



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 308 365**

51 Int. Cl.:
B61L 27/00 (2006.01)
B61L 25/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05025608 .0**
96 Fecha de presentación : **24.11.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1674371**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.06.2006**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la señalización ferroviaria.**

30 Prioridad: **22.12.2004 DE 10 2004 063 049**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.12.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.12.2008

73 Titular/es:
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Linder Höhe
51147 Köln, DE

72 Inventor/es: **Strang, Thomas y**
Meyer zu Hörste, Michael

74 Agente: **Zuazo Araluze, Alexander**

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

Procedimiento y dispositivo para la señalización ferroviaria.

La presente invención se refiere a un procedimiento para la señalización ferroviaria.

Actualmente, los sistemas de seguridad ferroviaria específicos de países y por tanto, diferentes para el tráfico sobre raíles obligan todavía a equipamientos múltiples muy costosos en locomotoras para el tráfico transfronterizo en Europa. Por ello se desarrolla un sistema que contribuye, con respecto a una solución uniforme, a la normalización adicional de las instalaciones de seguridad en locomotoras y, por tanto, baja al mismo tiempo los costes. Este nuevo sistema de control ferroviario europeo (*European Train Control System*, ETCS) en el sistema de gestión del transporte sobre raíles europeo (*European Railed Transport Management System*, ERTMS) constituye la base técnica para el funcionamiento ferroviario interoperable en Europa.

La especificación ETCS comprende tres niveles técnicos de equipamiento centrales que se numeran del 1 al 3. Además, el desplazamiento por regiones o tramos de recorrido no equipados se denomina de manera simplificada como nivel 0. Estos niveles no representan ninguna evolución o sucesión de migración, sino la zona de posible adaptación a requisitos nacionales, regionales u operativos. En la especificación ETCS se describen, según cada nivel, diferentes componentes relativos a la infraestructura o los carriles o los trenes, a los que pertenecen en los niveles 1 a 3 denominadas balizas relativas a la infraestructura.

Una baliza es un transpondedor pasivo que se excita por un tren al pasar por encima y a continuación envía mensajes al tren. Una antena dispuesta en el tren activa la baliza durante el paso por encima enviando una señal de energía. La baliza aprovecha esta energía para enviar información que se recibe en el tren y se retransmite a través de un bus de datos interno a una unidad de control ferroviario para su evaluación.

A este respecto se diferencian en general dos tipos de balizas. En primer lugar balizas de datos fijos, que transmiten un conjunto de datos fijo, por ejemplo un código de ubicación. Los datos están almacenados de forma fija en la baliza, pero pueden reprogramarse empleando un aparato de programación sin contacto. Y, en segundo lugar, balizas transparentes o conmutables, que están acopladas a una fuente de señales y en función de la señal existente pueden transmitir diferentes conjuntos de datos. Estos pueden ser por ejemplo instrucciones que se derivan de la posición de señal para el control de la velocidad.

Las balizas se emplean, entre otras cosas, para la comunicación de una identidad para la referenciación topológica a la ubicación ("hito kilométrico electrónico"), pero también pueden comunicar mensajes más amplios. El dispositivo de recepción en el tren se denomina unidad de transmisión de baliza (*Balise Transmission Modul* - BTM), que está conectado a su vez al aparato de vehículo ETCS o a la unidad de control ferroviario, que entre otras cosas procesa la información de señal recibida. El aparato de vehículo ETCS puede evaluar con ello la información de señal, por ejemplo una señal de stop, así como la información de posición. El aparato de vehículo ETCS está conectado además temporalmente a través de una conexión de radiotelefonía móvil modificada específicamente para vías mediante una denominada unidad de radio *infill* (*Radio Infill Unit* RIU) con el centro de bloque de radio ETCS responsable. El centro de bloque de radio ETCS es una central de control del tráfico sobre raíles.

La instalación de las balizas en la infraestructura lleva no obstante a costes relativamente elevados. Esto lleva por ejemplo a que, si bien el grado de equipamiento de las vías principales europeas con balizas es muy elevado y por tanto el tamaño de bloque es debidamente pequeño. Por tamaño de bloque se designa en el presente documento la distancia entre dos balizas instaladas. Sin embargo, en las vías secundarias debido a la presión de los costes la densidad de instalación es esencialmente menor. Esto lleva a una localización de trenes menos precisa e inherentemente discreta y, por consiguiente, a un peor aprovechamiento de la capacidad de las vías.

En muchas regiones, por ejemplo en nuevos estados de la UE y en el sudeste de Europa no está garantizada tampoco la interoperabilidad funcional, ya que muchas vías de tráfico secundario y regionales, como vías con nivel ETCS 0, no están equipadas en absoluto con balizas. En estas regiones, debido al requisito de interoperabilidad con los niveles ETCS 1 a 3, se corre el riesgo de un desmontaje masivo de vías y un traspaso del tráfico a la carretera.

Además resulta desventajoso que la modificación local de balizas sea muy inflexible y cara. Actualmente, se emplean balizas, siempre que estén presentes en los puntos correctos, adicionalmente también para indicar trenes que están aproximándose, que hay trabajadores en otra zona de carril o para advertir a los trabajadores acerca de trenes que están aproximándose. Un cambio de las balizas es muy costoso. Por ello, normalmente, los trabajadores deben colocar contactos de carril y conectarlos con una instalación de bocina a través de en parte, cables de algunos kilómetros de longitud. Al pasar el tren por encima de los contactos se activa esta instalación de bocina y de este modo se indica a los trabajadores acústicamente que ya sólo tienen poco tiempo, normalmente sólo algunos segundos, para abandonar de forma segura y sin peligro la zona peligrosa del punto de construcción de carriles.

En el artículo "The RUNE Projekt: Design and Demonstration of a GPS/EGNOS-Based Railway User Navigation Equipment" de Angelo Ganghi *et al.*, ION GPS/GNSS 2003, 9-12 de septiembre de 2003, Portland, OR, se describe un sistema para determinar el trayecto recorrido y la velocidad basándose en la información GNSS. En determinados puntos de referencia preestablecidos se activan eventos definidos. Mediante los puntos de referencia establecidos están

ES 2 308 365 T3

implementadas de este modo balizas virtuales. La desventaja del proyecto RUNE es que los puntos de referencia se establecen antes del inicio del desplazamiento y sólo pueden modificarse si vuelve a implementarse el sistema durante una parada del tren. Por consiguiente, con una baliza virtual según el proyecto RUNE no es posible adaptar en tiempo real la señalización ferroviaria a las circunstancias actuales.

Frente a estos antecedentes, el objetivo de la presente invención es indicar una señalización ferroviaria mediante la cual sea posible una adaptación a situaciones especiales en tiempo real.

Este objetivo se soluciona mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1.

Mediante el procedimiento según la invención se genera una adaptación en tiempo real de la baliza virtual, es decir, la unidad de control ferroviario obtiene la información necesaria que tiene en cuenta la situación actual y especial. Para ello se almacenan en la unidad de señalización coordenadas de ubicación de los puntos de vía establecidos, para los que están depositados datos de señalización respectivos. Las posiciones de tren comunicadas por el sistema de determinación de la posición a la unidad de señalización se vigilan por ésta y, al atravesar una posición que corresponde a un punto de vía determinado, se envían los datos de señalización correspondientes a la unidad de control ferroviario. La unidad de control ferroviario evaluará ahora los datos de señalización recibidos, tal como en el estado de la técnica los mensajes enviados a la locomotora por balizas físicas instaladas en la red de vías al pasar por encima. Mediante la adaptación en tiempo real pueden tenerse en cuenta modificaciones en la planificación del tráfico o la ordenación de las vías.

De este modo pueden aprovecharse también tramos de vía con un tráfico débil y regular (SMV), para los que no sería lógica ni económica una instalación con balizas físicas por motivos de costes, para el tráfico sobre raíles.

En una configuración ventajosa está previsto que los puntos de vía y/o datos de señalización depositados en la unidad de señalización puedan modificarse a través de una conexión de radio desde una central, por ejemplo a través de una conexión de radio modificada específicamente para vías como GSM-R desde el centro de bloque de radio ETCS responsable. De este modo es posible una adaptación también después del inicio del desplazamiento.

Preferiblemente se emplea para la determinación de la posición un sistema de navegación por satélite (*Global Navigation Satellite System* - GNSS), por ejemplo Galileo. Esto posibilita la realización del procedimiento en todos los tramos de vía, que no están sobreedificados (túnel o similar), en todo el territorio transfronterizo en el que pueden recibirse señales del satélite Galileo.

Otra configuración preferida del procedimiento según la invención prevé que la unidad de control ferroviario active, en función de los datos de señalización, el envío de una señal de radio para el control del tráfico y/o aviso.

Finalmente, en una forma de realización ventajosa del procedimiento según la invención está previsto que, al pasar por encima de una baliza física, se comprueben los datos transmitidos por la baliza con ayuda de los datos de señalización asociados al punto de vía y depositados en la unidad de señalización. Esto abre la posibilidad de utilizar balizas virtuales para vigilar y controlar balizas físicas.

Un sistema no reivindicado, que es adecuado para realizar el procedimiento según la invención, presenta un sistema de determinación de la posición para determinar la posición de tren, una unidad de señalización en la que están depositados de manera modificable puntos de vía y datos de señalización asociados, y una unidad de control ferroviario para evaluar los datos de señalización. De este modo se crea un sistema en el lado de la locomotora o del tren que, mediante determinación en el lado del vehículo de la posición actual del tren y comparación de la posición de tren con puntos de vía depositados en el lado del vehículo, se ponen a disposición datos de señalización para la señalización ferroviaria de una unidad de control ferroviario teniendo en cuenta situaciones especiales. El sistema creado en este caso es independiente de posibles balizas instaladas en la red de vías.

Ventajosamente el sistema no reivindicado está equipado con una unidad de control ferroviario, que es compatible con el sistema de control ferroviario europeo (ETCS) en el sistema de gestión de transporte sobre raíles europeo (ERTMS). De este modo se crea la posibilidad de un sistema de señalización ferroviaria uniforme a nivel europeo.

Un sistema no reivindicado, adecuado para realizar el procedimiento puede presentar un aparato de emisión/recepción para recibir mensajes de radio para modificar los puntos de vía y/o los datos de señalización depositados y/o para enviar datos de control a una central o un mensaje de aviso a un dispositivo de aviso. De este modo existe la posibilidad de controlar en tiempo real y en función de la situación el tráfico sobre raíles.

A continuación se explica más detalladamente a modo de ejemplo la presente invención con ayuda de un ejemplo de realización y los dibujos adjuntos. Estos muestran en:

la figura 1, una representación esquemática del sistema según la invención para la señalización ferroviaria,

la figura 2, en una vista desde arriba, una representación simplificada de un tramo de vía ferroviaria.

ES 2 308 365 T3

En la figura 1 está dibujado esquemáticamente un sistema según la invención para la señalización ferroviaria. En la figura se muestra una locomotora 1 sobre raíles. La locomotora 1 presenta en su zona delantera un puesto 2 de mando en el que se controla y maneja la locomotora 1 mediante un conductor 3 de tren o locomotora. La locomotora 1 mostrada en este caso es una locomotora eléctrica que circula sobre raíles 4 con pantógrafos 5. En los raíles 4 está integrado un circuito de corriente de carril. Además se muestran las denominadas balizas 6 y 7 conocidas convencionalmente. Las balizas 6 y 7 son transpondedores pasivos, que se excitan al pasar por encima la locomotora 1 y, a continuación, envían mensajes al tren.

En el lado inferior de la locomotora 1 está dispuesto un dispositivo 8 de recepción que se denomina también unidad de transmisión de baliza (*Balise Transmission Modul* - BTM). El dispositivo 8 de recepción está conectado a través de un bus de datos interno del tren con una unidad 9 de control ferroviario, que en el presente ejemplo es un aparato de vehículo ETCS. La unidad 9 de control ferroviario evalúa los datos de señalización enviados por la baliza 6 y retransmite información de señal evaluada al puesto 2 de mando del vehículo.

La figura 1 muestra además una fuente 10 de señales, que está conectada a través de una línea 11 con un puesto 12 de maniobra y se controla por el puesto 12 de maniobra. Además, la fuente 10 de señales está conectada con una unidad 13 electrónica dispuesta en el lado del carril (*Lineside Electronic Unit* - LEU), que está conectada a través de una línea 14 con la baliza 7 conmutable. Al pasar la locomotora 1 sobre la baliza 7 se transmiten desde ésta conjuntos de datos en función de la señal existente en la fuente 10 de señales.

La locomotora 1 presenta además un sistema 15 de determinación de la posición, que recibe a través de una antena 16 señales por satélite para la determinación de la posición. Por motivos de simplificación, en la figura 1 sólo se muestra un satélite 17, que por ejemplo forma parte del sistema de navegación por satélite Galileo. Los componentes del sistema anteriormente descritos ya se conocen en el estado de la técnica. A continuación se describen los componentes adicionales según la invención y su función.

Los datos de posición determinados se retransmiten desde el sistema 15 de determinación de la posición a una unidad 18 de señalización. La unidad 18 de señalización reproduce la información de posición comunicada sobre el mapa topológico de vías existente en el lado del tren según la especificación ETCS. La unidad 18 de señalización puede depositar entonces, en puntos de vía que pueden seleccionarse libremente, depositados en la unidad 18 de señalización, estos datos de señalización asociados en la unidad 9 de control ferroviario, que se evalúan y retransmiten por la unidad 9 de control ferroviario del modo habitual. Los puntos de vía y/o los datos de señalización pueden modificarse a este respecto teniendo en cuenta sucesos y condiciones marginales actuales. Puesto que de este modo la unidad 9 de control ferroviario recibe datos de señalización específicos de la ubicación, sin que necesariamente una de las dos balizas 6, 7, que están instaladas en la red 4 ferroviaria, envíe un mensaje de señal correspondiente, la unidad 18 de señalización también puede denominarse baliza virtual.

La unidad 9 de control ferroviario evalúa la información de señalización así como la información de posición. Además, la unidad 9 de control ferroviario puede estar conectada temporalmente a través de una conexión de radiotelefonía móvil modificada específicamente para vías (GSM-R), mediante una unidad 19 de radio *infill* (RIU) dispuesta en la locomotora 1, con una central 20 externa responsable, por ejemplo un centro de bloque de radio ETCS. A través de esta conexión de radio puede comunicarse la posición de tren así como otros parámetros de desplazamiento a la central 20, con lo cual en la central 20 puede emplearse la información acerca de varios trenes de manera correspondiente al control del tráfico global. Con ello se optimiza el aprovechamiento de las capacidades de las vías y pueden reducirse tiempos de espera de trenes individuales en la medida en que sea totalmente necesario.

Puesto que la central 20 también activa otra infraestructura de vía, por ejemplo agujas y pasos a nivel, éstos pueden activarse en un instante óptimo. Este instante depende por regla general de la posición de tren y de los parámetros de desplazamiento. Puede evitarse así una espera innecesariamente larga de vehículos por carretera ante un paso a nivel.

El depósito de los datos de señalización asociados a los puntos de vía en la unidad 18 de señalización en el lado del tren puede realizarse, tal como en el estado de la técnica, de forma estática o dinámica según la invención, por ejemplo mediante la introducción por el conductor 3 del vehículo en el puesto 2 de mando del vehículo o a través de la conexión de radiotelefonía móvil modificada del centro 20 de bloque de radio ETCS externo responsable. También pueden tenerse en cuenta en el sistema parámetros determinados por sensores presentes en el lado del tren.

En el caso estático conocido, la baliza virtual o la unidad 18 de señalización supone un sustituto de balizas físicas instaladas. Con ayuda del sistema 15 de determinación de la posición se entregan a la unidad 9 de control ferroviario en puntos de vía determinados, que se han preestablecido, los datos de señalización respectivos. En el caso dinámico según la invención estos puntos de vía, que requieren datos de señalización determinados, se determinan dinámicamente. Los requisitos según los cuales se realiza la determinación dinámica dependen de los parámetros de desplazamiento del tren, concretamente de la velocidad actual, y dado el caso adicionalmente de la velocidad máxima o la potencia de frenado y aceleración máxima.

El caso dinámico según la invención permite además la adaptación en tiempo real de los datos de señalización a situaciones especiales relativas al tráfico. Esto puede ser por ejemplo una identificación actualizada continuamente de un punto de construcción de carriles móvil. El uso de la baliza virtual o la unidad 18 de señalización, en el caso de una posición de ubicación que cambia continuamente de un punto de vía, no es comparable en modo alguno desde el

ES 2 308 365 T3

punto de vista del esfuerzo, con el cambio de balizas 6, 7 físicas. El uso de balizas dinámicas virtuales permite lograr en vías de nivel ETCS 0 un cierto grado de interoperabilidad, de modo que mediante medidas funcionales adecuadas dos vías de niveles ETCS 1 a 3 pueden unirse entre sí mediante una vía de nivel ETCS 0 así equipada.

- 5 Con esto se garantiza la transitabilidad operativa siempre que no existan otros obstáculos, por ejemplo anchos de vía variables o sistemas de corriente diferentes. El procedimiento es por tanto también una mejora de la capacidad de migración de sistemas existentes respecto a la compatibilidad con la especificación ETCS. Una solución por satélite ofrece además la posibilidad de crear sin tocar los sistemas existentes una nueva solución uniforme.
- 10 La baliza virtual o la unidad 18 de señalización presentada en este caso puede servir adicionalmente para la verificación y vigilancia de balizas 6, 7 físicas instaladas. Para ello, en la unidad 9 de control ferroviario están depositadas rutinas de comprobación que comprueban en un funcionamiento operativo normal la capacidad de funcionamiento correcto de balizas 6, 7 físicas. Los datos de señalización recibidos por las balizas 6, 7 se comparan con los datos de señalización que están depositados en la unidad 18 de señalización para los puntos de vía definidos o para las
- 15 indicaciones de posición geográficas. Esta vigilancia lleva a una mayor seguridad para el tráfico sobre raíles.

Con ayuda de la figura 2 se describe la invención en el ejemplo de un punto 21 de construcción móvil que ha de asegurarse. Puede observarse una vista desde arriba muy simplificada de un tramo de vía con carriles 4, sobre los que se desplaza un tren con una locomotora 1 en la dirección de la flecha 22. Para la determinación de la posición, la locomotora 1 recibe señales de un sistema de navegación por satélite, que en este caso se representa mediante el satélite 17. En la figura está representada una baliza 6 física, que al pasar por encima de la misma, activa una señalización y adicionalmente activa mediante una instalación 25 de bocina en el punto 21 de construcción móvil una señal de aviso acústica. Para ello está previsto en la posición de la baliza 6 adicionalmente un contacto de carril unido con la instalación de bocina.

25 En el caso de que el tren se encuentre ya detrás de la última baliza 6 física, pero el desplazamiento no haya proseguido normalmente, por ejemplo porque vuelve a arrancar después una frenada de emergencia y una parada larga, ya no puede activarse un aviso para el punto 21 de construcción móvil. Con ayuda de la baliza virtual, que en la figura 2 se representa mediante un símbolo 23 de baliza, puede garantizarse que, en caso de que el tren pase sobre el

30 punto de vía asociado a la baliza 23 virtual, se active la instalación 25 de bocina.

La posición de la baliza virtual puede definirse junto con los parámetros habituales antes del inicio de la salida de un tren. Este modo de proceder estático no tiene en cuenta, sin embargo, que el punto 21 de construcción móvil puede modificar su posición durante el desplazamiento del tren. Por tanto es mejor una adaptación dinámica de la posición definida o los puntos de vía para la activación de una señalización todavía durante el desplazamiento del tren. Esto puede realizarse por ejemplo mediante *Cell-Broadcast* (emisión celular) en GSM-R (en territorios cubiertos correspondientemente desde el punto de vista de la técnica de radio) o mediante Geocast (por ejemplo DVB-T/S, DAB). Especialmente, en este caso podría utilizarse también ventajosamente el procedimiento de mensajería bidireccional (*Two-Way-Messaging*) introducido por Galileo, ya que este sistema tendrá de forma inherente una cobertura global y

40 el ancho de banda disponible sería absolutamente suficiente para este tipo de aplicación.

Mediante un terminal de configuración adecuado, el propio grupo de trabajadores tendría la capacidad, con el procedimiento dinámico, de ir acercando las balizas de aviso virtuales según las necesidades a una distancia suficiente. Esto significa que tras un desplazamiento o movimiento del punto 21 de construcción en la dirección 22 de desplazamiento del tren, la señalización sólo se activa en un punto de vía posterior que está representado en la figura 2 con el número de referencia 24 como baliza virtual.

45

La activación de la instalación 25 de bocina puede producirse a su vez también en diferentes formas de comunicación. Así, la baliza 23 ó 24 virtual puede activar la instalación 25 de bocina por ejemplo directamente por radio, si ésta se encuentra dentro del alcance de un dispositivo de emisión y recepción correspondiente adicional en el tren. Igualmente, el dispositivo de emisión y recepción (RIU) GSM-R existente en el lado del tren ETCS puede emplearse en caso de una cobertura de red correspondiente en la región para llamar al número de teléfono de la instalación 25 de bocina a la que ha de darse la alarma, depositado en el perfil de las balizas 23, 24 virtuales.

50

Sin embargo, en el sentido de la disponibilidad, la activación mediante servicio Galileo-SAR ampliado es óptima, al realizarse la activación como mensaje de socorro SAR específico y utilizando el canal de retorno SAR introducido de nuevo con Galileo tanto para confirmar al tren el lanzamiento del aviso, como para informar al mismo tiempo a la instalación de bocina acerca de la activación. A este respecto, es especialmente ventajoso que el canal de retorno Galileo SAR pueda considerarse como Geocast y en escenarios plausibles siempre ha de partirse del hecho de que la instalación 25 de bocina se encuentra en el mismo territorio geográfico que la baliza 24 activadora.

55

60

En todos los procedimientos de comunicación mencionados para la activación de la instalación 25 de bocina ha de considerarse el tiempo de establecimiento de la conexión máximo, ya que en este caso cualquier retardo en el caso de trenes que se desplazan rápidamente minimiza el tiempo de preaviso al grupo de trabajadores. Concretamente el aviso al grupo de trabajadores del punto 21 de construcción móvil se activa precisamente en el momento en el que se alcanza el tiempo mínimo hasta la llegada al punto 21 de construcción para ese tren en concreto.

65

ES 2 308 365 T3

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la señalización ferroviaria, en el que en una locomotora (1)

(a) se envía una posición de tren de un tren, determinada por un sistema de determinación de la posición, a una unidad (18) de señalización, en la que están depositados puntos de vía y datos de señalización asociados,

(b) en caso de coincidencia de la posición de tren con un punto de vía depositado, la unidad (18) de señalización envía datos de señalización asociados al punto de vía a la unidad (9) de control ferroviario, que evalúa los datos de señalización, y

(c) se detecta la velocidad actual del tren,

caracterizado porque

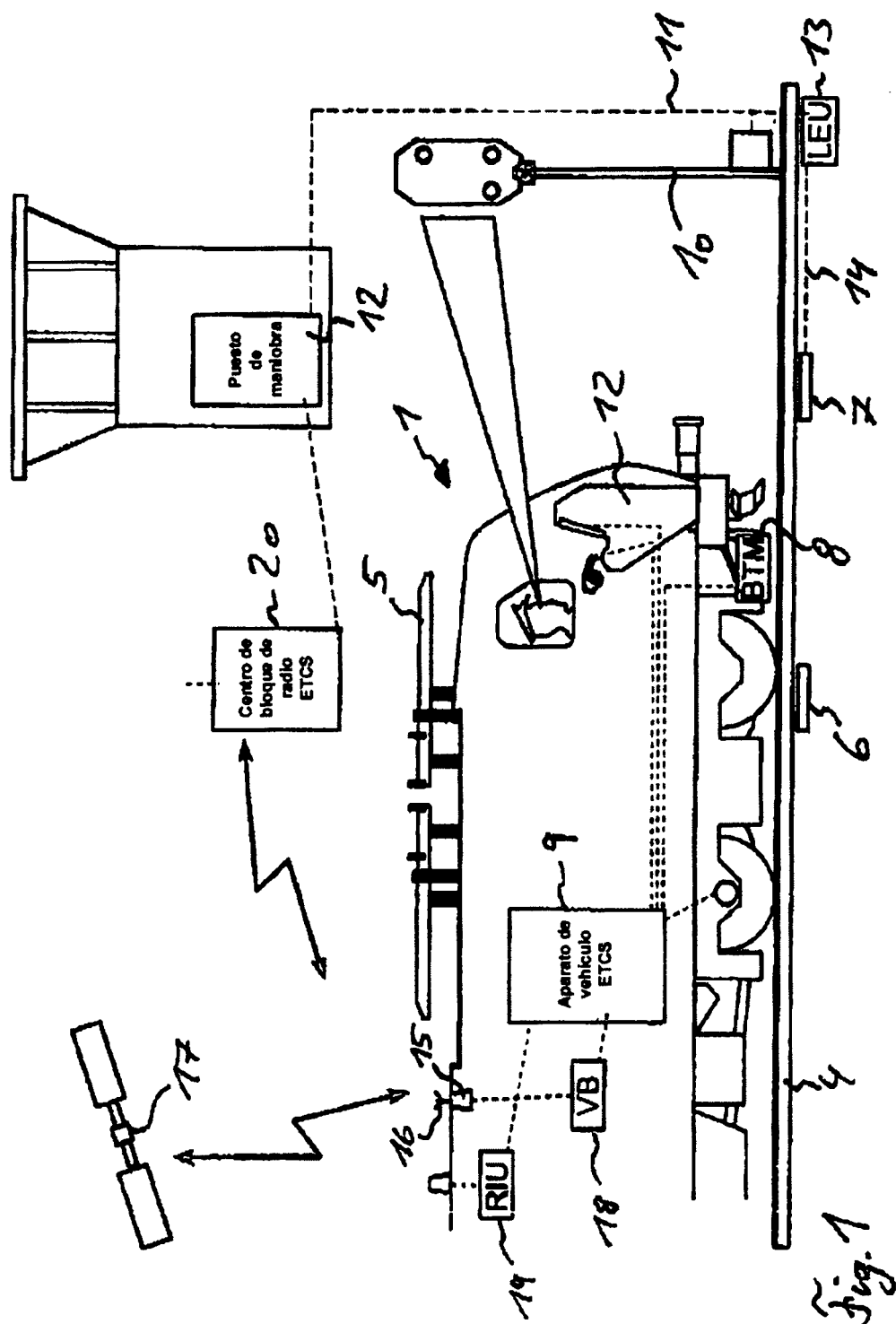
(d) los puntos de vía se determinan en función de la velocidad actual del tren.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque los puntos de vía y/o datos de señalización depositados en la unidad de señalización se modifican a través de una conexión de radio desde una central.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque para la determinación de la posición se emplea un sistema de navegación por satélite.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque desde la unidad de control ferroviario se activa, en función de los datos de señalización, el envío de una señal de radio para el control del tráfico y/o aviso.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque al pasar por encima de una baliza física se comprueban los datos transmitidos por la baliza con ayuda de los datos de señalización asociados al punto de vía y depositados en la unidad de señalización.



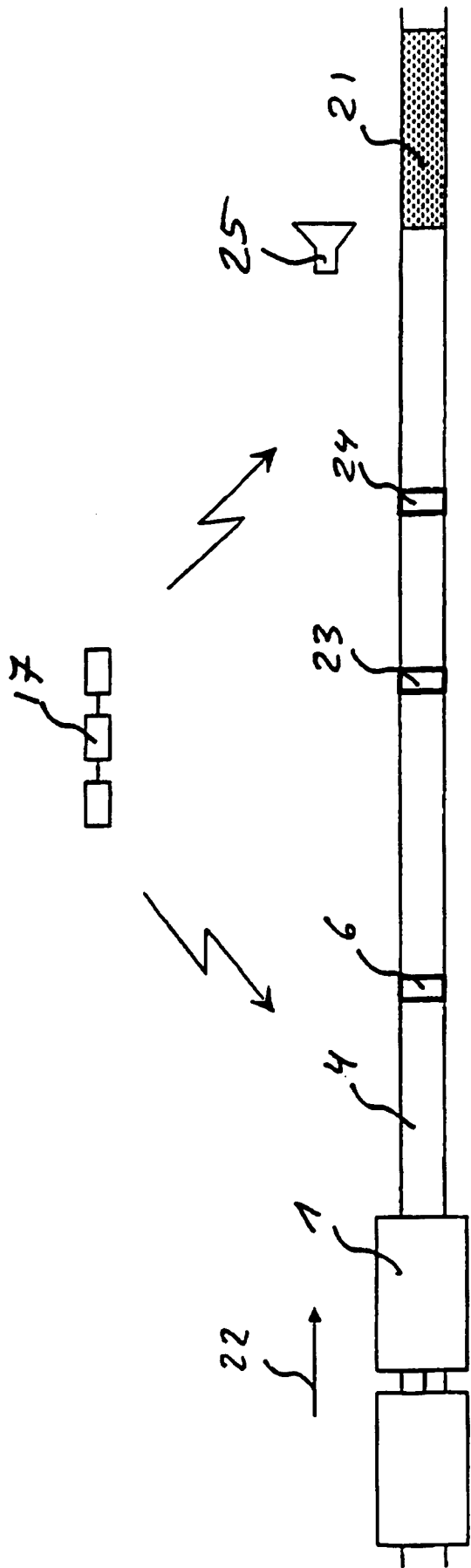


Fig. 2