10.09.2001 US 950551**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.12.2007

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.12.2007

(73) Titular/es: **Nokia Corporation**
Keilalahdentie 4
00045 Espoo, FI

(72) Inventor/es: **Akopian, David y**
Syrjarinne, Jari

(74) Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

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

Sistema de correlación cruzada para la recuperación de tiempo en un posicionamiento GPS asistido por red.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a sistemas de posicionamiento global, y más particularmente a la sincronización de relojes (tiempo del sistema) utilizado por receptores que hacen uso de la información proporcionada por tales sistemas de posicionamiento.

10 **Antecedentes de la invención**

En el sistema de posicionamiento global (GPS) bien conocido, la sincronización al tiempo del sistema (también denominado tiempo de GPS) es una función clave de cualquier receptor GPS. Se determinan las posiciones de receptores basados en GPS mediante la intersección de una serie de distancias simultáneas a vehículos satélites (SV) en órbita. Se establecen las distancias basándose en el tiempo que transcurre entre cuando cada SV transmite una señal de determinación de distancia y cuando se recibe la señal de determinación de distancia por el receptor, multiplicada por la velocidad de la luz. Una señal de determinación de distancia incluye una indicación de cuándo, según el tiempo del sistema, se transmitió la señal de determinación de distancia por el SV. La señal de determinación de distancia está incluida en lo que se denominan datos de navegación proporcionados por cada SV, que también incluyen información que necesita un receptor para construir órbitas de satélite (posición como una función del tiempo del sistema). El mensaje de navegación es una señal a 50 Hz constituida por bits de datos que describen las órbitas de los SV de GPS, correcciones en el reloj, y otros parámetros del sistema. Si cualquiera de los datos de posición de la órbita del SV o los datos de tiempo de GPS en los cálculos del receptor son incorrectos o incompletos, como por ejemplo, cuando los datos de navegación proporcionados por un satélite como parte de la señal de determinación de distancia no pueden demodularse correctamente debido a condiciones ruidosas o de señal débil, entonces pueden tener lugar errores de posicionamiento sustanciales. En tales condiciones, puede utilizarse asistencia de sincronización basándose en la red para ayudar a reconstruir la información de tiempo de GPS, es decir, para ayudar a determinar cuándo una señal de determinación de distancia llega según el tiempo de GPS. El tiempo de GPS es un conjunto de "reloj de papel" de un reloj de control maestro y los relojes SV. El tiempo de GPS se mide en semanas y segundos desde las 24:00:00 del 5 de enero de 1980, y se mantiene (pero no sincronizado a) dentro de un microsegundo del tiempo universal coordinado (UTC); el tiempo de GPS no presenta segundos de salto y va adelantado algunos segundos respecto al UTC. Lo que se denomina en la presente memoria tiempo SV es el tiempo mantenido por un satélite, normalmente utilizando cuatro relojes atómicos (dos de cesio y dos de rubidio), monitorizados por estaciones de control de tierra y reajustados ocasionalmente para mantener el tiempo dentro de un milisegundo del tiempo de GPS; los bits de datos de corrección de reloj reflejan el desfase de cada reloj SV respecto al tiempo de GPS.

El mensaje de navegación está constituido por bits de datos etiquetados con tiempo organizados en tramas de 1500 bits divididas en cinco subtramas de 300 bits; los bits de datos etiquetados con tiempos marcan el tiempo de transmisión de cada subtrama. (Cada subtrama indica cuándo debe emitirse el primer bit de la siguiente subtrama, según el tiempo SV). Puesto que el mensaje de navegación GPS se emite a 50 Hz, una trama de datos se transmite cada treinta segundos, y una subtrama cada seis segundos. Tres subtramas de seis segundos contienen datos de reloj y de la órbita. Se envían las correcciones de reloj SV en la subtrama uno y se envían ajustes de datos de la órbita de SV precisos (parámetros de datos de efemérides) para el SV de transmisión en las subtramas dos y tres. Las subtramas cuatro y cinco se utilizan para transmitir diferentes páginas de datos del sistema. Un conjunto completo de veinticinco tramas (125 subtramas) forma lo que se denomina como un mensaje de navegación completo, que se envía durante un periodo de 12,5 minutos.

El funcionamiento básico en posicionamiento basado en GPS supone una estimación de un tiempo de recepción de señal y tiempos de transmisión de señal desde cada uno de varios satélites (idealmente por lo menos cuatro), que se utilizan para calcular posiciones de satélites y luego las distancias desde los satélites al usuario (receptor GPS). Las estimaciones del tiempo de transmisión pueden obtenerse a partir de un conocimiento de tres componentes, concretamente, la componente del tiempo semanal (TOW) (con una precisión de seis segundos), una segunda, componente de milisegundos relacionada con un número de milisegundos que han transcurrido desde el principio de una subtrama, y una tercera, componente de submilisegundos.

El mecanismo de posicionamiento estándar procede tal como sigue. En primer lugar, a partir del mensaje de datos proporcionado por la señal SV, se encuentra el TOW en el que se transmitió la señal SV, es decir, se toma nota del tiempo según el receptor GPS en el que se reciben los bits que indican el TOW por el receptor GPS. A partir de este tiempo, el receptor GPS cuenta el número de milisegundos y submilisegundos. (Se proporciona la componente de milisegundos basándose en una correlación de la señal de espectro ensanchado que soporta el mensaje de datos recibido con una réplica, y se proporciona la componente de milisegundos basándose en la diferencia entre la última cuenta de milisegundos y la cuenta de milisegundos en el TOW. Cuando se sigue la pista al satélite, hay un contador de milisegundos interno que cuenta desde algún instante de tiempo arbitrario el número de generaciones de código, es decir, periodos de código. Dada la cuenta de milisegundos en el punto de TOW de una señal recibida y también la última cuenta de milisegundos, ambos medidos desde algún mismo punto en el tiempo, la diferencia es la cuenta de milisegundos desde el TOW). Se calcula el tiempo de transmisión como:

$$t_{\text{trans}} = \text{TOW} + \text{milisegundos} + \text{submilisegundos},$$

y la pseudodistancia se forma como:

$$\text{pseudodistancia} = \text{estimación de tiempo de recepción} - t_{\text{trans}}$$

La estimación del tiempo de recepción se calcula a menudo como el tiempo de transmisión para uno de los canales más un tiempo de vuelo nominal (tal como, por ejemplo 70 ms).

Tal como se indicó anteriormente, en la determinación de la pseudodistancia según el procedimiento estándar, el receptor GPS debe estar sincronizado al tiempo de GPS (de modo que pueda determinar el tiempo que ha transcurrido desde que se transmitió una señal de TOW por un SV y se recibió por el receptor GPS). Múltiples SV y una solución de navegación (o una posición conocida para un receptor de sincronización) permiten ajustar el tiempo SV a una precisión limitada por el error de posición y el error de pseudodistancia para cada SV. Después de que un receptor GPS determina con precisión el tiempo SV para un satélite, lo convierte a tiempo de GPS utilizando información proporcionada en el mensaje de navegación.

Tal como se mencionó, se informa de la cuenta de TOW en el mensaje de navegación cada seis segundos; sin embargo, en condiciones de señal débil, a veces la demodulación de los datos de navegación no es posible. En tales condiciones, la asistencia de tiempo desde una red celular (mediante una estación base de la red celular) con precisión de hasta unos pocos segundos puede proporcionar la cuenta de TOW, y la componente de submilisegundos puede obtenerse desde un receptor que utiliza técnicas de adquisición y seguimiento del estado de la técnica. Sin embargo, cuando el mensaje de navegación no puede demodularse y cuando cualquier asistencia de red proporciona información de sincronización insuficientemente precisa, la parte de milisegundos del tiempo debe recuperarse utilizando otros procedimientos (debido a que la asistencia celular y las técnicas de adquisición del estado de la técnica no son útiles para proporcionar una estimación de la parte de milisegundos).

Para la parte de milisegundos, se utiliza una correlación cruzada en el caso de condiciones de señal mala para alinear las subtramas de la señal de navegación GPS reconstruida recibida antes o secuencias de bit con los mismos elementos de información recibidas posteriormente, pero la técnica de correlación cruzada debe tener en cuenta las modulaciones sinusoidales de la señal portadora que queda tras la fase de seguimiento en el receptor GPS, la modulación producida por el desplazamiento Doppler y deriva del reloj, lo que en la presente memoria se denomina modulaciones sinusoidales residuales. Si no se compensan las modulaciones residuales, la modulación de la señal portadora de satélite mediante modulación sinusoidal debido a la frecuencia Doppler y deriva del reloj hace a la correlación cruzada convencional ineficaz para determinar el tiempo de transmisión.

El problema que la invención supera

La invención resulta útil en el caso de un receptor GPS que sigue la pista a un satélite, excepto en una situación en la que no pueden decodificarse los datos de navegación del satélite (por ejemplo, debido a condiciones de señal mala).

La invención supera el problema de determinar el tiempo de GPS en el caso de una señal SV de mala calidad, lo suficientemente mala en calidad que los datos de navegación no pueden decodificarse a partir de la señal SV por el receptor GPS y la componente de seguimiento del receptor no puede compensar completamente el desplazamiento de frecuencia Doppler y deriva del reloj. La invención mejora sobre la técnica anterior en que compensa el desplazamiento de frecuencia Doppler y deriva del reloj, lo que se denominan en la presente memoria modulaciones sinusoidales residuales (es decir, modulaciones sinusoidales que pueden atribuirse al desplazamiento Doppler y deriva del reloj que quedan después de que la componente de seguimiento procesa la señal recibida). La invención proporciona una componente de milisegundos más precisa del tiempo SV (tiempo SV que hace referencia al tiempo transcurrido entre cuando se transmitió una señal estampada con tiempo por el SV, y cuando se recibe por el receptor GPS) que la técnica anterior en las mismas condiciones de señal mala (compensando las modulaciones sinusoidales residuales). En la invención, el seguimiento del código se realiza como en el procedimiento estándar, es decir, se borra el código C/A como normalmente, proporcionando la componente de submilisegundos, pero puesto que se supone que los datos de navegación presentan ruido y no pueden demodularse, no se proporciona la componente de milisegundos.

El procedimiento de correlación de la invención utiliza la idea de que los datos de navegación transmitidos por un satélite se conocen de forma aproximada (normalmente desde alguna fuente de asistencia, tal como una red celular) y en consecuencia la señal que soporta los datos de navegación puede reconstruirse de forma aproximada. La invención utiliza entonces la señal reconstruida de forma aproximada para determinar dónde en la señal reconstruida realmente para determinar dónde en la señal recibida realmente se producen las componentes individuales (tales como efemérides, almanaque u otra componente) de los datos de navegación. (Tal como se mencionó anteriormente, alguna técnica anterior utiliza la misma idea de reconstrucción, pero no compensa las modulaciones sinusoidales residuales tal como lo hace la invención).

En las condiciones supuestas, los datos de navegación recibidos presentan ruido, de modo que el receptor GPS no puede decodificar de forma apropiada los datos de navegación tal como en el procedimiento estándar, excepto

utilizando correlación cruzada según la técnica anterior y también según la invención (que proporciona una precisión mejorada) el receptor GPS intenta identificar un conjunto completo de datos (tales como datos de efemérides) todos a la vez, lo que es más fácil de hacer que identificar elementos individuales de un conjunto de datos puesto que identificar un conjunto completo de datos permite la integración sobre de varios bits de datos. Se identifica un conjunto particular de datos recibidos correlacionando la señal recibida con una señal que incluye el conjunto particular de datos que se construye por el receptor GPS (o por la fuente de asistencia). El receptor GPS correlaciona entonces la señal recibida con la señal construida y determina así dónde se produce el conjunto de datos en la señal recibida basándose en cuándo aparece una coincidencia mientras se desliza la señal construida sobre la señal recibida (o, de forma equivalente, deslizando la señal recibida sobre la señal reconstruida). Saber dónde se produce el conjunto de datos en la señal recibida es todo lo que se necesita para determinar la componente de milisegundos. Así, en la invención, se proporcionan la componente de TOW y de milisegundos por la fuente de asistencia y correlación cruzada con la señal construida basándose en la asistencia de red, y se proporciona la componente de submilisegundos como normalmente. La componente de milisegundos, en combinación con la componente de submilisegundos proporciona la pseudodistancia. Se utiliza entonces la pseudodistancia en (por ejemplo) una solución de filtro de Kalman o de mínimos cuadrados para determinar la posición y tiempo (en el que se determina que el receptor GPS presenta la posición calculada) del receptor GPS, según el tiempo de GPS.

Por tanto, también en el procedimiento que se mejora por la invención, se realiza una correlación sobre de una serie de bits de datos de navegación, mientras que una correlación cruzada convencional tiene posibilidades de fallar cuando se realiza sobre de una serie de bits de datos de navegación, incluso en el caso de una alineación perfecta de los bits de datos porque en la correlación cruzada convencional, la modulación por el desplazamiento Doppler y deriva del reloj, es decir, las modulaciones sinusoidales residuales, no se elimina de la señal. Para aumentar la probabilidad de que una correlación satisfactoria sobre un periodo de tiempo tan largo (longitud de la señal que engloba por lo menos varios si no muchos bits de datos de navegación), es esencial compensar cualquier modulación sinusoidal residual.

Lo que todavía se necesita

Lo que se necesita es un procedimiento mejorado mediante el que un receptor GPS pueda ajustar él mismo el tiempo de GPS basándose en el tiempo de llegada observado (para el reloj del receptor GPS) de emisión de señales en condiciones de señal mala desde un SV, contando con la asistencia desde una estación base (que tiene acceso a cualquier señal de calidad más alta), un procedimiento que tiene en cuenta la modulación sinusoidal de la señal del satélite producida por el desplazamiento Doppler y deriva del reloj.

La patente US nº 6.052.081 da a conocer un receptor móvil que adquiere y recibe una señal SV, que determina una pseudodistancia basándose en la señal SV, desensancha la señal SV, produciendo un registro del mensaje de datos del satélite a partir de las señales de GPS adquiridas utilizadas para crear o determinar las pseudodistancias, transmitiendo el registro a una estación de un sistema de comunicación inalámbrica, y determinando entonces la estación el tiempo de recepción de la señal SV mediante el receptor móvil, basándose en la correlación del registro con un registro de referencia estampada con tiempo, es decir, un registro que incluye la misma información, pero estampado con tiempo por el procesador de la estación, tras recibirse desde el satélite. Se supone que la estampación de tiempo es correcta, y así la estación puede determinar la diferencia en tiempo entre cuando recibió el registro del satélite, y cuando lo hizo el receptor móvil. Se utiliza la estampación de tiempo para determinar en la estación, el tiempo de recepción por el receptor móvil de la señal SV adquirida originariamente.

La referencia se refiere también a los documentos WO 98/02973; US-A-5 579 338 y WO 99/26370.

Sumario de la invención

La invención proporciona un sistema, un aparato y el procedimiento correspondiente para determinar el tiempo en el que una señal de un vehículo satélite (SV) recibida por un receptor móvil se emitió por el SV. El procedimiento según la invención se define en la reivindicación 1 y el aparato según la invención se define en la reivindicación 9. Se reivindica el sistema según la invención en la reivindicación 17.

En el procedimiento según la invención, el receptor móvil está ubicado en el área de cobertura de una estación de un sistema de comunicación inalámbrica, y el procedimiento incluye las etapas de: disponer un correlador del receptor móvil para que esté dotado de la señal SV después de que la señal SV se ha desensanchado y demodulado en frecuencia de forma aproximada la señal SV y así incluye alguna modulación de frecuencia residual y antes de cualquier demodulación de cualquier dato de demodulación; disponer la estación para que proporcione al receptor móvil el contenido de por lo menos una parte de la misma señal SV y una cuenta de TOW; disponer el correlador para que realice una correlación de la señal SV con una réplica de por lo menos una parte de la señal SV determinada a partir del contenido de una parte de la señal SV proporcionada por la estación; y determinar el tiempo en el que se emitió la señal por el SV basándose en la componente de milisegundos de la señal SV proporcionada por la correlación y la cuenta de TOW; en el que se realiza la correlación de una manera que tiene en cuenta cualquier modulación de frecuencia residual de la señal SV mediante una operación que implica multiplicar la señal SV por sinusoides o sinusoides aproximadas a frecuencias discretas que abarcan un intervalo que engloba la frecuencia de la modulación residual.

La estación puede construir la réplica basándose en el contenido de una parte de la señal SV recibida por la estación.

También, el receptor móvil puede construir la réplica basándose en el contenido de una parte de la señal SV recibida por la estación.

En otro aspecto adicional de la invención, la multiplicación de la señal SV por sinusoides a frecuencias discretas puede estar seguida por una integración coherente para cada frecuencia discreta.

En otro aspecto adicional más de la invención, la multiplicación de la señal SV por sinusoides a frecuencias discretas puede estar precedida por una pluralidad de correlaciones secundarias de partes de la réplica con partes de tamaño correspondiente de la señal SV, cada una de las cuales se multiplica entonces por las sinusoides a frecuencias discretas y se suman juntas en una integración coherente.

Todavía en un aspecto adicional, el procedimiento puede comprender la etapa de integrar de forma no coherente sobre una pluralidad de resultados de la integración coherente. Incluso en todavía un aspecto adicional de la invención, la etapa de integrar de forma no coherente sobre una pluralidad de resultados de la integración coherente incluye una etapa de realizar una operación que consiste en o bien tomar el valor absoluto de cada resultado de la integración coherente, elevar al cuadrado cada resultado de la integración coherente, o bien, empezando con el segundo resultado, multiplicar cada resultado de la integración coherente por el complejo conjugado del valor del resultado anterior de la integración coherente.

De este modo, la presente invención proporciona una técnica de correlación cruzada, para su utilización por un receptor GPS (con asistencia de una estación base inalámbrica) que ha recibido una señal SV, para determinar el tiempo según el reloj maestro de GPS en el que se transmitió la señal SV por el SV, una técnica que es más precisa que la que se proporciona por la técnica anterior en que compensa cualquier modulación sinusoidal de la señal SV, debido al desplazamiento de frecuencia Doppler y deriva del reloj, que quedan tras el procesamiento de la señal SV por la fase de seguimiento del receptor GPS. Estas modulaciones sinusoidales residuales son perceptibles sólo durante periodos de tiempo por lo menos comparables al periodo de las subtramas de un mensaje de navegación (seis segundos), no durante los periodos de tiempo mucho más cortos utilizados para la adquisición y seguimiento de una señal SV (inferior a 20 ms, es decir, inferior al periodo/generación de un único bit de datos de navegación). Según la invención, en una realización, una estación base de una red de telecomunicaciones inalámbrica proporciona a un receptor GPS por lo menos una parte del mismo mensaje de navegación que el receptor GPS recibió del SV. (En otra realización, la estación base no proporciona la réplica/patrón de bits real, sino sólo información suficiente para que el receptor GPS construya la réplica). Correlacionando según la invención la réplica con la señal SV recibida realmente por el receptor GPS, y utilizando el conocimiento de la ubicación de la estación base, el receptor GPS puede determinar el tiempo aproximado en el que se transmitió la señal SV por el SV. Es importante entender que en las condiciones supuestas de señal SV de mala calidad, el receptor GPS no puede leer el TOW en los datos de navegación; para el TOW, el receptor GPS cuenta con una fuente de asistencia. Con tal asistencia, el receptor GPS puede determinar durante qué subtrama se envió la señal que indica el TOW (conocer el tiempo de transmisión de la señal T_{trans} con una precisión de 3 s, permite determinar la subtrama utilizando

$$\text{Subtrama}_{TOW} = \text{redondear} (T_{trans}/6s) * 6s,$$

pero para combinar la información como para la subtrama en la que se envió la señal de TOW con la componente de submilisegundos, el receptor GPS debe poder asociar el TOW proporcionado por el tiempo de la fuente de asistencia con algún punto en la señal recibida. Para proporcionar la asociación, el receptor GPS hace una correlación cruzada del patrón de bits de datos construido basándose en el TOW proporcionado por la fuente de asistencia con el fragmento de señal recibido, y en algún momento/posición relativa en la correlación cruzada de deslizamiento hay una coincidencia. El receptor GPS estampa la posición en la que se produce la coincidencia con el TOW conocido. El receptor GPS determina entonces la cuenta de milisegundos basándose en la ocurrencia de bordes de bits (*bit edges*) de datos (realizándose la determinación de forma diferente en receptores GPS diferentes). Con la cuenta de milisegundos en la posición TOW identificada representada por N, y la cuenta de milisegundos en el extremo de la señal representada por M, y con la cuenta de submilisegundos (cuenta de elementos de código entera y fraccionaria) representada como M_s , se calcula el tiempo de recepción como

$$T_{rec} = TOW + (M - N) * \tau_{código} + M_s * \tau_{elemento \text{ de código}}$$

en la que $\tau_{código}$ es el periodo del código PRN (0,001 s), y $\tau_{elemento \text{ de código}}$ es la duración de elemento de código (1/1023000 s). Por tanto $T_{rec} = TOW + (M-N) * 0,001$ (en segundos) + $M_s/1023000$ (en segundos).

Se realiza la correlación de la invención para compensar cualquier modulación sinusoidal de la señal SV que todavía queda tras las fases de adquisición y seguimiento, es decir, para compensar modulaciones sinusoidales residuales. La correlación incluye lo que se denominan en la presente memoria fases de integración coherente seguidas (opcionalmente) por fases de integración no coherente que implican elevar al cuadrado u otro tipo de operación realizada para aumentar la sensibilidad del sistema. Además, la complejidad del sistema aumenta con el intervalo de frecuencia de modulación sinusoidal residual; una aplicación en la que se sabe que la modulación sinusoidal residual está en el intervalo de [-50, 50] Hz requerirá menos cálculo que una aplicación en la que se sabe que la modulación sinusoidal residual está en el intervalo de [-100, 100] Hz.

Los datos están en formato I/Q (es decir, se consideran los datos como una serie de números complejos) y se toman muestras con múltiples bits. Normalmente en la salida del procedimiento de seguimiento, los datos de navegación se decodifican utilizando un umbral. El resultado para cada bit representado por los datos es un valor complejo normalmente en formato I/Q (en fase, fase de cuadratura), por ejemplo $(I, Q) = (123, 0,1)$ o $(I, Q) = (-123, 0,4)$. La componente Q es pequeña en el procedimiento de seguimiento en condiciones de señal buenas. Si el umbral es por ejemplo 10, entonces el resultado para $(I, Q) = (123, 0,1)$ se toma meramente del canal I y se toma para ser el valor +1, y para $(I, Q) = (-123, 0,4)$ se toma que el resultado es -1. En condiciones de señal mala, el procedimiento de seguimiento no proporciona una componente Q pequeña y los bits del canal I no se identifican de forma apropiada algunas veces. En vez de emitir bits de datos incorrectos, la invención emite los valores tanto I como Q y los procesa juntos, que es por lo que existe modulación sinusoidal residual y por lo que se aplica la correlación cruzada de la invención a señales complejas. Podría haber varias muestras por bit de datos tanto en las componentes I como Q, estando representada cada muestra a su vez por varios bits. La duración de los datos es de 20 ms. Así, por ejemplo, podría haber 5 muestras de las componentes tanto I como Q, representada cada una por 4 bits.

Sin embargo, como consecuencia de no requerir sincronización de fase, puede existir una modulación sinusoidal residual en los datos I/Q de múltiples bit. Sin embargo, la invención elimina eficazmente la modulación sinusoidal residual. (En la patente US nº 5.798.732, el problema de posible modulación sinusoidal residual no se considera en absoluto).

Otra diferencia entre la presente invención y el procedimiento dado a conocer en la patente US nº 5.798.732 es en la sincronización. En la presente invención, no se utiliza el resultado de una correlación cruzada como tal (es decir, para alinear señales y de ese modo inferir información de sincronización), sino que se utiliza simplemente para identificar un patrón de bits. Se determina la sincronización real utilizando un procedimiento independiente. En la presente invención, la correlación cruzada proporciona una estampación de tiempo (el TOW) para una posición sobre la señal recibida, pero se construye el tiempo real de transmisión sumando la componente de milisegundos y submilisegundos. Además, existe una fase de cálculo de posición para identificar el tiempo de recepción correcto en la presente invención, mientras que en la patente US nº 5.798.732, se identifica el tiempo de recepción de forma indirecta. Tal como se mencionó anteriormente, la fase de cálculo de posición determina entonces cuando se recibió realmente el bit de datos de navegación estampado con tiempo, según el tiempo de GPS, utilizando por ejemplo un filtro de Kalman u otra técnica para encontrar el tiempo de recepción así como la velocidad o posición del receptor GPS.

Al contrario que la patente US nº 6.052.081, la presente invención tiene como objetivo recuperar el tiempo de GPS directamente a partir de los datos recibidos, en tiempo real. Se utiliza la denominada *sincronización de reloj de símbolos* en la presente invención para sincronizar los bordes de bits de datos de manera precisa, y se utiliza la coincidencia de patrones sólo para identificar qué parte de la señal SV recibida corresponde a qué conjunto de datos (efemérides, almanaque, etc.). La sincronización de reloj de símbolos simplifica el procedimiento de correlación cruzada en el caso de aplicaciones en las que hay una pluralidad de muestras por bit de datos de navegación. En la sincronización de reloj de símbolos, si puede determinarse la ubicación de los bordes de bits, entonces la correlación cruzada de deslizamiento se realiza no desplazando una muestra cada vez, sino desplazando tantas muestras como correspondan a un único bit de datos de navegación. Pero para la sincronización de reloj de símbolos, el receptor GPS debe saber qué muestras corresponden a qué bordes de bits de datos. Si no el receptor GPS debe realizar una correlación cruzada en todas las fases de desplazamiento. (Existe un algoritmo que proporciona la información de a qué bordes de bits corresponden qué muestras). Se recupera el reloj de símbolos (bit de datos) a partir de los datos recibidos; no se proporciona por una estación base. Además, se elimina la modulación sinusoidal residual en el procedimiento descrito en la patente US nº 6.052.081 se elimina con demodulación diferencial, mientras que la presente invención aplica una técnica diferente. La presente invención podría utilizarse para situaciones en las que la señal del satélite sólo se sincroniza en frecuencia (en el peor caso), es decir, la modulación sinusoidal residual cambia con el tiempo.

Breve descripción de los dibujos

Los anteriores y otros objetivos, características y ventajas de la invención se pondrán más claramente de manifiesto a partir de una consideración de la siguiente descripción detallada presentada en relación a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es un diagrama de bloques/diagrama de flujo de un aparato para realizar cada posible fase de alineación según la técnica anterior;

la figura 2 es un diagrama de bloques/diagrama de flujo de un aparato según la invención en el que se realiza correlación cruzada con la eliminación/compensación de la modulación sinusoidal residual (la modulación Doppler);

la figura 3 es un diagrama de bloques/diagrama de flujo de un aparato que realiza una combinación coherente y/o eliminación Doppler/compensación según la invención; y

la figura 4 es un diagrama de bloques/diagrama de flujo que muestra la utilización de transformadas para la demodulación y combinación coherente, según la invención.

Mejor modo de poner en práctica la invención

Según la invención, una estación base de una red de telecomunicaciones inalámbrica proporciona a un receptor de sistema de posicionamiento global (GPS) ubicado en el área de cobertura de la estación base un patrón de bits que es una réplica (posiblemente aproximada) de por lo menos una parte de un mensaje de navegación recibido realmente por el receptor GPS desde un SV del GPS. El receptor GPS utiliza la réplica para determinar de forma precisa el tiempo, según el reloj maestro de GPS, en el que se transmitió la señal por el SV. Cuando el receptor GPS recibe la señal SV, la procesa según una fase de seguimiento, que elimina de la señal SV el código de ensanchamiento y la mayoría de la portadora. Sin embargo, por lo menos queda algo de portadora, una cantidad apenas es perceptible durante los periodos de tiempo implicados en la el seguimiento (milisegundos), pero todavía perceptible durante los periodos de tiempo implicados en la lectura de lo que se denomina el mensaje de navegación, que es el contenido de datos de la señal SV. El receptor GPS correlaciona la señal que realmente recibió (tras el procesamiento mediante la fase de seguimiento) con la réplica de una manera que compensa cualquier modulación residual, tal como se explica a continuación.

Por supuesto no es necesario para una estación base proporcionar la réplica necesaria, sino sólo proporcionar suficiente información para que el receptor GPS construya la réplica.

Se supone que el receptor GPS puede leer el mensaje de navegación lo suficiente para poder determinar la componente de tiempo semanal (TOW) del tiempo en el que se emitió la señal SV (como alternativa, la estación base puede leer el TOW y proporcionárselo al receptor GPS), y también se supone que puede eliminar la ambigüedad de submilisegundos durante las fases de adquisición y seguimiento. Entonces, una vez que la réplica y la señal real se han correlacionado de forma precisa, lo que no puede realizarse sin tener en cuenta cualquier modulación residual (que puede deberse al efecto Doppler y puede deberse también a ligeras diferencias en las velocidades de los diferentes relojes implicados en los procedimientos que están describiéndose, es decir, el reloj SV, el reloj del receptor GPS, el reloj de la estación base, y el reloj maestro de GPS), y el receptor GPS tiene en cuenta la ubicación de la estación base, el receptor GPS puede eliminar la ambigüedad de veinte milisegundos en el tiempo en el que se emitió la señal SV, y determinar así el tiempo de emisión de forma precisa.

Según la técnica anterior tal como se muestra en la figura 1, se “recupera” el tiempo de GPS por un receptor GPS (es decir, el receptor GPS determina el tiempo según el reloj maestro de GPS en el que se transmitió un bit particular de una señal SV por un SV) utilizando un procedimiento de correlación cruzada que implica dos secuencias de bits, una señal recibida y una réplica. Se hace que la réplica “se deslice” sobre la señal recibida (o viceversa), y en cada posición relativa (fase), se calcula un valor de correlación indicando la correlación entre la réplica y un segmento de la señal recibida. La fase que conduce al mayor valor de correlación es la fase que es más probable. En otras palabras, para la mejor alineación, debe desfasarse o bien la réplica o bien la señal original por la fase conduciendo al valor de correlación más grande.

El algoritmo para la recuperación del tiempo de GPS utilizado por la técnica anterior (y también el algoritmo utilizado por la invención, tal como se describe a continuación) utiliza las siguientes entradas: una disposición que contiene la señal recibida original ($X_s(n)$), una disposición que contiene la señal réplica ($X_r(n)$), las longitudes de ambas disposiciones (N_s, N_r), un posible intervalo de frecuencias de modulación sinusoidal (ΔF) que queda todavía tras la fase de seguimiento, el número de muestras tomadas por bit ($k_{s/b}$) de la señal recibida, y un indicador que indica si se realiza la sincronización de bits mediante algún otro algoritmo de modo que se conocen los bordes de bits de datos (F_{bs}). En lo que sigue, para facilidad de análisis, se supone adicionalmente que se toman muestras de la réplica a una tasa de una muestra por bit.

A continuación, haciendo referencia a la figura 2, según la invención, se realiza un procedimiento de correlación que es similar a la técnica de correlación convencional ilustrada en la figura 1 en que una réplica se desliza sobre un segmento de la señal original, pero difiere de la de la técnica anterior de dos formas. En primer lugar, en lugar de realizar una única correlación de la réplica con el segmento de la señal original, el procedimiento de correlación se divide en varias correlaciones secundarias de secciones del segmento de la señal original, y en segundo lugar, se combinan los resultados de las diferentes correlaciones secundarias de una manera que compensa la modulación sinusoidal residual del segmento de la señal original, una modulación a una frecuencia que se denomina en la presente memoria la frecuencia Doppler, independientemente del grado que pueda atribuirse exclusivamente a un fenómeno de desplazamiento Doppler.

Todavía haciendo referencia a la figura 2, se calcula preferiblemente la longitud (N_{ss}) de cada sección basándose en la frecuencia ΔF Doppler máxima posible. Por ejemplo, podría calcularse la longitud según el siguiente procedimiento:

$$N_{ss} = \text{floor} \left(\frac{1000.0 \cdot k_{s/b}}{20\Delta F} \right); \quad (1)$$

$$\text{si } (N_{ss} == 0) \quad \text{entonces } N_{ss} = 1;$$

en el que se toman las entradas del algoritmo de los correladores de canal de seguimiento. (La función *floor* (...) (redondear hacia abajo) presenta como una salida el entero más próximo que no supere el valor del argumento).

El módulo de *compensación sinusoidal residual y combinación coherente* presenta dos opciones mediante las que compensar la modulación sinusoidal residual (producida por el desplazamiento Doppler y deriva de reloj). En una opción, se utilizan varios canales de demodulación con diferentes frecuencias de modulación residuales supuestas. En la otra opción, se multiplica cada resultado de la correlación secundaria por la versión del (complejo) conjugado en el resultado de la correlación secundaria vecina. Preferiblemente, se utilizan ambos mecanismos, uno tras el otro, tal como se ilustra en la figura 3. Sin embargo, en vez de usar ambos en sucesión, es posible eliminar la compensación de frecuencia residual e integración coherente y encontrar todavía la posición en la que tiene lugar la máxima correlación.

En el sistema ilustrado en la figura 3, en la sección de compensación de modulación residual, los resultados de la correlación secundaria se multiplican en primer lugar por señales sinusoidales complejas con frecuencias que abarcan un intervalo de modo que por lo menos una frecuencia en el intervalo estará lo suficientemente próxima a la frecuencia de modulación residual para demodular la posible modulación residual (desconocida). El resultado de la multiplicación por cada frecuencia diferente, denominada en la presente memoria frecuencia de modulación residual candidata, se integra entonces de forma coherente sobre alguna longitud, teniendo en cuenta el signo de cada término que está sumándose. (La expresión *integración coherente* se utiliza en la presente memoria para distinguir entre lo que se denomina *integración no coherente*, en la que se toma el valor absoluto de cada sumando antes de añadirlo a la suma. Así, la integración coherente es simplemente una integración normal).

Todavía haciendo referencia a la figura 3, la longitud de la integración coherente y la separación de frecuencias entre canales están relacionados entre sí (igual que la longitud de subsección y la separación de frecuencias, tal como se mencionó en relación a la ecuación (1) anterior). La integración coherente está seguida de integración no coherente sobre una pluralidad de los resultados de la etapa de integración coherente (que sirve cada uno como un sumando de la integración no coherente), utilizando uno cualquiera de los tres procedimientos posibles para eliminar la dependencia del signo del sumando: (1) elevar al cuadrado cada muestra (sumando) antes de añadirlo a la suma; (2) tomar el valor absoluto de cada sumando; y (3) multiplicar cada sumando por el valor del complejo conjugado de la muestra/sumando anterior. El máximo valor de correlación para todas las frecuencias de modulación residuales candidatas es el resultado del módulo de integración no coherente. (Por supuesto, lo que se quiere es la posición en la que se produce el máximo, no el valor en sí mismo, y la posición en la que se produce el máximo se conoce a partir de la posición relativa de la señal construida y del segmento de la señal recibida que proporciona el máximo valor de correlación). Si el valor de la frecuencia de modulación residual en sí mismo es de interés, puede estimarse como el valor de la frecuencia de modulación residual candidata para la que el resultado fue un máximo. Para el tercer caso (en el que se multiplica cada sumando por el valor del complejo conjugado del sumando anterior), la fase compleja correspondiente al valor (de correlación) máximo proporciona una estimación más precisa de la frecuencia de modulación residual de lo que lo es la frecuencia de modulación residual candidata.

Haciendo referencia a continuación a la figura 4, pueden combinarse las fases de demodulación e integración coherente de la invención e implementarse utilizando transformadas de demodulación, tal como se muestra en la figura 4. Además, puede utilizarse un margen cero para elegir la separación de frecuencias entre frecuencias Doppler candidatas adyacentes y/o longitudes de integración/sección adecuadas de modo que puedan usarse transformadas rápidas.

Si se realiza la sincronización de bits para determinar bordes de bits de la señal recibida (por algún otro algoritmo o como una parte integral de un sistema según la presente invención), entonces el espacio de búsqueda se reduce a medida que se buscan las fases de alineación en una rejilla discreta desplazando la réplica un bit cada vez en lugar de una muestra cada vez, de modo que si la toma de muestras se realiza a una tasa de por ejemplo 20 muestras por bit, entonces el valor de incremento es de 20 muestras. Así, se reduce sustancialmente la complejidad de la correlación cruzada si la información de bordes de bits está disponible.

Alcance de la invención

Debe entenderse que las disposiciones descritas anteriormente son sólo ilustrativas de la aplicación de los principios de la presente invención. Por ejemplo, aunque se ha descrito la invención en el contexto de una estación base de un sistema de comunicación inalámbrica que proporciona a un receptor móvil el contenido de una parte de la misma señal SV que la recibida por el receptor móvil, la invención engloba disponer cualquier entidad, es decir, cualquier estación, de una instalación de comunicación inalámbrica para que proporcione tal contenido. Además, aunque la invención se ha descrito como incluyendo una operación que implica multiplicar la señal SV por sinusoides a frecuencias discretas que abarcan un intervalo que engloba la frecuencia de la modulación residual, la invención también engloba utilizar una operación que implica multiplicar la señal SV por sinusoides aproximadas, que incluyen por ejemplo una secuencia de valores de +1, -1, +1, -1, etc. Pueden idearse numerosas otras modificaciones y disposiciones alternativas por los expertos en la materia sin apartarse del alcance de la presente invención, y se pretende que las reivindicaciones adjuntas comprendan tales modificaciones y disposiciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar el tiempo en el que una señal de vehículo satélite (SV) recibida por un receptor móvil se emitió por el SV, estando ubicado el receptor móvil en el área de cobertura de una estación de un sistema de comunicación inalámbrica, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:

- a) disponer un correlador del receptor móvil para que esté dotado de la señal SV después de haberse desensanchado y demodulado en frecuencia de forma aproximada pero incluyendo alguna modulación de frecuencia residual y antes de la demodulación de cualquier dato de navegación;
- b) disponer la estación para que proporcione al receptor móvil el contenido de por lo menos una parte de la misma señal SV y una cuenta de TOW, tiempo semanal;
- c) disponer la correlación para que realice una correlación de la señal SV con una réplica de por lo menos una parte de la señal SV determinada a partir del contenido de una parte de la señal SV proporcionada por la estación; y
- d) determinar el tiempo en el que se emitió la señal por el SV basándose en la componente de milisegundos de la señal SV proporcionada por la correlación y la cuenta de TOW;

en el que se realiza la correlación de una manera que tiene en cuenta cualquier modulación de frecuencia residual de la señal SV mediante una operación que implica multiplicar la señal SV por sinusoides o sinusoides aproximadas a frecuencias discretas que abarcan un intervalo que engloba la frecuencia de la modulación residual.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la estación construye la réplica basándose en el contenido de una parte de la señal SV recibida por la estación.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el receptor móvil construye la réplica basándose en el contenido de una parte de la señal SV recibida por la estación.

4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la multiplicación de la señal SV por sinusoides a frecuencias discretas está seguida por una integración coherente para cada frecuencia discreta.

5. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la multiplicación de la señal SV por sinusoides a frecuencias discretas está precedida por una pluralidad de correlaciones secundarias de partes de la réplica con partes dimensionadas de manera correspondiente de la señal SV, multiplicándose cada una de ellas a continuación por las sinusoides a frecuencias discretas y sumándose juntas en una integración coherente.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, que comprende asimismo la etapa de integrar de forma no coherente sobre una pluralidad de resultados de la integración coherente.

7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que la etapa de integrar de forma no coherente sobre una pluralidad de resultados de la integración coherente comprende una etapa de realizar una operación seleccionada de entre el grupo constituido por: tomar el valor absoluto de cada resultado de la integración coherente, elevar al cuadrado cada resultado de la integración coherente, y, empezando con el segundo resultado, multiplicar cada resultado de la integración coherente por el complejo conjugado del valor del resultado anterior de la integración coherente.

8. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la modulación residual es una modulación sinusoidal residual.

9. Aparato receptor móvil para recibir una señal de un vehículo satélite y una comunicación desde una estación de un sistema de comunicación inalámbrica cuando se encuentra en el área de cobertura del mismo, para determinar el tiempo en el que la señal del vehículo satélite (SV) recibida por el mismo se emitió por el SV, comprendiendo el aparato receptor móvil:

- a) un correlador en el receptor móvil configurado para recibir la señal SV después de haberse desensanchado y demodulado en frecuencia de forma aproximada pero incluyendo alguna modulación de frecuencia residual y antes de la demodulación de cualquier dato de navegación;
- b) unos medios para recibir desde la estación el contenido de por lo menos una parte de la misma señal SV y una cuenta de TOW;
- c) unos medios para disponer el correlador para que realice una correlación de la señal SV con una réplica de por lo menos una parte de la señal SV determinada a partir del contenido de una parte de la señal SV proporcionada por la estación; y
- d) unos medios para determinar el tiempo en el que se emitió la señal por el SV basándose en la componente de milisegundos de la señal SV proporcionada por la correlación y la cuenta de TOW;

en el que se realiza la correlación de una manera que tiene en cuenta cualquier modulación de frecuencia residual de la señal SV mediante una operación que implica multiplicar la señal SV por sinusoides o sinusoides aproximadas a frecuencias discretas que abarcan un intervalo que engloba la frecuencia de la modulación residual.

10. Aparato según la reivindicación 9, configurado para recibir dicha réplica desde la estación, habiéndose construido la réplica por la estación basándose en el contenido de una parte de la señal SV recibida por la estación.

11. Aparato según la reivindicación 9, en el que el receptor móvil construye la réplica basándose en el contenido de una parte de la señal SV recibida por la estación.

12. Aparato según la reivindicación 9, 10 u 11, en el que la multiplicación de la señal SV por sinusoides a frecuencias discretas está seguida por una integración coherente para cada frecuencia discreta.

13. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que la multiplicación de la señal SV por sinusoides a frecuencias discretas está precedida por una pluralidad de correlaciones secundarias de partes de la réplica con partes dimensionadas de manera correspondiente de la señal SV, multiplicándose cada una de ellas por las sinusoides a frecuencias discretas y sumándose juntas en una integración coherente.

14. Aparato según la reivindicación 13, que comprende asimismo unos medios para integrar de forma no coherente sobre una pluralidad de resultados de la integración coherente.

15. Aparato según la reivindicación 14, en el que los medios para integrar de forma no coherente sobre una pluralidad de resultados de la integración coherente comprenden unos medios para realizar una operación que comprende: tomar el valor absoluto de cada resultado de la integración coherente, elevar al cuadrado cada resultado de la integración coherente, y, empezando con el segundo resultado, multiplicar cada resultado de la integración coherente por el complejo conjugado del valor del resultado anterior de la integración coherente.

16. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, en el que la modulación residual es una modulación sinusoidal residual.

17. Sistema, que comprende el aparato receptor según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 16, y una estación, sensible a la misma señal SV que la del aparato receptor móvil, para proporcionar el contenido de por lo menos una parte de la misma señal SV a medida que se recibe por el receptor móvil.

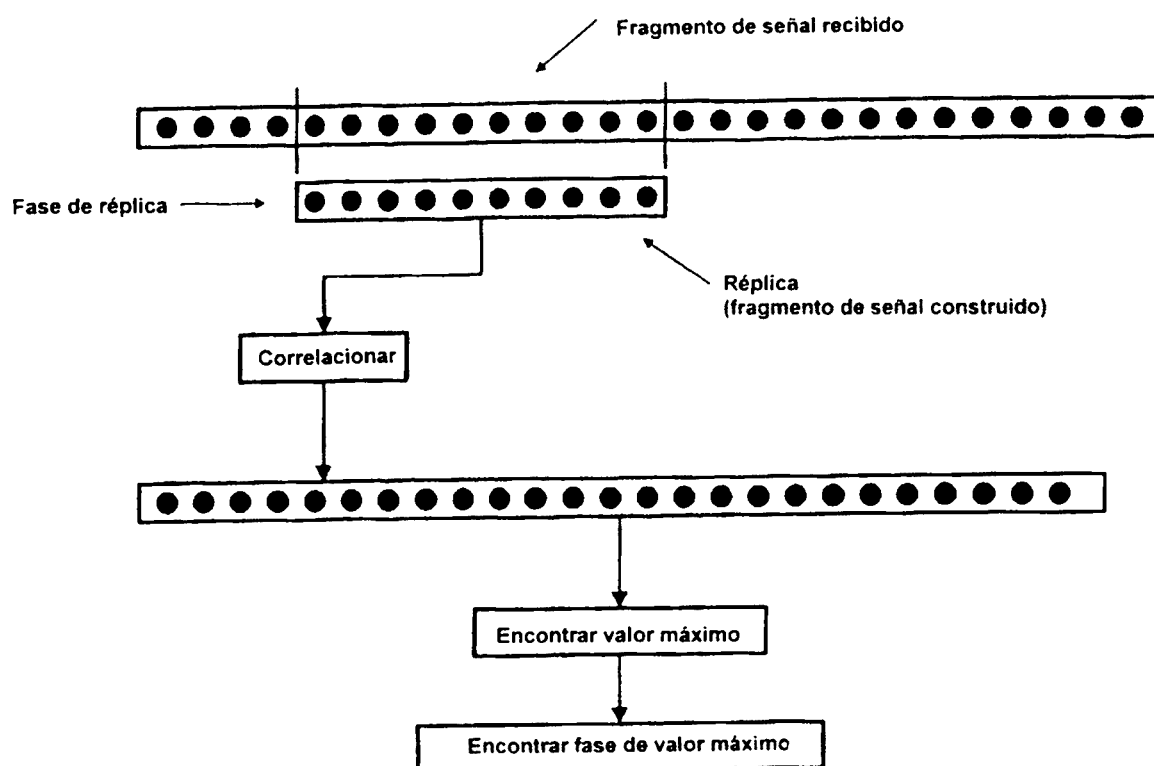


Fig. 1 (Técnica anterior)

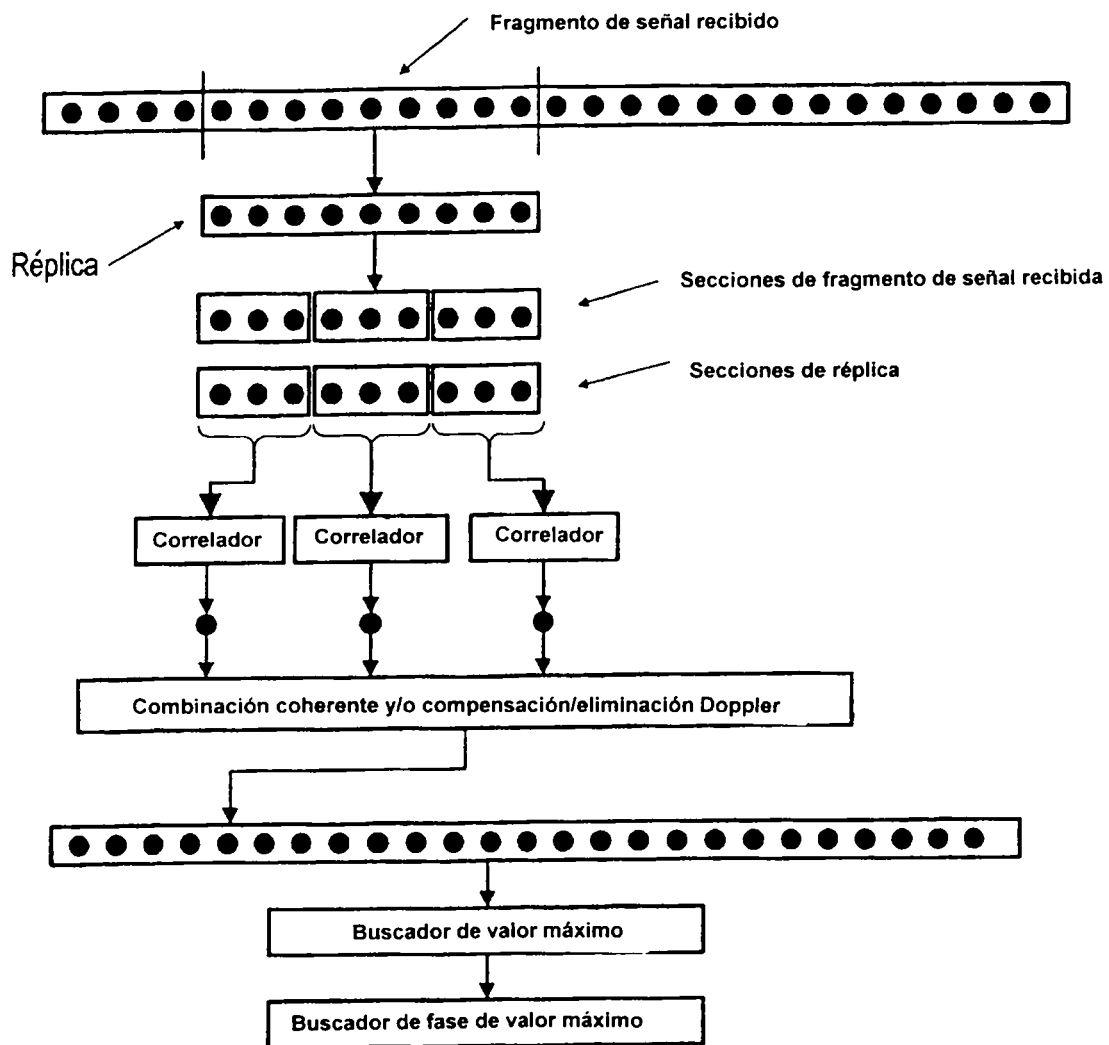


Fig. 2

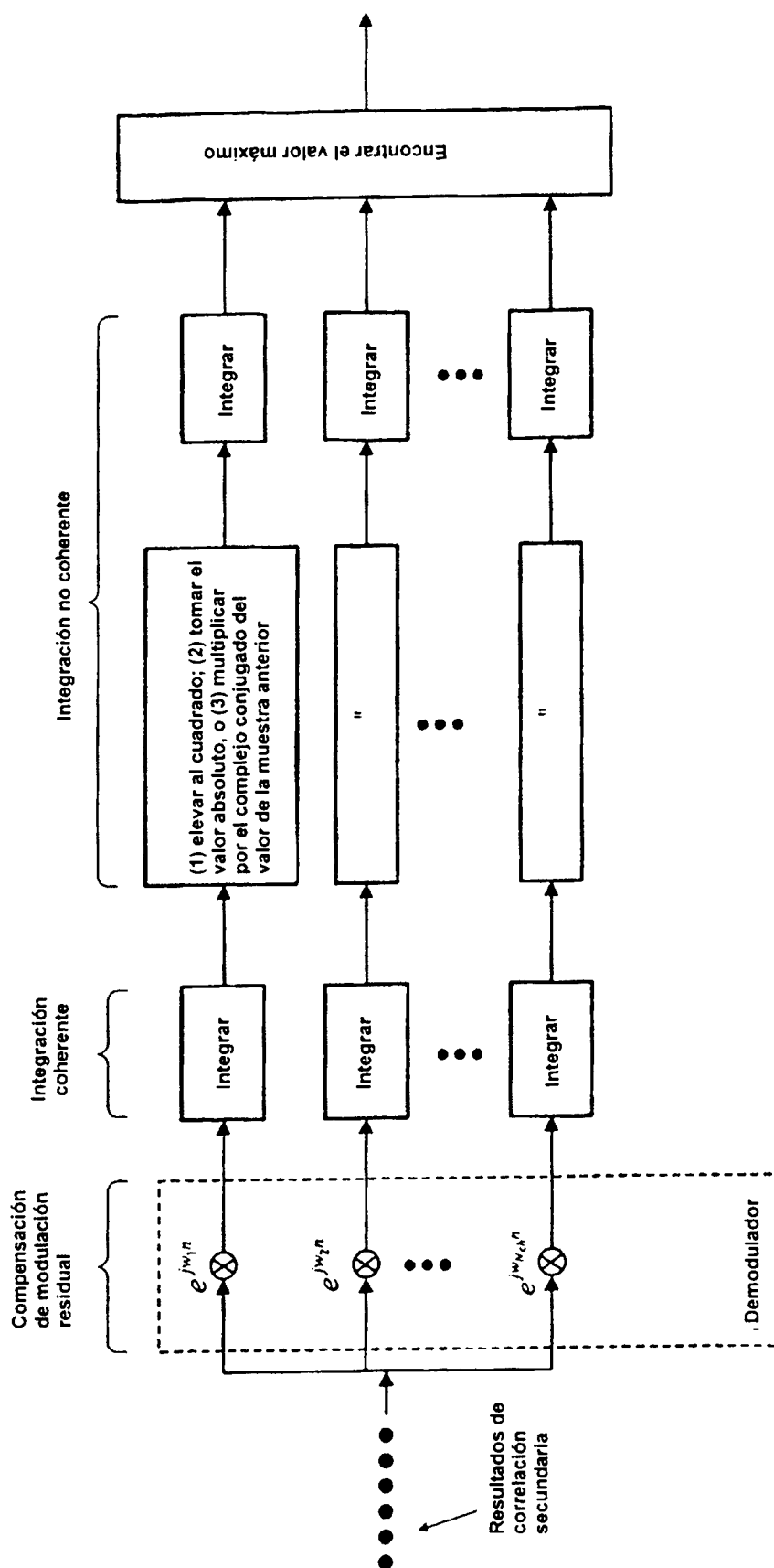


Fig. 3

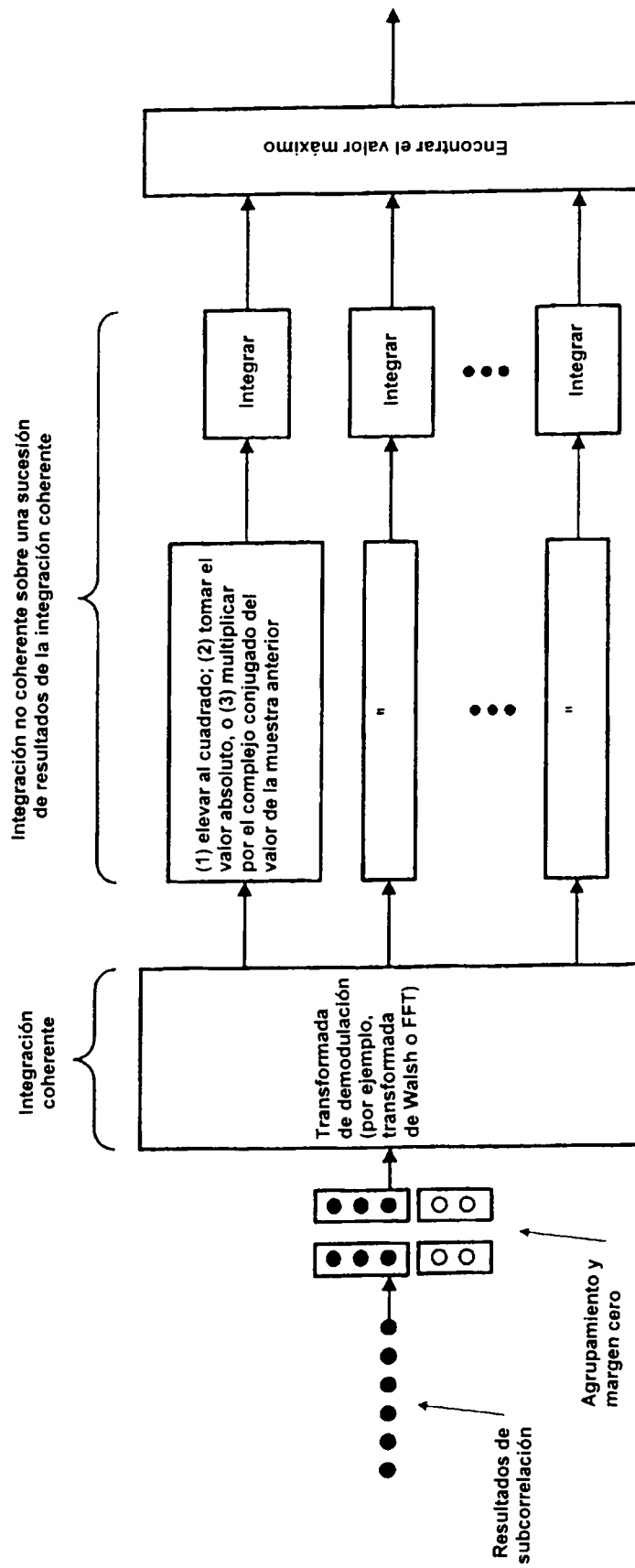


Fig. 4