

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 651 011**

51 Int. Cl.:

B61L 25/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2011 PCT/IB2011/001623**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2012 WO12007822**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2011 E 11770506 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.10.2017 EP 2593346**

54 Título: **Sistema de localización de trenes con verificación de integridad de estimación de localización en tiempo real**

30 Prioridad:

12.07.2010 EP 10425235

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

23.01.2018

73 Titular/es:

**TELESPAZIO S.P.A. (100.0%)
Via Tiburtina 965
00156 Roma, IT**

72 Inventor/es:

**SAITTO, ANTONIO;
BELLOFIORE, PAOLO y
BOLLE, ANDREA**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 651 011 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

Sistema de localización de trenes con verificación de integridad de estimación de localización en tiempo real

5 **Sector técnico de la invención**

La presente invención se refiere, en general, a la localización de trenes y, en particular, a un sistema diseñado para estimar la posición de un tren y para verificar en tiempo real la integridad de la estimación de la posición.

10 **Estado de la técnica**

Como se conoce, en el sector ferroviario se siente marcadamente la necesidad de desarrollar sistemas de posicionamiento que sean cada vez más fiables para controlar los trenes en movimiento con el fin de garantizar la seguridad del tráfico ferroviario. En el sector aeronáutico, dicha necesidad se ha abordado con el uso de sistemas de aumento basados en satélites (SBAS), que permiten aumentar la precisión de la estimación de la posición y, por lo tanto, pueden usarse para soportar la navegación aérea. Además, los SBAS están diseñados para suministrar también una señal de "seguridad de vida" y, por lo tanto, pueden usarse para soportar sistemas de control de tráfico aéreo.

20 Los sistemas conocidos de tipo SBAS son:

- el sistema de superposición de navegación geostacionaria europea (EGNOS), diseñado para proporcionar el servicio de aumento de la precisión de la estimación de la posición en el continente europeo y en el norte de África (en particular en el norte de Marruecos, en Túnez, Argelia y Libia);
- 25 • el sistema de aumento de área amplia (WAAS) desarrollado en los Estados Unidos de América y diseñado para proporcionar el servicio de aumento de la precisión de la estimación de la posición en una vasta área del continente norteamericano; y
- el sistema de aumento de satélites multifuncional (MSAS) desarrollado en Japón y diseñado para proporcionar el servicio de aumento de la precisión de la estimación de la posición en una vasta área del continente asiático.

30 Cuando todos los SBAS mencionados estén completamente operativos, un aeroplano que, por ejemplo, despegue de Nueva York para ir a Londres y a continuación a Nueva Delhi siempre quedará bajo la cobertura de dichos SBAS.

35 En particular, los SBAS garantizan una precisión de alrededor de dos metros en la estimación de la posición. Además, los SBAS también garantizan la confiabilidad de los datos recibidos del sistema de posicionamiento global (GPS) y permiten un cálculo mucho más preciso de la altura, que en el futuro también puede usarse para la navegación aérea.

40 En detalle, los SBAS, con el fin de suministrar información que permita el refinamiento de la estimación de la posición realizada sobre la base de las señales recibidas del GPS y con el fin de proporcionar señales de "seguridad de la vida", explotan:

- una pluralidad de satélites geostacionarios (es decir, unos con posiciones fijas con respecto a la superficie de la Tierra, frente a los satélites GPS, que están en órbita);
- 45 • una pluralidad de estaciones terrestres que están georeferenciadas apropiadamente, están provistas de una referencia de tiempo apropiada (reloj de alta precisión), y están configuradas para determinar los retrasos de las señales transmitidas por los satélites GPS debido a la ionización de la troposfera; y
- una pluralidad de estaciones base de procesamiento de datos.

50 En mayor detalle, los SBAS, con el fin de determinar los errores cometidos en la estimación de la posición basándose en las señales recibidas desde el GPS, funcionan de la manera descrita más adelante en el presente documento. Las estaciones terrestres detectan el error de los datos transmitidos por los satélites GPS (que en su mayoría pueden atribuirse a la ionización de las capas más bajas de la atmósfera). Con este fin, las estaciones terrestres comparan su propia posición calculada sobre la base de las señales recibidas de los satélites GPS con los

55 datos de las órbitas de los satélites GPS y con las respectivas posiciones certificadas. Como se conoce, los GPS reciben el cálculo base de su propia posición con el retraso con el que reciben la señal de los satélites GPS. Ya que cada estación terrestre conoce la posición exacta respectiva y las posiciones de los satélites GPS de los que han recibido las señales de GPS (estando dichas posiciones determinadas no sobre la base de las señales recibidas, sino más bien sobre la base de los datos de las órbitas de los propios satélites), cada estación terrestre es por lo tanto capaz de determinar fácilmente el error provocado por la propagación de las señales de GPS a través de la atmósfera. Cada estación terrestre puede, por lo tanto, generar, sobre la base de los errores calculados, una retícula correspondiente de puntos circundantes y detectar el margen de error para cada uno de estos puntos, ampliando de este modo el área en la que los errores de GPS calculados son válidos. En consecuencia, de esta manera, cada estación terrestre determina un modelo de error respectivo que es válido para un área de competencia respectiva.

65 Los datos generados por las estaciones terrestres se envían a continuación a al menos una estación base de

procesamiento de datos, que genera una retícula muy densa de factores correctivos. Esto corresponde, en la práctica, a un gran número de puntos de posición conocida, para cada uno de los cuales se procesan los datos de corrección para la señal recibida de cada satélite de GPS. Estos datos se actualizan en tiempo real, en la medida en que las condiciones de propagación de la señal de GPS a través de la atmósfera cambian obviamente de acuerdo con las condiciones de la propia atmósfera. Estos factores correctivos se envían a continuación a los satélites SBAS de tal manera que puedan finalmente retransmitirse a tierra usando la misma frecuencia que las señales de GPS (es decir, la frecuencia L1) y a continuación recibirse por los terminales de usuario habilitados. El terminal que recibe las señales SBAS selecciona los datos válidos para los puntos de la retícula más cercanos al mismo, los aplica a los satélites que está recibiendo en ese momento y los usa para el cálculo de su propia posición.

En el sector ferroviario, el uso de los SBAS no es sencillo. De hecho, el servicio de suministro de señales de "seguridad de vida" se ha concebido principalmente para procedimientos aeronáuticos, que son profundamente diferentes de los procedimientos ferroviarios. De hecho, los procedimientos ferroviarios parten de la idea de que cada tren puede gestionarse en cada instante a lo largo de su ruta definiendo en tiempo real, sobre la base del estado del tren y del nivel de conocimiento de la posición de dicho tren, tanto la velocidad de desplazamiento como una posible parada en el caso de que los procedimientos de seguridad lo requieran. La evolución más sofisticada de este proceso de control de desplazamiento de los trenes está representada por el sistema europeo de gestión del tráfico ferroviario (ERTMS) y por el sistema europeo de control de trenes (ETCS).

En particular, el sistema integrado ERTMS-ETCS es un sistema avanzado de gestión, control, protección y señalización del tráfico ferroviario diseñado para sustituir a los múltiples y entre sí incompatibles sistemas de circulación y a la seguridad de los diversos ferrocarriles europeos con el fin de garantizar la interoperabilidad de los trenes en las diversas redes ferroviarias europeas y maximizar los niveles de rendimiento de las redes ferroviarias europeas, tanto las de alta velocidad como las de mayor interés comercial.

El ERTMS-ETCS se compone de diferentes equipos, que tienen el fin de implementar las funciones mencionadas anteriormente y se caracteriza por tres niveles funcionales diferentes, en concreto un primer nivel funcional, un segundo nivel funcional, y un tercer nivel funcional. La definición de cada nivel funcional depende de cómo esté equipada la línea ferroviaria y de cómo se intercambia la información entre el tren y las estaciones de monitorización.

En el ERTMS-ETCS de primer nivel, la autorización para el movimiento y la información correspondiente en la ruta se transmiten al tren y se muestran en la cabina al conductor de una manera discontinua usando unas balizas, llamadas "Eurobalizas", que se distribuyen a lo largo de las vías, proporcionan la autolocalización del tren y transmiten las condiciones de la ruta, todo esto pudiéndose integrar por una serie adicional de puntos de transmisión que suministran de manera continua al tren la información y los datos de control de desplazamiento y posicionamiento correspondientes.

En particular, en la actualidad los trenes están equipados con odómetros de a bordo, que están configurados para medir la velocidad de los trenes en los que están instalados y para estimar la posición de dichos trenes mediante la integración de la velocidad medida. En el ERTMS-ETCS de primer nivel, las Eurobalizas se usan para calibrar los odómetros de a bordo, es decir, para corregir las estimaciones de la posición suministradas por los odómetros de a bordo sobre la base de las posiciones certificadas suministradas por las Eurobalizas.

El ERTMS-ETCS de primer nivel suministra una señalización de a bordo que puede añadirse a los sistemas de señalización tradicionales instalados actualmente en las líneas de ferrocarril, dejando estas últimas en funcionamiento para la circulación de los trenes tradicionales.

Las balizas de transmisión fijas (Eurobalizas) transmiten, a través de una codificación adecuada, la información suministrada por las señales de línea fija y suministran a los aparatos de a bordo del tren las autorizaciones necesarias para el movimiento. Un ordenador de a bordo del tren procesa las velocidades máximas y las curvas de frenado sobre la base de los datos recibidos desde las Eurobalizas. Con el fin de poder obtener desde las balizas de tierra la información necesaria, en particular las autorizaciones necesarias para los siguientes movimientos, es necesario que el tren active dichas balizas pasando sobre las mismas. La información con respecto a la integridad del tren y el posicionamiento respectivo se detecta a través de los circuitos de vía. Mediante la instalación de Eurobalizas adicionales (Euroloops) entre una señal de inicio de tramo y una señal de fin de tramo puede obtenerse una transmisión suficientemente continua de la información. La información puede transmitirse al pasar la locomotora a través de medios inductivos o por radio.

A este respecto, la figura 1 muestra un escenario de ejemplo en el que opera un ERTMS-ETCS de primer nivel.

En particular, la figura 1 ilustra esquemáticamente:

- una sección de la línea ferroviaria (designada como un todo por 11), que comprende dos Eurobalizas (designadas, respectivamente, por 111 y 112), que están conectadas a una unidad de línea (designada por 113), que a su vez está conectada remotamente a un centro de control (designado por 12); y
- un tren (designado como un todo por 13), que se mueve a lo largo de la sección de la línea de ferrocarril 11 y en

el que se instala a bordo un ordenador de a bordo (designado por 131), que está conectado a un receptor (designado por 132) y un panel de control (designado por 133) configurado para suministrar información al conductor (designado por 134) del tren 13.

5 En detalle, el centro de control 12 envía a la unidad de línea 113 información con respecto a la sección de la línea de ferrocarril 11, tal como, por ejemplo, las autorizaciones para el movimiento de los trenes, ralentización de los mismos, y las velocidades máximas permitidas. La unidad de línea 113 suministra a las Eurobalizas 111 y 112 la información recibida del centro de control 12 junto con otra información suministrada por los sistemas de señalización fijos (no mostrados en la figura 1 por simplicidad) instalados a lo largo de la sección de la línea ferroviaria 11. Cada uno de las dos Eurobalizas 111 y 112 están georreferenciadas, es decir, conocen la posición exacta respectiva, y transmiten al paso de los trenes, a través de unos medios inductivos o por radio, la posición respectiva junto con la información recibida de la unidad de línea 113. Cuando el tren 13 pasa por encima de las Eurobalizas 111 y 112, el receptor 132 recibe la información transmitida por dichas Eurobalizas 111 y 112 y la suministra al ordenador de a bordo 131. El ordenador de a bordo 131 muestra en el panel de control 133 la información recibida a través del receptor 132 junto con más información (por ejemplo, el perfil de frenado actual del tren 13) obtenida a través del procesamiento de dicha información recibida y de otra información con respecto al tren 13 (por ejemplo, la velocidad, el peso y la longitud del tren 13).

Además, el ordenador de a bordo 131 está conectado a un odómetro de a bordo (no mostrado en la figura 1 por razones de simplicidad) del tren 13 para recibir las últimas estimaciones de la posición del tren 13. El ordenador de a bordo 131 corrige dichas estimaciones sobre la base de las posiciones recibidas de las Eurobalizas 111 y 112. El ordenador de a bordo 131 muestra en el panel de control 133 las estimaciones de la posición suministradas por el odómetro de a bordo cuando no tiene disponibles las posiciones exactas suministradas por las Eurobalizas 111 y 112, mientras que, cuando recibe las posiciones exactas suministradas por las Eurobalizas 111 y 112, muestra dichas posiciones exactas en el panel de control 133.

Por lo que respecta, en cambio, al ERTMS-ETCS de segundo nivel, este permite la gestión de la distancia entre los trenes a través de comunicaciones de radio entre los trenes y una estación base de control denominada como "centro de bloqueo de radio" (RBC), que, conociendo el estado de la línea y de los otros trenes, envía continuamente a los trenes información con respecto a la línea (tal como, por ejemplo, autorizaciones para el movimiento de los trenes, la ralentización de los mismos, y las velocidades máximas permitidas) usando una conexión basada en el estándar de telefonía móvil internacional para comunicaciones ferroviarias "sistema global para comunicaciones móviles ferroviarias" (GSM-R). Por lo tanto, los trenes pueden determinar su propio perfil de velocidad también sobre la base de sus propias características de peso y frenado. El sistema interviene de manera oportuna en el caso de posibles riesgos para la seguridad.

En particular, el ERTMS-ETCS de segundo nivel es un sistema para la señalización y la protección del tren basándose en una transmisión por radio de datos digitales. En la cabina de conducción de los trenes mostrados en los paneles de control proporcionados a propósito, está la información respecto a la ruta y las autorizaciones para el movimiento de los trenes recibida directamente desde el RBC. Las posiciones de los trenes, la dirección de desplazamiento, junto con toda la otra información necesaria, se transmiten automáticamente por los trenes al RBC a intervalos determinados. Por lo tanto, el movimiento de los trenes se monitoriza continuamente por el RBC.

En el ERTMS-ETCS de segundo nivel, las Eurobalizas asumen solamente la función de los puntos de referencia para el control y la corrección de la posición del tren a lo largo de la línea. El ordenador de a bordo procesa continuamente los datos transferidos y las velocidades máximas permitidas punto por punto.

A este respecto, la figura 2 muestra un escenario de ejemplo en el que opera un ERTMS-ETCS de segundo nivel.

50 En particular, la figura 2 ilustra esquemáticamente:

- una sección de la línea ferroviaria (designada como un todo por 21), que comprende dos Eurobalizas (designadas, respectivamente, por 211 y 212);
- un RBC (designado por 22); y
- 55 • un tren (designado como un todo por 23), que se mueve a lo largo de la sección de la línea de ferrocarril 21 y en el que se instala a bordo un ordenador de a bordo (designado por 231), que está conectado a un receptor (designado por 232), un terminal de GSM-R 233, que intercambia información con el RBC 22, y un panel de control (designado por 234) configurado para suministrar información al conductor (designado por 235) del tren 23.

60 En detalle, el RBC 22 envía al terminal de GSM-R233 información con respecto a la sección de la línea de ferrocarril 21, tal como, por ejemplo, las autorizaciones de movimiento de los trenes, la ralentización de los mismos, y las velocidades máximas permitidas. El terminal de GSM-R 233 suministra la información recibida desde el RBC 22 al ordenador de a bordo 231. El ordenador de a bordo 231 muestra en el panel de control 234 la información recibida del RBC 22 a través del terminal de GSM-R 233 junto con otra información (por ejemplo, el perfil de frenado actual del tren 23) obtenida a través del procesamiento de dicha información recibida del RBC 22 y de otra información con

respecto al tren 23 (por ejemplo, la velocidad, el peso y la longitud del tren 23).

Por otra parte, cada una de las dos Eurobalizas 211 y 212 está georreferenciada, es decir, sabe la posición exacta respectiva, y transmite tras el paso de los trenes, a través de unos medios inductivos o por radio, la posición respectiva. Cuando el tren 23 pasa por encima de las Eurobalizas 211 y 212, el receptor 232 recibe las posiciones transmitidas por dichas Eurobalizas 211 y 212 y las suministra al ordenador de a bordo 231.

Además, el ordenador de a bordo 231 está conectado a un odómetro de a bordo (no mostrado en la figura 2 por razones de simplicidad) del tren 23 con el fin de recibir las últimas estimaciones de la posición del tren 23. El ordenador de a bordo 231 corrige dichas estimaciones sobre la base de las posiciones recibidas de las Eurobalizas 211 y 212. El ordenador de a bordo 231 muestra en el panel de control 234 las estimaciones de la posición suministradas por el odómetro de a bordo cuando no tiene disponibles las posiciones exactas suministradas por las Eurobalizas 211 y 212, mientras que, cuando recibe las posiciones exactas suministradas por las Eurobalizas 211 y 212, muestra dichas posiciones exactas en el panel de control 234.

Por último, la posición del tren 23, la dirección de desplazamiento del tren 23, junto con toda la otra información necesaria, se transmiten automáticamente por el ordenador de a bordo 231 al RBC 22 a través del terminal de GSM-R 233. De esta forma, el RBC 22 monitoriza el movimiento del tren 23.

Por lo que respecta, en cambio, al ERTMS-ETCS de tercer nivel, sigue siendo objeto de estudio, ya que algunos aspectos relativos a la seguridad del tren aún deben estudiarse con mayor profundidad. En términos generales, el ERTMS-ETCS de tercer nivel prevé la eliminación de muchos aparatos terrestres y confiar la localización y el control de la integridad de los trenes a aparatos de transmisión de a bordo diseñados a propósito que dialogan continuamente con un centro de procesamiento y control de los datos en relación con el desplazamiento de los trenes a lo largo del tramo. Además, el ERTMS-ETCS de tercer nivel superará el concepto de sección de bloque fija introduciendo el de sección de bloque dinámica no modelada en un espacio físico preestablecido, pero creada de acuerdo con los requisitos de circulación y a las posibilidades ofrecidas por el sistema de transmisión de radio.

Un sistema conocido con seguridad intrínseca para líneas ferroviarias de baja densidad de tráfico se describe en la solicitud de patente europea EP 1 705 095 A1.

En particular, el documento EP 1 705 095 A1 desvela un sistema de bloques de tráfico de trenes en una vía de una línea de ferrocarril, en la que dicho sistema de bloqueo comprende una unidad de asistencia a la señalización de bloque de a bordo por vehículo, que incluye a su vez:

- un receptor de sistema global de navegación por satélite GNSS que proporciona las mediciones de posición georreferenciada P_{GNSS} y/o la velocidad S_{GNSS} de dicho tren para cada período de tiempo T_{GNSS} ;
- un grupo de sensores y medios de conexión con un odómetro que proporciona medidas de la velocidad angular del eje vertical de la unidad tractora ω_2 de dicho tren y de la velocidad S_{ODOM} de dicho tren;
- un módulo de adquisición de datos y razonabilidad configurado con el fin de recibir dichas mediciones y para comparar las mediciones de velocidad S_{GNSS} y S_{ODOM} y para verificar dichas mediciones con respecto a los criterios de razonabilidad preestablecidos;
- un módulo de calificación de seguridad de la medición de posición P_{GNSS} basada en una base de datos digital de dicha vía, y configurado con el fin de proporcionar una proyección de la posición de seguridad calificada del tren en la vía P_{Proj} ;
- un módulo de navegación y decisión configurado para recibir dicha medición de posición de seguridad calificada P_{Proj} y/o las mediciones de velocidad disponibles S_{GNSS} y/o S_{ODOM} , ambas verificadas por el módulo de adquisición de datos y razonabilidad, y para determinar la localización más probable de dicho tren P_{est} , y su localización en términos del punto kilométrico P_k , y su velocidad estimada S_{est} ;
- un módulo de detección de paso de desvío y de ocupación de vía configurado para recibir dicha posición P_{est} y la velocidad angular ω_z , verificadas por el módulo de adquisición de datos y razonabilidad, y configuradas con el fin de determinar, a partir de una base de datos de vías digital con los puntos de desvío singulares, el estado del tren en términos de ocupación de la vía o estado de la vía TS (es decir, intenta determinar si el tren se encuentra en la zona de desvío y, si lo está, en qué vía se localiza el tren, o determina la no determinación si las condiciones necesarias para determinar la localización del tren con suficiente seguridad no están presentes); y
- un subsistema de comunicación por radio bidireccional para enviar al menos la posición P_k de dicho tren y el estado de ocupación de vía TS a un centro de control de tráfico centralizado CTC.

Por otro lado, el centro control de tráfico centralizado CTC de acuerdo con el documento EP 1 705 095 A1 comprende:

- un medio de comunicación por radio de dos vías para recibir dicha posición P_k de dicho tren y el estado de ocupación de vía TS; y
- un equipo de adquisición, procesamiento y visualización de datos configurado para extraer, entre otras, dicha posición P_k y el estado de ocupación de vía TS, y representar gráficamente el estado de ocupación de las

secciones de vía de línea en una pantalla de visualización de datos.

Además, un equipo de navegación de usuario ferroviario basado en un GNSS conocido (RUNE) se describe por Albanese et al. en el artículo "The Rune project: The Integrity Performances of GNSS Based Based Railway Navigation Equipment", Actas de la ASME/IEEE Joint Rail Conference, ASME, Nueva York, NY, Estados Unidos, vol. 29, 16 de marzo de 2005, páginas 211-218.

En particular, el RUNE basado en GNSS descrito en el artículo mencionado anteriormente explota los datos de navegación procedentes del GPS con diferenciales correcciones EGNOS para determinar la posición y la velocidad del tren e integrar el uso de señales de GNSS con sensores de inercia y odómetros de a bordo en un sistema inteligente de calibración mutua, filtrado de errores y corrección de errores.

Objeto y sumario de la invención

El presente solicitante ha decidido abordar la necesidad de los sistemas de posicionamiento fiables para controlar los trenes en movimiento y, en consecuencia, se ha realizado un estudio en profundidad destinado a desarrollar un sistema innovador para la localización de trenes que sea capaz de satisfacer dicha necesidad del sector ferroviario y de garantizar la seguridad del tráfico ferroviario.

El objetivo de la presente invención es por lo tanto proporcionar un sistema para la localización de trenes que sea capaz de suministrar una localización fiable y de garantizar la seguridad del tráfico ferroviario.

El objetivo mencionado anteriormente se consigue mediante la presente invención en la medida en que se refiere a un terminal de satélite y a un sistema para la localización de trenes de acuerdo con lo que se define en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

Para una mejor comprensión de la presente invención, algunas realizaciones preferidas, que se proporcionan simplemente a modo de explicación y no de ejemplo limitativo, se ilustrarán a continuación haciendo referencia a los dibujos adjuntos (no en escala), en los que:

- la figura 1 es una ilustración esquemática de un escenario de ejemplo en el que opera un ERTMS-ETCS de primer nivel;
- la figura 2 es una ilustración esquemática de un escenario de ejemplo en el que opera un ERTMS-ETCS de segundo nivel;
- la figura 3 es una ilustración esquemática de un sistema de posicionamiento de un tren de acuerdo con una realización preferida de la presente invención;
- la figura 4 es una ilustración esquemática de una arquitectura de un sistema de un tipo de ERTMS-ETCS que integra en su interior un nivel arquitectónico para la localización por satélite de acuerdo con una realización preferida de la presente invención;
- la figura 5 muestra el error típico de un odómetro y el error del odómetro corregido usando la localización por satélite de acuerdo con una realización preferida de la presente invención;
- la figura 6 muestra un sistema de referencia cartesiano proporcionado a modo de ejemplo usado en el cálculo de la posición de un tren de acuerdo con una realización preferida de la presente invención; y
- la figura 7 muestra unas representaciones gráficas que representan errores y niveles de protección que pueden obtenerse al localizar un tren usando la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas de la invención

Se proporciona la siguiente descripción para permitir a un experto en la materia implementar y usar la invención. Diversas modificaciones a las realizaciones presentadas serán inmediatamente evidentes para los expertos en la materia y los principios genéricos desvelados en el presente documento podrían aplicarse a otras realizaciones y aplicaciones, sin por ello alejarse del alcance de la presente invención.

Por lo tanto, la presente invención no ha de entenderse como limitada a solo las realizaciones descritas y mostradas, sino que debe concederse el alcance más amplio de protección de manera consistente con los principios y características presentados en el presente documento y definidos en las reivindicaciones adjuntas.

La presente invención parte de la idea del presente solicitante para explotar uno o más sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), tales como, por ejemplo, el GPS, el sistema europeo de navegación por satélite Galileo, el sistema ruso de navegación por satélite GLONASS, etc., con el fin de localizar un tren. De hecho, el presente solicitante ha tenido la intuición de que el uso de un GNSS para controlar el desplazamiento de trenes permitiría una simplificación considerable de la infraestructura de vías, reduciendo drásticamente el número de balizas y, en consecuencia, los costes de mantenimiento de la infraestructura, que actualmente son específicamente

elevados. Además, el presente solicitante también ha tenido la intuición de que gracias al uso de la información de posicionamiento por satélite sería posible cambiar a un concepto de baliza continua ya que el dato del satélite puede usarse potencialmente en cualquier punto de las redes ferroviarias.

5 Por último, el presente solicitante ha entendido también que, en el momento en que un GNSS se explota para la localización de trenes, es necesario, con el fin de garantizar la seguridad del tráfico ferroviario, tener también disponible una certificación del dato de posición del satélite, es decir, la información sobre la integridad de la estimación de la posición.

10 En consecuencia, un primer aspecto de la presente invención se refiere a un terminal de satélite que está diseñado para instalarse a bordo de un tren y que está configurado para:

- recibir señales de navegación de satélites pertenecientes a uno o más sistemas de navegación por satélite, por ejemplo, pertenecientes al GPS y/o al sistema Galileo y/o al GLONASS;
- 15 • almacenar datos de georreferenciación de una ruta de ferrocarril que debe seguir el tren; y
- determinar, sobre la base de los datos de georreferenciación almacenados y de las señales de navegación recibidas, una posición del tren a lo largo de la ruta de ferrocarril y un nivel de integridad asociado a dicha posición calculada.

20 En particular, el nivel de integridad es indicativo de un error máximo asociado a la posición calculada.

Ya que dicho terminal de satélite determina la posición del tren, también suministra en tiempo real una certificación, es decir, un nivel de integridad, de la misma, es capaz de garantizar la seguridad del tráfico ferroviario. En particular, dicho terminal de satélite, con el fin de certificar la posición del tren calculada sobre la base de las señales de navegación recibidas desde una pluralidad de satélites de GNSS, verifica en tiempo real el funcionamiento correcto de dichos satélites de GNSS.

A continuación, se describirá en detalle el funcionamiento del terminal de satélite de acuerdo con la presente invención.

30 Como es evidente, un tren puede, en general, moverse a lo largo de trayectorias preestablecidas. Esta característica permite la explotación de un número reducido de satélites de GNSS para calcular la posición de un tren. En particular, es posible calcular la posición de un tren usando las señales de navegación recibidas desde solo dos satélites de GNSS. Si hay más de dos satélites de GNSS disponibles, también es posible obtener información sobre la integridad del propio dato de satélite.

Por otra parte, además de la información de integridad, también es posible mejorar la precisión sobre la base del índice de exactitud del dato que puede lograrse representado por la dilución geométrica de precisión (GDOP), que se compone de una contribución vinculada a la incertidumbre posicional PDOP (DOP posicional) y a una contribución vinculada a la incertidumbre de tiempo TDOP (DOP temporal); este índice depende de la distancia angular que separa cada uno de los satélites de GNSS que están a la vista del tren a localizar.

45 Dentro del marco de incertidumbre posicional puede identificarse además la incertidumbre vertical VDOP (Vertical DOP) vinculada a la coordenada vertical y la incertidumbre direccional en el plano de movimiento HDOP (DOP horizontal). Estos conceptos, que son bien conocidos en el campo de la navegación aeronáutica, están sujetos a una profunda reinterpretación en el contexto del análisis del movimiento de un tren. De hecho, en el sector ferroviario, es posible introducir el concepto de sDOP, donde s representa una abscisa curvilínea que identifica la trayectoria impuesta sobre un tren por las vías.

50 En particular, la incertidumbre sDOP correspondiente a la abscisa curvilínea s puede estimarse proyectando los componentes del error posicional conocido en el enfoque clásico en la dirección de la trayectoria seguida por el tren, lo que constituye una integración del dato suministrado por un posible navegador inercial a bordo del tren, por ejemplo, un odómetro. El cálculo en sí del DOP se somete en todo caso a una modificación con respecto a lo que ocurre de acuerdo con el enfoque clásico en el campo de la navegación aeronáutica. De hecho, la presencia de la restricción geométrica impuesta por las vías reduce el número de grados de libertad y, por lo tanto, el número de satélites de GNSS necesarios para evaluar la posición. En particular, si se conoce el cero, es decir, el origen de la abscisa curvilínea s, es decir, si se conoce el punto de partida de un tren, el número de satélites de GNSS necesarios para la evaluación de dicha abscisa curvilínea s y la corrección del desplazamiento de tiempo se reduce a dos. Esto significa que, en presencia de un número de satélites de GNSS, siempre es posible identificar el mejor par de satélites de GNSS, o un conjunto de tres, con el fin de minimizar el sDOP, mejorando por lo tanto la precisión además de verificar la integridad.

En consecuencia, sobre la base de lo que se acaba de describir, el terminal de satélite de acuerdo con la presente invención está convenientemente diseñado para:

- extraer, de las señales de navegación recibidas, los datos de posicionamiento correspondientes a los satélites de

GNSS que han transmitido dichas señales de navegación;

- determinar, sobre la base de los datos de georreferenciación almacenados y de los datos de posicionamiento correspondientes a al menos dos satélites de GNSS, una posición del tren a lo largo de la ruta de ferrocarril; y
- determinar, sobre la base de los datos de georreferenciación almacenados y de los datos de posicionamiento correspondientes a al menos tres satélites de GNSS, un nivel de integridad asociado a dicha posición calculada.

Con el fin de determinar la posición del tren, dicho terminal de satélite usa convenientemente un sistema de referencia cartesiano colocado de tal manera que el eje z coincide con la vertical local a la superficie de la Tierra, los ejes y y x, que son perpendiculares entre sí, se encuentran en un plano tangencial a la superficie de la Tierra, y el eje y está orientado en una dirección concordante con la abscisa curvilínea s.

Con el uso de la coordenada curvilínea s y del sistema de referencia cartesiano mencionado anteriormente e imponiendo que la coordenada del tren con respecto al eje x sea igual a 0 y que la coordenada del tren con respecto al eje z sea igual al radio local medio de la Tierra aumentado por la elevación local media (dichos valores se conocen para el terminal de satélite gracias a los datos de georreferenciación almacenados que se refieren al tramo de ferrocarril cubierto por el tren), es posible reducir a dos el número de incógnitas del sistema de ecuaciones de pseudointervalo; es decir, las incógnitas residuales son el valor de la coordenada curvilínea s y un desplazamiento de tiempo δt .

En particular, dicho desplazamiento de tiempo δt se debe

- principalmente al desplazamiento de tiempo entre el reloj del terminal de satélite y el reloj de los satélites de GNSS a partir del cual dicho terminal de satélite ha recibido las señales de navegación; y
- secundariamente a los desplazamientos de fase introducidos en las señales de navegación debido a diversos factores, por ejemplo, debido al fenómeno de multitraectoria, del paso a través de la atmósfera, en particular, la ionosfera, etc.

Por lo tanto, dos satélites de GNSS son suficientes para resolver el sistema de dos ecuaciones de pseudointervalo en dos incógnitas; concretamente, es posible calcular el valor de la coordenada curvilínea s y el desplazamiento de tiempo δt sobre la base de los datos de posicionamiento correspondientes a solo dos satélites de GNSS, mientras que si los datos de posicionamiento correspondientes a tres o más satélites de GNSS están disponibles, también puede introducirse un criterio para evaluar el error cometido en la determinación de la coordenada curvilínea s.

Por ejemplo, en la hipótesis de que el terminal de satélite recibe las señales de navegación desde cinco satélites de GNSS, dicho terminal de satélite, con el fin de calcular la posición del tren y evaluar el error, pueden realizarse convenientemente las siguientes operaciones:

- para cada posible combinación de tres satélites de GNSS, el terminal de satélite determina, sobre la base de los datos de posicionamiento correspondientes a dichos tres satélites de GNSS, un desplazamiento de tiempo δt respectivo y un valor respectivo de la coordenada y (es decir, de la coordenada curvilínea s) imponiendo, en el sistema respectivo de tres ecuaciones de pseudointervalo, $x = 0$ y z igual al radio local medio de la Tierra aumentado por la elevación local media (es decir, imponiendo z igual a una altura media \bar{h} del tramo de ferrocarril cubierto por el tren, calculándose dicha altura media \bar{h} sobre la base de los datos de georreferenciación del tramo del tren almacenada por el terminal de satélite); y
- para cada posible combinación de tres satélites de GNSS, el terminal de satélite introduce en el sistema respectivo de tres ecuaciones de pseudointervalo los respectivos valores calculados para y y δt liberando x de la restricción de ser igual a cero y por lo tanto determina el error que cada ecuación de pseudointervalo introduce en la coordenada x sobre la base del par de soluciones respectivas encontradas para y y δt .

De esta manera, el terminal de satélite obtiene, para cada conjunto posible de tres satélites de GNSS, un valor respectivo para y, un valor respectivo para δt , y tres errores respectivos para x. Tener cinco satélites de GNSS disponibles del terminal de satélite puede considerar N conjuntos de tres satélites de GNSS, es decir, N combinaciones simples de tres satélites de GNSS, donde

$$N = \frac{5!}{(5-3)!3!} = 10 .$$

A partir del análisis de los errores, el terminal de satélite puede de este modo excluir los dos satélites de GNSS que provocan el mayor error y por lo tanto considerar solo la combinación o las combinaciones formadas por los satélites de GNSS que provocan el menor error. De esta manera, los satélites de GNSS con datos marcadamente erróneos pueden excluirse del cálculo de la posición del tren.

En particular, suponiendo que normalmente pueden identificarse uno o más conjuntos de tres satélites de GNSS,

puede calcularse, para cada conjunto de tres satélites considerados, un error medio respectivo correspondiente a la coordenada x ; específicamente, es posible calcular el valor medio de los tres errores respectivos calculados correspondientes a la coordenada x . Por otra parte, si se supone que el error tiene características isotrópicas, el error medio correspondiente a la coordenada x también es indicativo del error medio correspondiente a la coordenada y , es decir, correspondiente a la coordenada curvilínea s .

Para cada conjunto de tres satélites de GNSS considerados, puede calcularse por lo tanto:

- sobre la base del error medio respectivo que corresponde a x , una varianza σ respectiva (que, en la hipótesis del error isotrópico, es indicativo de una varianza correspondiente del error correspondiente a y), si, por ejemplo, se supone una distribución gaussiana del error; y,
- sobre la base de la varianza σ respectiva, un nivel respectivo de protección L_P , lo que es indicativo del error máximo potencialmente cometido en la estimación de la posición del tren y es, por lo tanto, inversamente proporcional a la precisión de la estimación de la posición del tren; por ejemplo, el nivel de protección L_P puede calcularse convenientemente como un múltiplo de la varianza σ , es decir, $L_P = A \cdot \sigma$, donde $A \geq 2$.

En este punto, el terminal de satélite rechaza, sobre la base de los niveles de protección L_P calculados para diversos conjuntos de tres satélites de GNSS, los satélites de GNSS que, cuando se tienen en cuenta para el cálculo de la posición del tren, determinan los niveles más altos de protección L_P , eligiendo para determinar la posición del tren el conjunto o los conjuntos de tres satélites de GNSS que es/están formados solo por los satélites de GNSS que producen los niveles más bajos de protección L_P .

En particular, el terminal de satélite puede determinar convenientemente la posición del tren sobre la base de la posición calculada $(0, y, \bar{h})$ que está asociada con el nivel mínimo de protección L_P , el nivel de integridad asociado a dicha posición del tren determinándose por lo tanto sobre la base de dicho nivel mínimo de protección L_P .

Como alternativa, el terminal de satélite puede convenientemente:

- calcular, para cada conjunto de tres satélites de GNSS desde los que recibe las señales de navegación, un DOP de índice correspondiente sobre la base de los datos de posicionamiento correspondientes a dichos tres satélites de GNSS y de la posición correspondiente $(0, y, \bar{h})$ calculada sobre la base de los datos de posicionamiento correspondientes a dichos tres satélites de GNSS, y un índice de fiabilidad correspondiente sobre la base de dicho DOP de índice correspondiente y del nivel correspondiente de protección L_P ;
- seleccionar un conjunto de tres satélites de GNSS sobre la base de los índices de fiabilidad calculados; por ejemplo, el terminal de satélite puede seleccionar el conjunto de tres satélites de GNSS que corresponde a un índice de fiabilidad que minimiza una combinación apropiada del DOP de índice y del nivel de protección L_P ; y
- determinar la posición del tren y el nivel de integridad asociado a dicha posición sobre la base, respectivamente, de la posición $(0, y, \bar{h})$ y del nivel de protección L_P calculado para el conjunto de los tres satélites seleccionados.

De esta manera, un terminal de satélite que recibe las señales de navegación desde cinco satélites de GNSS es capaz de identificar hasta dos satélites de GNSS "erróneos"; concretamente, no pueden usarse para el cálculo de la posición del tren. En el caso en el que hay tres satélites de GNSS "erróneos", el terminal de satélite se las arregla para elegir la mejor configuración, pero el error no puede eliminarse por completo, y el valor del nivel de protección aumenta. En el caso donde los satélites de GNSS "erróneos" son más de tres, el terminal de satélite ya no logra determinar la integridad, pero suministra un mayor nivel de protección.

En este sentido, se proporcionan a continuación en el presente documento cinco ejemplos de análisis de la integridad del dato de satélite en el caso donde el terminal de satélite recibe señales de navegación de cinco satélites de GNSS, cada ejemplo se resume en una tabla respectiva.

En particular, se proporcionan a continuación en el presente documento:

- Tabla 1, que resume un primer escenario de ejemplo en el que el terminal de satélite recibe las señales de navegación desde cinco satélites de GNSS ninguno de los cuales provoca errores (los satélites que no provocan errores se asocian en las cinco tablas siguientes con el símbolo "●"), es decir, en el que los cinco satélites de GNSS pueden usarse por el terminal de satélite para determinar la posición del tren con un nivel mínimo de protección, es decir, cometiendo un error mínimo (estando dicho nivel mínimo de protección designado en las siguientes tablas por 1);
- Tabla 2, que resume un segundo escenario de ejemplo en el que el terminal de satélite recibe las señales de navegación desde cinco satélites de GNSS de los que solo uno provoca errores (estando los satélites que provocan errores asociados en las siguientes tablas con el símbolo "X"), es decir, en el que pueden usarse cuatro satélites de GNSS por el terminal de satélite para determinar la posición del tren con el nivel de protección 1;
- Tabla 3, que resume un tercer escenario de ejemplo en el que el terminal de satélite recibe las señales de navegación desde cinco satélites de GNSS de los que dos provocan errores, es decir, en el que pueden usarse solo tres satélites de GNSS por el terminal de satélite para determinar la posición del tren con el nivel de protección 1;
- Tabla 4, que resume un cuarto escenario de ejemplo en el que el terminal de satélite recibe las señales de

navegación desde cinco satélites de GNSS de los que tres provocan errores, es decir, en la que el terminal de satélite se las arregla para determinar la posición del tren solo con un nivel medio de protección, es decir, con un error medio (estando dicho nivel medio de protección designado en las siguientes tablas por 2); y

- Tabla 5, que resume un quinto escenario de ejemplo en el que el terminal de satélite recibe las señales de navegación desde cinco satélites de GNSS de los que cuatro provocan errores, es decir, en la que el terminal de satélite se las arregla para determinar la posición del tren solo con un alto nivel de protección, es decir, con un error muy alto (estando dicho alto nivel de protección designado en las siguientes tablas por 3).

TABLA 1 (los 5 satélites pueden usarse)

| | | Combinaciones de tres satélites | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
| Satélites | S ₁ | • | • | • | • | • | • | | | | |
| | S ₂ | • | • | • | | | | • | • | • | |
| | S ₃ | • | | | • | | • | • | • | | • |
| | S ₄ | | • | | • | • | | • | | • | • |
| | S ₅ | | | • | | • | • | | • | • | • |
| Nivel de protección | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

10

TABLA 2 (5 satélites, 4 pueden usarse)

| | | Combinaciones de tres satélites | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
| Satélites | S ₁ | • | • | • | • | • | • | | | | |
| | S ₂ | X | X | X | | | | X | X | X | |
| | S ₃ | • | | | • | | • | • | • | | • |
| | S ₄ | | • | | • | • | | • | | • | • |
| | S ₅ | | | • | | • | • | | • | • | • |
| Nivel de protección | | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |

TABLA 3 (5 satélites, 3 pueden usarse)

| | | Combinaciones de tres satélites | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
| Satélites | S ₁ | • | • | • | • | • | • | | | | |
| | S ₂ | X | X | X | | | | X | X | X | |
| | S ₃ | • | | | • | | • | • | • | | • |
| | S ₄ | | X | | X | X | | X | | X | X |
| | S ₅ | | | • | | • | • | | • | • | • |
| Nivel de protección | | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 |

15

TABLA 4 (5 satélites, 2 pueden usarse)

| | | Combinaciones de tres satélites | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
| Satélites | S ₁ | • | • | • | • | • | • | | | | |
| | S ₂ | X | X | X | | | | X | X | X | |
| | S ₃ | X | | | X | | X | X | X | | X |
| | S ₄ | | X | | X | X | | X | | X | X |
| | S ₅ | | | • | | • | • | | • | • | • |
| Nivel de protección | | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |

TABLA 5 (5 satélites, solo uno puede usarse)

| | | Combinaciones de tres satélites | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
| Satélites | S ₁ | X | X | X | X | X | X | | | | |
| | S ₂ | X | X | X | | | | X | X | X | |
| | S ₃ | X | | | X | | X | X | X | | X |
| | S ₄ | | X | | X | X | | X | | X | X |
| | S ₅ | | | • | | • | • | | • | • | • |
| Nivel de protección | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

5 Los ejemplos que se acaban de describir consideran el caso donde el terminal de satélite recibe las señales de navegación desde cinco satélites de GNSS, lo que representa el caso más frecuente para un receptor de GNSS. En cualquier caso, la metodología de cálculo de la posición de un tren que se acaba de describir puede aplicarse, por supuesto, también para el caso donde el terminal de satélite recibe las señales de navegación de cuatro satélites de GNSS. En este caso, los conjuntos de tres satélites de GNSS que pueden considerarse son cuatro y, por lo tanto, es posible identificar un solo satélite con error. Además, la metodología de cálculo de la posición de un tren que se
10 acaba de describir puede aplicarse, por supuesto, también a los casos donde el terminal de satélite recibe las señales de navegación de más de cinco satélites de GNSS. En estos casos, aumenta el número de satélites con error que pueden identificarse.

15 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, el terminal de satélite descrito anteriormente puede explotarse ventajosamente con un ERTMS-ETCS de primer nivel, de segundo nivel, y de tercer nivel.

En particular, la posición del tren suministrada por el terminal de satélite, junto con la información de integridad en relación con dicha posición, puede explotarse ventajosamente para corregir la estimación de la posición suministrada por el odómetro de a bordo de un tren. De esta manera, es posible evitar tener que usar una
20 distribución densa de Eurobalizas (una por kilómetro o menos) y limitar el uso de las mismas para unos muy pocos puntos. De hecho, el dato de posicionamiento integral suministrado por el terminal de satélite se sustituye y expande el concepto de baliza. De hecho, el uso del dato de posicionamiento de satélite evita que el error de integración del odómetro, que se basa en el dato de la velocidad angular, y por lo tanto el dato de posición de satélite, si se asocia a un punto notable, constituye una baliza virtual. Además, el dato de posicionamiento de satélite es mucho más
25 representativo: asociado a una línea de ferrocarril completamente georreferenciada, puede usarse en cualquier instante a lo largo de la ruta, revolucionando por lo tanto la propia idea de los puntos notables fijos.

Una ventaja técnica asociada al uso del terminal de satélite descrito anteriormente está representada por el hecho de que este último permite el uso de odómetros de a bordo que son menos precisos y por lo tanto menos costosos (tanto como producto como desde el punto de vista de la vida útil de servicio).
30

La figura 3 es una ilustración esquemática de un sistema para localizar trenes de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

En particular, la figura 3 muestra, a modo de ejemplo no limitativo, la integración de dicho sistema de
35 posicionamiento en un ERTMS-ETCS de segundo nivel.

En detalle, la figura 3 muestra:

- una sección de la línea de ferrocarril (designada como un todo por 31), que comprende una Eurobaliza (designada por 311);
- un RBC (designado por 32); y
- un tren (designado como un todo por 33), que se mueve a lo largo de la sección de la línea de ferrocarril 31 y en el que se instala a bordo un ordenador de a bordo (designado por 331), que está conectado a un receptor (designado por 332), a un terminal de GSM-R 333, que intercambia información con el RBC 32, a un terminal de
40 GNSS 334, que almacena la ruta georreferenciada que el tren 33 está siguiendo y calcula la posición del tren 33 de la manera descrita anteriormente, y un panel de control (designado por 335) configurado para suministrar información al conductor (designado por 336) del tren 33.

En detalle, el RBC 32 envía al terminal de GSM-R 333 la información con respecto a la sección de la línea de ferrocarril 31, tal como, por ejemplo, las autorizaciones para el movimiento de los trenes, la ralentización de los mismos, y las velocidades máximas permitidas. El terminal de GSM-R 333 suministra la información recibida desde el RBC 32 al ordenador de a bordo 331. El ordenador de a bordo 331 visualiza en el panel de control 335 la
50

información recibida desde el RBC 32 a través del terminal de GSM-R 333 junto con otra información (por ejemplo, el perfil de frenado actual del tren 33) obtenida sobre la base del procesamiento de dicha información recibida desde el RBC 32 y de otra información relacionada con el tren 33 (por ejemplo, la velocidad, el peso, y la longitud del tren 33).

5 Por otra parte, la Eurobaliza 311 está georreferenciada, es decir, conoce su propia posición exacta, y transmite tras el paso de los trenes, a través de medios inductivos o por radio, dicha posición exacta. Cuando el tren 33 pasa sobre la Eurobaliza 311, el receptor 332 recibe la posición transmitida por dicha Eurobaliza 311 y la suministra al ordenador de a bordo 331.

10 Además, el ordenador de a bordo 331 está conectado a un odómetro de a bordo (no mostrado en la figura 3 por razones de simplicidad) del tren 33 para recibir desde este último las estimaciones de la posición del tren 33. El ordenador de a bordo 331 está configurado para:

- 15
- si se recibe desde el receptor 332 la posición exacta suministrada por la Eurobaliza 311, determinar, como posición del tren 33, la posición exacta suministrada por la Eurobaliza 311 y corregir la estimación de la posición suministrada por el odómetro de a bordo sobre la base de dicha posición exacta;
 - si no se recibe desde el receptor 332 la posición exacta suministrada por la Eurobaliza 311 y el terminal de GNSS 334 suministra una posición asociada a un nivel de integridad que cumple las condiciones específicas de seguridad ferroviaria, determinar como la posición del tren 33, la posición suministrada por el terminal de GNSS 334 y corregir la estimación de la posición suministrada por el odómetro de a bordo sobre la base de dicha posición suministrada por el terminal de GNSS 334;
 - si no se recibe desde el receptor 332 la posición exacta suministrada por la Eurobaliza 311 y el terminal de GNSS 334 suministra una posición asociada a un nivel de integridad que no cumple con las condiciones específicas de seguridad ferroviaria, determinar como la posición del tren 33, la estimación de la posición suministrada por el odómetro de a bordo;
 - si no se recibe desde el receptor 332 la posición exacta suministrada por la Eurobaliza 311 y el terminal de GNSS 334 no suministra ninguna posición (por ejemplo, debido a que el tren 33 está localizado en un área no cubierta por cualquier GNSS), determinar como la posición del tren 33, la estimación de la posición suministrada por el odómetro de a bordo.
- 20
- 25
- 30

Las condiciones específicas de seguridad ferroviaria pueden almacenarse convenientemente por el ordenador de a bordo 331 y/o determinarse dinámicamente por el ordenador de a bordo 331 y/o suministrarse dinámicamente al ordenador de a bordo 331 por el RBC 32 a través del terminal de GSM-R 333. Por ejemplo, el ordenador de a bordo 331 puede determinar las condiciones específicas de seguridad ferroviaria sobre la base de la información con respecto a la sección de la línea de ferrocarril 31 recibida desde el RBC 32 y de los datos con respecto al tren 33, tal como, por ejemplo, la velocidad, el peso, y la longitud del tren 33. En particular, el ordenador de a bordo 331 puede evaluar convenientemente si el nivel de integridad actual asociado a la posición suministrada por el terminal de GNSS 334 cumple las condiciones de seguridad ferroviaria para la sección de la línea de ferrocarril 31 con el fin de garantizar la seguridad del transporte ferroviario en dicha sección de la línea de ferrocarril 31.

35

40

Por último, la posición del tren 33, la dirección de desplazamiento del tren 33, junto con toda la otra información necesaria, se transmiten automáticamente por el ordenador de a bordo 331 al RBC 32 a través del terminal de GSM-R 333. De esta manera, el RBC 32 monitoriza el movimiento del tren 33.

45

Sobre la base de lo que se ha descrito anteriormente, es evidente que el terminal de satélite de acuerdo con la presente invención es específicamente útil en la perspectiva del ERTMS-ETCS en la medida en que:

- 50
- garantiza un procedimiento de certificación del dato de posición en tiempo real; es decir, es capaz de suministrar en tiempo real un nivel de integridad de la posición calculada;
 - permite su integración en el ERTMS-ETCS de primer nivel y de segundo nivel con modificaciones mínimas de la configuración actual de dicho sistema; en particular, no requiere ninguna modificación sustancial para el centro de bloque de radio y requiere solo unas pocas modificaciones en el sistema de a bordo de los trenes;
 - es capaz de funcionar como una baliza virtual, permitiendo de este modo la evolución del uso de balizas desde el concepto de uso discreto al concepto especialmente innovador del uso sin ninguna discontinuidad, lo que permite la corrección del error del odómetro de a bordo en cualquier punto del tramo del ferrocarril y por lo tanto permite la introducción del ERTMS-ETCS de tercer nivel, es decir, del bloque móvil.
- 55

En resumen, la localización por satélite de acuerdo con la presente invención puede ser convenientemente integrada en la arquitectura ERTMS-ETCS como un nivel de superposición, como se muestra esquemáticamente en la figura 4.

60

En particular, la figura 4 muestra un diagrama de bloques, que ilustra una arquitectura de un sistema de un tipo ERTMS-ETCS, que integra la localización por satélite de acuerdo con la presente invención.

65

En detalle, la arquitectura mostrada en la figura 4 comprende:

- un nivel de arquitectura de un tipo de ERTMS-ETCS 41; y
- un nivel de arquitectura de localización de GNSS 42 de acuerdo con la presente invención, que se superpone parcialmente en el nivel de arquitectura de un tipo de ERTMS-ETCS 41.

Como se ha descrito anteriormente, el sistema de GNSS para la localización de trenes de acuerdo con la presente invención funciona de la siguiente manera:

- si una baliza está presente, la posición del tren es la suministrada por la baliza, y el error del odómetro de a bordo se pone a cero usando la posición suministrada por la baliza;
- si la baliza no está presente y el nivel de integridad suministrado por la localización de GNSS cumple las condiciones específicas de seguridad ferroviaria, la posición del tren es la obtenida a través de la localización de GNSS, y el error del odómetro de a bordo se corrige usando la posición obtenida a través de la localización de GNSS;
- si la baliza no está presente y el nivel de integridad suministrado por la localización de GNSS no cumple con las condiciones específicas de la seguridad ferroviaria, la posición del tren es la suministrada por el odómetro de a bordo; y
- si la baliza no está presente y la localización del GNSS no suministra ninguna posición, la posición del tren es la suministrada por el odómetro de a bordo.

Suponiendo que las balizas pueden colocarse con precisión extrema (del orden del metro) a través de georreferenciación (por ejemplo, usando receptores de GPS) teniendo estadísticas que son bastante largas en el tiempo, los errores en el caso del ERTMS- ETCS dependen principalmente de la exactitud del odómetro de a bordo, el tipo de ruta que el tren ha cubierto (deslizamiento sobre el carril, frenado, etc.), y la distancia entre dos balizas consecutivas.

La figura 5 es una representación gráfica que representa el error del odómetro y el error del odómetro corregido sobre la base de la posición obtenida por medio de la localización de GNSS como una función de la posición del tren (suponiendo una velocidad del tren de 300 km/h y errores de deslizamiento lineales).

Como se muestra en la figura 5, el error máximo debido al odómetro después de 10 km es 300 m, mientras que el error del odómetro corregido sobre la base de la posición obtenida a través de la localización de GNSS es siempre del orden de unos pocos metros.

El error de la localización de GNSS depende básicamente de la medición de la posición y es del orden de algunos metros, independientemente de las condiciones de velocidad del tren ya que la posición se obtiene directamente de la triangulación por satélite y no de las integraciones de la velocidad (como en el caso del odómetro). Además, es posible disminuir el error ionosférico usando señales de GNSS en dos frecuencias.

Una ventaja importante de la presente invención se obtiene de la posibilidad de obtener la información de error a partir de los datos de cálculo de la posición, explotando la restricción para el tren de tener que seguir la vía georreferenciada. De hecho, de esta manera, como se ha descrito anteriormente, las incógnitas para el tren se convierten en dos: la coordenada curvilínea y el desplazamiento de tiempo.

A este respecto, en la figura 6 se muestra un sistema de referencia cartesiano $z_s x_s y_s$ proporcionado a modo de ejemplo usado en el cálculo de la posición de un tren de acuerdo con la presente invención.

En particular, como se muestra en la figura 6, el eje y_s representa la abscisa curvilínea s a largo de la que se mueve el tren, el eje x_s representa la dirección normal a la abscisa curvilínea s , y z_s representa la vertical local a la superficie de la Tierra. Además, en la figura 6 la ruta seguida por el tren se designa por 61, que, como se ha descrito anteriormente, está colocada de tal manera que para cada punto a lo largo de dicha ruta 61 $x_s = 0$ y $z_s = \bar{h}$, donde \bar{h} es la altura media de dicha ruta 61 calculada sobre la base de los datos de georreferenciación de dicha ruta 61. Suponiendo que x_s e y_s son isotrópicos en cuanto a la distribución de los errores (dado que ambas coordenadas x_s e y_s están en un plano tangencial a la superficie de la Tierra), como se ha descrito anteriormente puede calcularse el valor de y_s (y el desplazamiento de tiempo) resolviendo el sistema de las ecuaciones de pseudointervalo y a continuación volver a calcular los errores en x_s con respecto a la posición del nominal "0".

La evaluación de estos errores para cada satélite permite el cálculo del nivel de protección L_P de una manera tal que dicho nivel de protección L_P es siempre mayor que el error en y_s . Además, el algoritmo desarrollado permite obtener información importante sobre los diversos componentes del error a obtener, no menos importante de los mismos es la contribución de la ionosfera.

La figura 7 muestra una representación gráfica típica del error y del nivel de protección L_P en un recorrido de aproximadamente 60 km.

Como se muestra en la figura 7, el error se encuentra siempre dentro del nivel de protección L_P que se calcula en tiempo real para el mejor conjunto de tres satélites de GNSS disponibles. El sistema de GNSS para la localización de trenes es capaz de identificar el mal funcionamiento de los satélites de GNSS y eliminar del cálculo de la posición del tren los satélites de GNSS que presentan un mal funcionamiento. La ruta del tren puede ser tanto rectilínea como curvilínea y puede aproximarse con un alto grado de precisión. A partir de la figura 7 puede observarse que, en comparación con el error de 300 m sobre 10 km, debido al odómetro de a bordo (error mostrado en la figura 5), la localización de GNSS introduce errores de menos de 30 m sobre una ruta que tiene en la práctica cualquier longitud. Esto implica que, tener errores de menos de 30 m, es razonable para proporcionar balizas, en lugar de una cada 2-3 km, una cada 50-60 km sin alterar la precisión de la medición y la seguridad del transporte ferroviario. Desde este punto de vista, debería observarse que una baliza puede establecerse en lugares que sean fácilmente accesibles para su mantenimiento y fácilmente controlables también desde el punto de vista de la seguridad de los sistemas.

Otra observación importante con respecto a la disponibilidad continua del dato de posición, que hace posible encarar, a costes contenidos, la introducción del tercer nivel del ERTMS-ETCS, es decir, el bloque móvil.

Está claro que, en el caso donde el dato de satélite no estaba disponible o el error indicado por el nivel de integridad era demasiado alto, por ejemplo, más de 50 m (una situación que podría durar unos pocos segundos), el sistema es capaz de indicarlo (ausencia de nivel de protección o error más allá del límite) y el odómetro sería para ese período, la única fuente de información que puede usarse (procedimiento de fusión de los datos basados en el mecanismo de exclusividad) para evitar múltiples fuentes de información.

A partir de la descripción anterior, pueden entenderse fácilmente las ventajas de la presente invención.

En particular, debería enfatizarse una vez más que la presente invención puede integrarse ventajosamente en los sistemas actuales y en los sistemas futuros (es decir, los que ya están en la etapa de diseño) para la gestión, control, protección y señalización del tráfico ferroviario; en particular, puede explotarse ventajosamente con los tres niveles del ERTMS-ETCS. De hecho, la presente invención:

- suministra un dato de posición que garantiza un servicio eficaz de posicionamiento de los trenes;
- garantiza una precisión del dato de posición que permite la mejora de los procedimientos de monitorización y control del desplazamiento de los trenes;
- suministra en tiempo real la integridad del dato de posición, garantizando de este modo la seguridad (en el sentido de "seguridad de vida") del transporte ferroviario en tiempo real; y
- suministra el dato de posición de una manera que es interoperable con las Eurobalizas.

Desde un punto de vista de la lógica, el dato de posicionamiento de GNSS asociado a un punto georreferenciado a lo largo de la vía (punto notable) constituye una baliza virtual. Esto implica que el número de balizas físicas puede reducirse para la ventaja de una gestión y un mantenimiento del sistema más simple y más económico.

La verdadera ventaja del dato de satélite se encuentra, sin embargo, en la posibilidad de no atarse a un posicionamiento rígido, aunque virtual, de los puntos de referencia, proporcionando lo que puede llamarse un sistema de baliza continua. El concepto de baliza continua es la llave en mano hacia el tercer nivel del ERTMS-ETCS, que no está atado a la sección fija de la vía. El elemento clave para la adopción del dato de satélite en la arquitectura de ERTMS-ETCS es, por lo tanto, el de la integridad del propio dato en tiempo real.

Además, la presente invención cae ventajosamente dentro del escenario del desarrollo de los ferrocarriles italianos y europeos en los que se ha formulado la hipótesis para el futuro de usar el sistema de navegación por satélite europeo Galileo, que, como se sabe, suministrará la información de certificación de funcionamiento de los satélites y del error introducido en la posición. Pero, ya que la presente invención puede explotarse ventajosamente con cualquier GNSS, hace que sea posible ampliar el escenario de uso del dato de satélite en el posicionamiento de los trenes. Una razón importante para usar un sistema basado no solo en el sistema Galileo se encuentra en el factor de "control". De hecho, sería poco probable que Rusia, China o India usen un sistema no propietario (es decir, Galileo) para una infraestructura estratégica y crítica, tal como el sector ferroviario. En esta perspectiva, en el caso de los ferrocarriles, podría resultar más válido adoptar una estrategia de uso de una serie de constelaciones (tanto para las técnicas de respaldo como para las técnicas de comparación), de las que por lo general solo se controla una (en Europa Galileo, en Rusia GLONASS, etc.). Por lo tanto, ya que la presente invención puede usarse con uno o más GNSS, esto permitiría el desarrollo de un sistema para localizar trenes que presenta marcadas características de interoperabilidad entre los ferrocarriles de diferentes países.

Por último, se enfatiza una vez más en que la presente invención hace que sea posible conocer en cada instante no solo la posición de un tren, sino también el error máximo que se ha cometido en esta medición y la verificación del correcto funcionamiento de los satélites.

Por último, es evidente que pueden hacerse diversas modificaciones a la presente invención, todas las cuales caen dentro de la esfera de protección de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un terminal de satélite (334) diseñado para instalarse a bordo de un tren (33) y configurado para:

- 5
- almacenar datos de georreferenciación de una ruta de ferrocarril del tren (33);
 - recibir señales de navegación de los satélites pertenecientes a uno o más sistemas de navegación por satélite;
 - extraer a partir de las señales de navegación recibidas los datos de posicionamiento correspondientes a los satélites que han transmitido dichas señales de navegación; y
 - determinar, sobre la base de los datos de georreferenciación almacenados y de las señales de navegación
- 10 recibidas, una posición del tren (33) a lo largo de la ruta de ferrocarril y un nivel de integridad asociado con dicha posición determinada;

caracterizado por estar configurado además para:

- 15
- si dicho terminal de satélite (334) recibe señales de navegación de solo dos satélites, determinar la posición del tren (33) a lo largo de la ruta de ferrocarril calculando un límite de posición del tren para la ruta de ferrocarril sobre la base de los datos de georreferenciación almacenados y de los datos de posicionamiento correspondientes a dichos dos satélites; y
 - si dicho terminal de satélite (334) recibe señales de navegación de tres o más satélites,
- 20
- calcular, para cada conjunto de tres satélites del que se reciben las señales de navegación, un límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril sobre la base de los datos de georreferenciación almacenados y de los datos de posicionamiento correspondientes a dichos tres satélites, y un nivel de protección correspondiente sobre la base de dicho límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril y de los datos de posicionamiento correspondientes a dichos tres satélites, en el que dicho nivel de protección correspondiente es indicativo de un error máximo asociado con dicho límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril,
 - seleccionar un conjunto de tres satélites de acuerdo con un criterio de selección basado al menos en los niveles calculados de protección, y
 - determinar la posición del tren (33) a lo largo de la ruta de ferrocarril y el nivel de integridad asociado con dicha posición sobre la base, respectivamente, del límite de posición del tren para la ruta de ferrocarril y del nivel de protección calculado para el conjunto seleccionado de tres satélites.
- 25
- 30

2. El terminal de satélite de la reivindicación 1, configurado para, si dicho terminal de satélite (334) recibe señales de navegación de solamente dos satélites, determinar la posición del tren (33) a lo largo de la ruta de ferrocarril:

- 35
- calculando una primera coordenada de un límite de posición del tren para la ruta de ferrocarril sobre la base de los datos de georreferenciación almacenados, en el que dicha primera coordenada indica una altura media de la ruta de ferrocarril;
 - imponiendo que una segunda coordenada de dicho límite de posición del tren para la ruta de ferrocarril sea igual a cero; y
 - calculando una tercera coordenada de dicho límite de posición del tren para la ruta de ferrocarril sobre la base de dichas coordenadas primera y segunda de dicho límite de posición del tren para la ruta de ferrocarril y de los datos de posicionamiento correspondientes a dichos dos satélites, en el que dicha tercera coordenada
- 40
- 45
- corresponde a una abscisa curvilínea asociada con la ruta de ferrocarril;

en el que el terminal de satélite (334) está configurado para, si recibe señales de navegación de tres o más satélites, calcular para cada conjunto de tres satélites de los que se reciben las señales de navegación:

- 50
- un límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril
- 55
- calculando una primera coordenada de dicho límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril sobre la base de los datos de georreferenciación almacenados, en el que dicha primera coordenada indica una altura media de la ruta de ferrocarril,
 - imponiendo que una segunda coordenada de dicho límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril sea igual a cero, y
 - calculando una tercera coordenada de dicho límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril y un desplazamiento de tiempo correspondiente asociado con las señales de navegación recibidas de dichos tres satélites sobre la base de dichas coordenadas primera y segunda de dicho límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril y de los datos de posicionamiento correspondientes a dichos tres satélites, en el que dicha tercera coordenada corresponde a una abscisa curvilínea asociada con la ruta de ferrocarril; y
- 60
- 65
- una media de error correspondiente asociada con la segunda coordenada de dicho límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril sobre la base de las coordenadas primera y tercera de dicho límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril, del desplazamiento de tiempo correspondiente

calculado, y de los datos de posicionamiento correspondientes para dichos tres satélites; y

- un nivel de protección correspondiente sobre la base de la media de error correspondiente de tal manera que el error máximo asociado con dicho límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril es menor que dicho nivel de protección correspondiente.

5

3. El terminal de satélite de la reivindicación 2, en el que:

- la primera coordenada de cada límite de posición del tren calculada para la ruta de ferrocarril corresponde a un primer eje vertical de referencia con respecto a la superficie de la Tierra; y
- las coordenadas segunda y tercera de cada límite de posición del tren calculadas para la ruta de ferrocarril corresponden, respectivamente, a un segundo eje de referencia y a un tercer eje de referencia que son perpendiculares entre sí y se encuentran en un plano tangencial a la superficie de la Tierra.

10

4. El terminal de satélite de la reivindicación 2 o 3, configurado además para calcular para cada conjunto de tres satélites de los que se reciben señales navegación:

15

- una varianza correspondiente asociada con el error medio correspondiente sobre la base de una distribución de probabilidad predefinida; y
- el nivel de protección correspondiente sobre la base de un múltiplo de la varianza correspondiente.

20

5. El terminal de satélite de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, configurado para seleccionar el conjunto de tres satélites para los que se ha calculado el nivel de protección mínimo.

6. El terminal de satélite de acuerdo con cualquier reivindicación 1-4, configurado para:

25

- calcular, para cada conjunto de tres satélites de los que se reciben señales navegación, un índice correspondiente de dilución de la precisión sobre la base del límite de posición del tren correspondiente para la ruta de ferrocarril y de los datos de posicionamiento correspondientes a dichos tres satélites, y un índice de fiabilidad correspondiente sobre la base de dicho índice de dilución de la precisión correspondiente y del nivel de protección correspondiente; y
- seleccionar el conjunto de tres satélites sobre la base de los índices de fiabilidad calculados.

30

7. Un sistema para localizar trenes diseñado para instalarse a bordo de un tren (33), que comprende el terminal de satélite (334) reivindicado en cualquier reivindicación anterior, y configurado para:

35

- adquirir a partir de un odómetro instalado a bordo del tren (33) una estimación actual de la posición suministrada por dicho odómetro;
- recibir las posiciones exactas del tren (33) a partir de un sistema de señalización (311) instalado a lo largo de la ruta de ferrocarril;
- si recibe del sistema de señalización (311) una posición exacta del tren (33), suministrar como la posición actual del tren (33) dicha posición exacta y corregir la estimación actual de la posición suministrada por el odómetro sobre la base de dicha posición exacta;
- si no recibe del sistema de señalización (311) ninguna posición exacta del tren (33) y el terminal de satélite (334) determina una posición actual del tren (33) a lo largo de la ruta de ferrocarril que está asociada con un nivel de integridad que satisface las condiciones predeterminadas de seguridad ferroviaria, suministrar como la posición actual del tren (33) la posición actual determinada por el terminal de satélite (334) y corregir la estimación actual de la posición suministrada por el odómetro sobre la base de dicha posición actual determinada por el terminal de satélite (334);
- si no recibe del sistema de señalización (311) ninguna posición exacta del tren (33) y el terminal de satélite (334) determina una posición actual del tren (33) a lo largo de la ruta de ferrocarril que está asociada con un nivel de integridad que no satisface las condiciones predeterminadas de seguridad ferroviaria, suministrar como la posición actual del tren (33) la estimación actual de la posición suministrada por el odómetro; y
- si no recibe del sistema de señalización (311) ninguna posición exacta del tren (33) y el terminal de satélite (334) no determina ninguna posición actual del tren (33) a lo largo de la ruta de ferrocarril, suministrar como la posición actual del tren (33) la estimación actual de la posición suministrada por el odómetro.

45

50

55

8. Un producto de software que comprende unas partes de código de software que pueden:

- cargarse en una memoria de un receptor de satélite diseñado para instalarse a bordo de un tren (33) y para recibir señales de navegación de los satélites pertenecientes a uno o más sistemas de navegación por satélite;
- ejecutarse por dicho receptor de satélite; y
- hacer, cuando se ejecutan, que dicho receptor de satélite llegue a configurarse como el terminal de satélite (334) reivindicado en cualquier reivindicación 1-6.

60

9. Un producto de software que comprende unas partes de código de software que pueden:

65

ES 2 651 011 T3

- cargarse en una memoria de un sistema de posicionamiento, sistema de posicionamiento que está diseñado para instalarse a bordo de un tren (33), que comprende el terminal de satélite (334) de acuerdo con cualquier reivindicación 1-6, y que está configurado para
- 5
- adquirir de un odómetro instalado a bordo del tren (33) una estimación actual de la posición suministrada por dicho odómetro, y
 - recibir las posiciones exactas del tren (33) de un sistema de señalización (311) instalado a lo largo de la ruta de ferrocarril;
- 10
- ejecutarse por dicho sistema de posicionamiento; y
 - hacer, cuando se ejecutan, que dicho sistema de posicionamiento llegue a configurarse como el sistema para localizar trenes de acuerdo con la reivindicación 7.

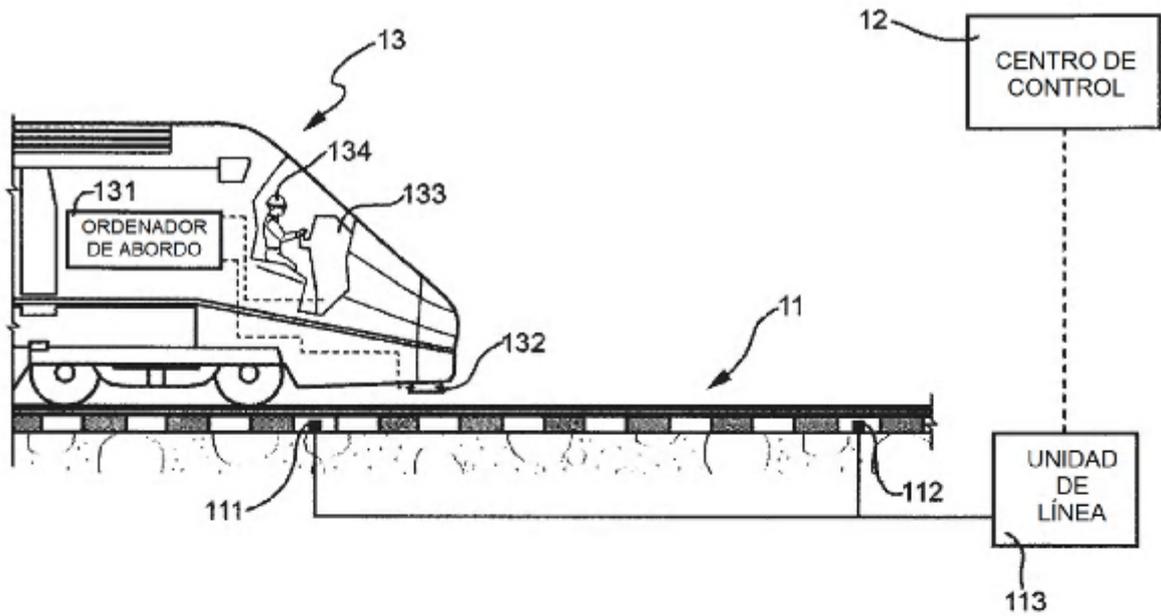


FIG. 1

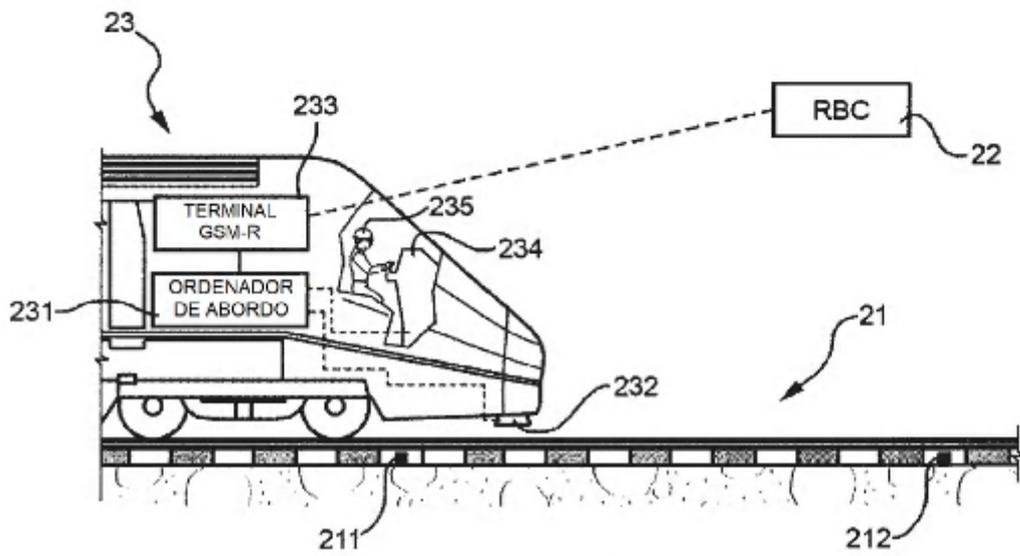


FIG. 2

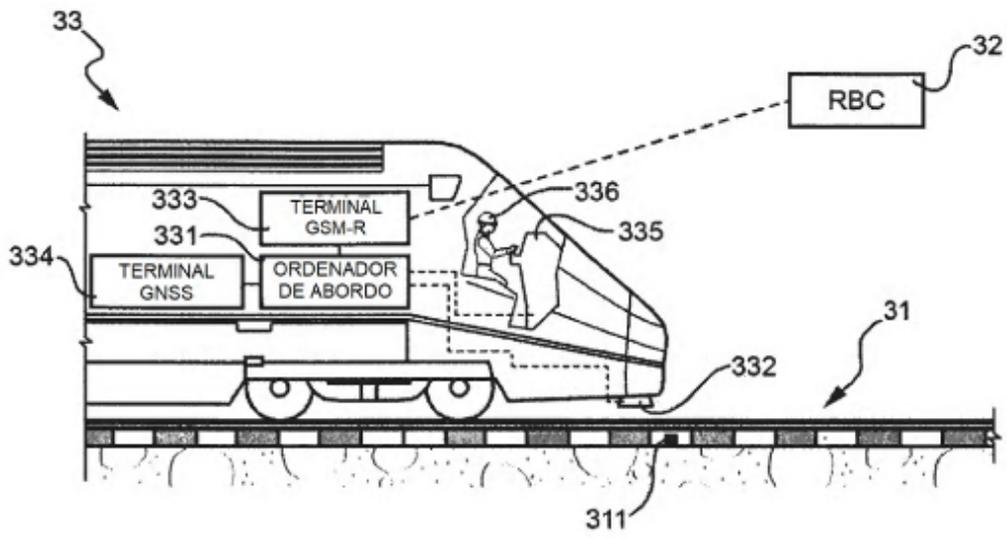


FIG. 3

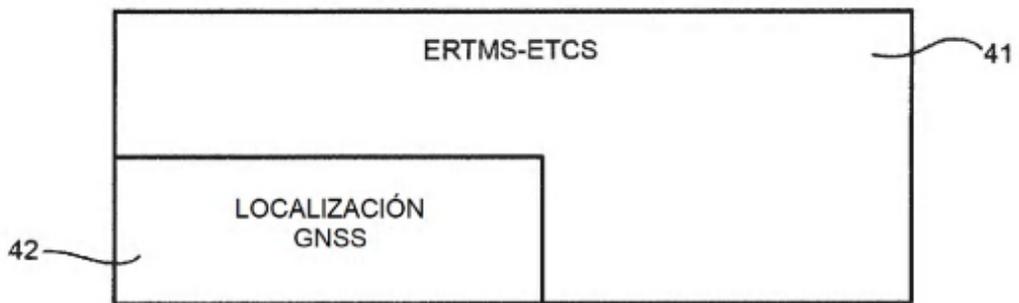


FIG. 4

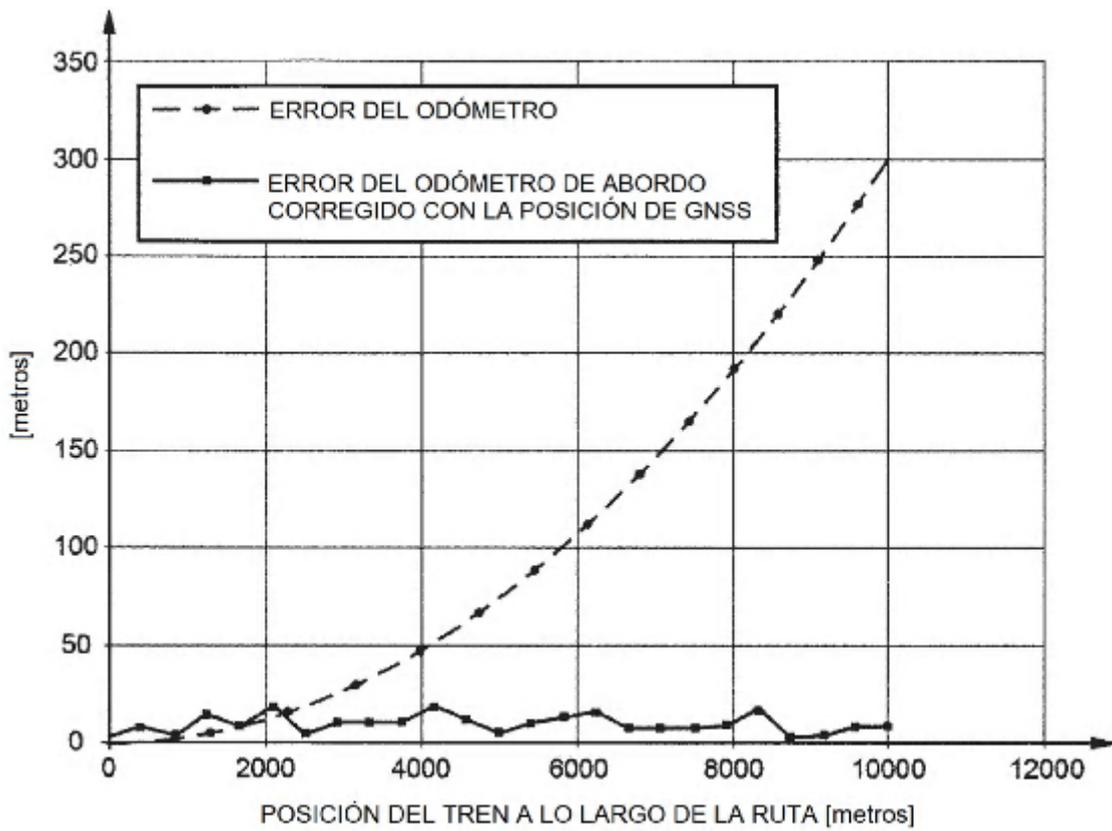


FIG. 5

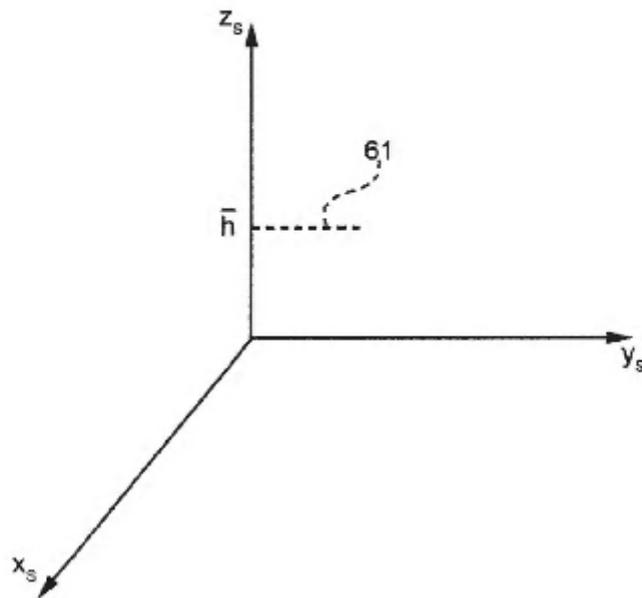


FIG. 6

RENDIMIENTO DE LA LOCALIZACIÓN DE GNSS CON
VENTANA DE MOVIMIENTO Y VENTANA DE TIEMPO REAL

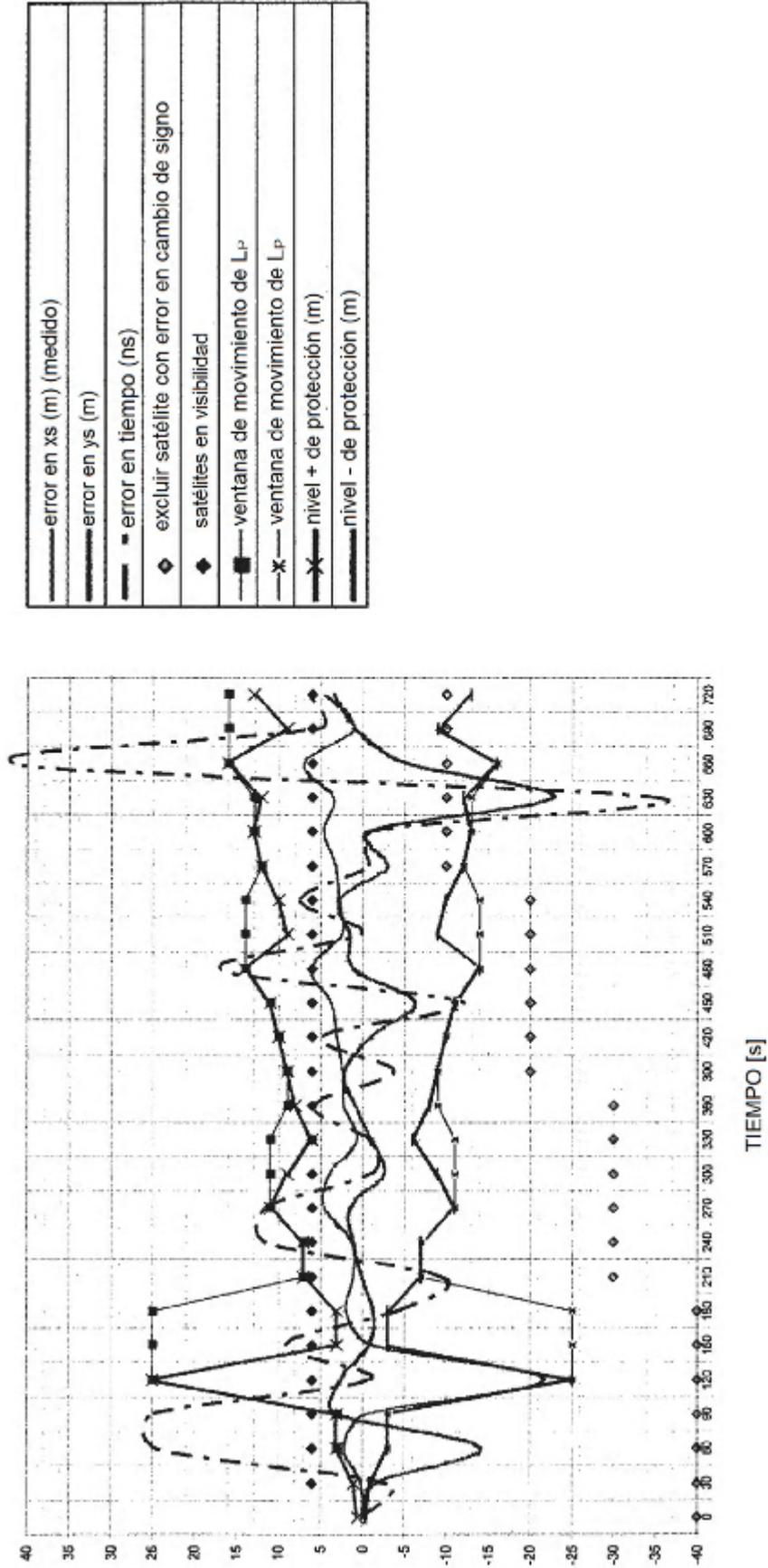


FIG. 7