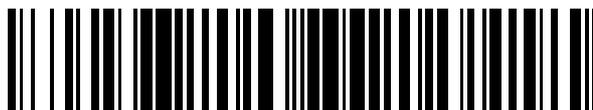


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 562 992**

51 Int. Cl.:

**G01P 3/36** (2006.01)

**B61L 25/02** (2006.01)

**G06T 7/20** (2006.01)

**G01C 22/00** (2006.01)

**G01C 23/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2012 E 12729087 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.11.2015 EP 2718730**

54 Título: **Dispositivo de medida de velocidad y de posición de un vehículo que se desplaza por un carril guía, proceso y paquete de programas de ordenador correspondiente**

30 Prioridad:

**09.06.2011 FR 1155053**

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

**09.03.2016**

73 Titular/es:

**DESBORDES, JEAN-LUC (50.0%)**

**Rue du Patis Tatelin**

**35700 Rennes, FR y**

**J.M.R. PHI (50.0%)**

72 Inventor/es:

**DESBORDES, JEAN-LUC y**

**CHÂTEL, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 562 992 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

Dispositivo de medida de velocidad y de posición de un vehículo que se desplaza por un carril guía, proceso y paquete de programas de ordenador correspondiente

Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a un proceso de localización y/o de medida de velocidad de un vehículo que se desplaza por un carril guía, por ejemplo una vía férrea formada por dos raíles, y a un dispositivo que equipa dicho vehículo, especialmente una locomotora.

Estado de la técnica anterior

5 El desarrollo de los sistemas de vigilancia y gestión del tráfico ferroviario actuales ha de cumplir las exigencias del sistema europeo de gestión del tráfico ferroviario (ERTMS) que pretende armonizar los sistemas de señalización y el control de velocidad para el transporte ferroviario en Europa y, por consecuencia, mejorar la seguridad de la circulación de los trenes.

10 Para mejorar las condiciones de circulación de los trenes en una red de líneas ferroviarias así como la seguridad del conjunto del tráfico, es necesario conocer con precisión la velocidad y la ubicación (posición) de cada tren en la red ferroviaria.

15 Para responder a esta necesidad, los trenes se equipan con una combinación de sensores de odometría de diferentes naturalezas, tales como acelerómetros, radares Doppler y sensores de ruedas. Esta solución resulta costosa y necesita la implementación de algoritmos complejos para el procesamiento de las señales medidas. Sin embargo, la precisión de las medidas efectuadas por dichos sensores no es satisfactoria debido especialmente a su sensibilidad a las condiciones climáticas, a las bajas velocidades, a las vibraciones, a la configuración del tren y del suelo, al deslizamiento de las ruedas del tren sobre los raíles. Además, las medidas procedentes de dichos sensores de odometría son propensas a desviaciones. Por otra parte, algunos de dichos sensores fijándose debajo de la caja, son propensos a deterioros (proyecciones de cantos por ejemplo).

20 Para remediar estas desviaciones y mejorar la precisión de las medidas de posición de los trenes, se propuso "ajustar" las medidas de posición obtenidas a partir de los sensores de odometría gracias a sistemas en el suelo, en forma de emisores/balizas (llamados "Eurobalizas") fijados a intervalos regulares (cada 1,5 km por término medio, en Bélgica por ejemplo) a la vía férrea. Dicha baliza se activa cuando pasa el tren, transmitiéndole su localización exacta con respecto a un sistema de referencia absoluto relacionado con la vía. Entonces el ordenador de a bordo del tren corrige el error de posición del tren por ajuste de la posición obtenida por odometría con la de la última baliza encontrada.

25 Esta solución tiene el inconveniente de que las balizas se sitúan sobre la vía entre los raíles. Así, sin vigilancia, son vulnerables a los actos de vandalismo. Al pasar un tren, también se someten a esfuerzos mecánicos bastante importantes que pueden causar averías. Junto con el coste engendrado por el mantenimiento de las balizas, existe un coste vinculado a la instalación de las balizas en toda la red ferroviaria y a la gestión de las existencias. Además, esta solución plantea un problema de seguridad ya que al averiarse una baliza, aumenta el intervalo entre dos ajustes de medidas de posición procedentes de los sensores de odometría.

30 En una alternativa, se propone equipar el tren con un receptor GPS para hacer más fiables las medidas de dichos sensores de odometría. Sin embargo, hace falta para ello que el receptor GPS pueda captar continuamente las señales de los satélites para permitir la localización del tren, lo que es difícil en los túneles, corredores urbanos y valles muy estrechos de montaña.

35 Otra solución basada en un sistema óptico y comercializada con el nombre de Correvit®, consiste en equipar el tren con sensores que radican en una tecnología LED. Sin embargo, este enfoque tiene el inconveniente de que dichos sensores sean bastante frágiles y vulnerables a las condiciones medioambientales, ya que se sitúan debajo de la caja, cerca del raíl de la vía férrea.

40 Otra solución para medir la "distancia recorrida" de un tren se describe en el documento de patentes FR 2 673 901. Esta solución consiste en fijar pistas magnetizables a lo largo de la vía férrea y en utilizar, con respecto al sentido de desplazamiento del vehículo, por lo menos una bobina de marcación magnética de dichas pistas, alimentada por un generador de impulsos de corriente eléctrica y situada en el bogie delantero de la locomotora, y por lo menos un detector de dicha marcación magnética en el bogie trasero de la locomotora, bobina y detector estando separados uno de otro por una distancia predeterminada. Se prevén asimismo medios para mandar una nueva marcación después de cada detección y medios para contabilizar el número de marcaciones detectadas, representativas de la distancia recorrida por la locomotora (y por lo tanto la posición de la locomotora sobre la vía férrea).

Sin embargo, esta solución presenta el inconveniente de que son costosos la utilización y el mantenimiento en funcionamiento de los medios ya que éstos están sometidos a importantes esfuerzos mecánicos.

5 También es conocida la utilización de un dispositivo de captura de imágenes colocado en un extremo del tren, en el que las imágenes se analizan después para determinar la velocidad y la posición del tren, véase por ejemplo el documento WO 2007/0282563. El análisis de las imágenes consiste en una detección de elementos, como por ejemplo códigos de barras situados en el suelo, a lo largo de la vía, en lugares conocidos a priori, y en una comparación de los códigos detectados con códigos almacenados en una base de datos, lo que permite localizar espacialmente el tren, véase por ejemplo el documento WO 2007/091072.

10 Esta solución tiene el inconveniente de la necesidad de colocar códigos de barras en toda la red ferroviaria y de que sea costosa su implementación.

Esta solución tiene otro inconveniente que es la necesidad de gestión de una base de datos. Además, el análisis de la imagen y la comparación con datos almacenados en la base de datos requieren un importante tiempo de procesamiento.

15 En otros términos, las soluciones actuales de medida de posición y de velocidad de los trenes no son totalmente satisfactorias.

En efecto, requieren la utilización de equipos de detección:

- que se derivan de tecnologías distintas y que miden magnitudes de distintas naturalezas, lo que precisa la implementación de algoritmos complejos de procesamiento de las señales medidas y engendra tiempos de procesamiento de datos bastante largos;
- 20 - de a bordo (debajo de la caja o en la locomotora) o en el suelo (entre los raíles o a lo largo de la vía), lo que los hace propensos a deterioros;
- costosos (especialmente su mantenimiento), poco precisos (especialmente por las bajas velocidades del tren) y propensos a desviaciones.

#### Objetivos de la invención

25 La invención tiene por objetivo principal paliar los inconvenientes de la técnica anterior.

Más particularmente, la presente invención tiene por objetivo proponer un proceso de medida preciso y fiable de la velocidad de vehículos que se desplazan sobre un carril guía y llegado el caso de su posición, sin necesitar la implantación en su recorrido de dispositivos específicos tales como balizas.

30 La presente invención también tiene por objetivo proponer un dispositivo de utilización de este proceso, dicho dispositivo debe ser lo menos costoso posible, poder implantarse en cualquier tipo de vehículo y poder funcionar correctamente cualesquiera que sean las condiciones medioambientales.

Otro objetivo de la invención consiste en proponer una solución de medida de velocidad y de posición de vehículos que se desplazan sobre un carril guía que cumpla las exigencias de interoperabilidad y de seguridad del sistema ERTMS en particular.

#### 35 Descripción de la invención

Estos objetivos, así como otros que destacarán a continuación, se alcanzan gracias a un dispositivo de medida de velocidad y/o de posición de un vehículo que se desplaza por un carril guía, tanto de día como de noche, cualesquiera que sean las condiciones climáticas.

Según la invención, dicho dispositivo comprende:

- 40 - por lo menos un sistema de captura de imágenes que proporciona una secuencia de imágenes digitales de un entorno del correspondiente vehículo;
- medios de determinación del movimiento aparente de por lo menos una referencia visual, llamada primitiva, entre dos imágenes proporcionadas por el correspondiente sistema de captura de imágenes, para determinar el movimiento aparente de la correspondiente por lo menos una referencia, que implementan:
- 45 -medios de simplificación de las correspondientes imágenes, con la ayuda de por lo menos un modelo del correspondiente entorno, que permite la detección de la correspondiente por lo menos una referencia visual en las imágenes simplificadas;
- medios de predicción de una zona de imagen en la que la correspondiente referencia se encontrará en una imagen siguiente;

–medios de extracción de una de las correspondientes referencias visuales en la correspondiente zona de imagen;

–medios de evaluación de un desplazamiento, por comparación entre la posición real de la correspondiente referencia en una imagen en curso y una imagen anterior;

- 5 - medios de evaluación de la velocidad y/o de la posición del correspondiente vehículo a partir del correspondiente movimiento aparente de la correspondiente por lo menos una referencia.

10 El dispositivo de la invención permite medir la velocidad y la posición de un vehículo, tal como un tren, que se desplaza por un carril guía (rodando sobre una vía férrea por ejemplo) por determinación del movimiento en una sucesión de imágenes proporcionadas por un sistema de captura de imágenes que puede ser especialmente, en un modo de realización, un sensor de imagen óptica, en forma de cámara.

15 El dispositivo de la invención implementa un procesamiento de imágenes procedentes de una misma secuencia, tomadas en un entorno estructurado. Extrae de la imagen, en tiempo real o casi real, las primitivas pertinentes de la proyección (escena visual) del entorno ferroviario constituido por el carril guía y objetos próximos, efectúa el seguimiento y calcula el movimiento de desplazamiento en la imagen de estas últimas. El cálculo de la velocidad y de la “distancia recorrida” del vehículo se hace posible gracias a un conocimiento a priori de ciertas magnitudes reales del entorno ferroviario (escena real), pudiendo ser el modelo del entorno por ejemplo un modelo dinámico simplificado.

Según los casos, el correspondiente por lo menos un sistema de captura de imágenes pertenece al grupo que comprende, en particular (lista no exhaustiva):

- 20 –las cámaras fotográficas;  
–las cámaras térmicas;  
–las cámaras magnéticas, etc.

25 La invención permite medir así la velocidad y la “distancia recorrida” (o la posición relativa) de un tren por referencia interna, en un entorno ferroviario parcialmente conocido a priori, a partir de uno o varios sistemas de captura de imágenes (o sensores de imagen) adaptados, por ejemplo, para el espectro visible (cámara fotográfica), el espectro infrarrojo (sensor térmico), y/o las radiaciones magnéticas (cámara magnética).

30 Es de notar que el o los sistemas de captura de imágenes utilizados en el dispositivo de la invención permiten obtener, tanto de día como de noche, cualesquiera que sean las condiciones climáticas, una secuencia de imágenes de vídeo, térmicas, magnéticas, u otra cosa, a partir de la cual el cálculo de la velocidad del vehículo y de la “distancia recorrida” por este último puede efectuarse según el modo de realización de la invención.

En otros términos, el sistema de captura de imágenes es un dispositivo de captura de los elementos estructurales del medio en el que el vehículo se desplaza (por imagen óptica, térmica, acústica, magnética u otra cosa).

Por otra parte, las imágenes proporcionadas por el o los sistemas de captura de imágenes y procesadas con el dispositivo de la invención pueden ser imágenes de la escena situada en la parte delantera o trasera del vehículo.

35 En un modo de realización particular, la correspondiente por lo menos una referencia es representativa de por lo menos una característica geométrica del correspondiente carril guía, como el radio de curvatura, la distancia entre los raíles de la vía, la alineación.

40 Ventajosamente, la correspondiente por lo menos una referencia es representativa de por lo menos una característica geométrica de por lo menos un objeto situado a lo largo del carril guía, como la verticalidad de los postes.

45 Así, la invención utiliza referencias visuales o características, llamadas primitivas, que son objetos extraídos de la imagen que contienen de manera concisa una información importante para su análisis (estas referencias suelen ser bordes o zonas de la imagen) y cuya evolución en el tiempo y el espacio depende de las propiedades de ciertas magnitudes reales del medio ferroviario juiciosamente elegidas, y dadas por conservarse o cambiar lentamente a lo largo de una misma secuencia de imágenes (distancia entre los raíles de la vía, curvatura de la vía, verticalidad de los postes a lo largo de la vía, etc.).

Se prevén así zonas de detección de la vía y objetos que bordean la vía.

50 Las primitivas, extraídas de las imágenes, se utilizan directamente por la invención, lo que permite eliminar totalmente la fase de interpretación de las informaciones visuales, costosa en tiempo de cálculo en el caso de escenas complejas.

En otros términos, el hecho de utilizar las primitivas directamente en la imagen permite reducir considerablemente el volumen de datos a procesar y el tiempo de ejecución de los algoritmos en el procedimiento de evaluación de movimiento.

5 En un modo de realización de la invención, el dispositivo utiliza un modelo del correspondiente vehículo y un modelo del correspondiente sistema de captura de imágenes.

10 La asociación de modelos de vehículo y de sistema de captura de imágenes, el modelo del entorno, los elementos dinámicos del conjunto del carril guía y del vehículo, como los datos relativos a la tarea a ejecutar (en este caso desplazarse sobre el carril guía) se integran, en forma de parámetros y algoritmos, en la unidad de cálculo del dispositivo de la invención que recibe, cuando está en funcionamiento, las informaciones sobre el estado en curso del vehículo (informaciones propioceptivas) y las informaciones sobre el estado en curso del entorno (informaciones exteroceptivas).

15 Los modelos de vehículo y de sistema de captura de imágenes se asocian en el procedimiento de determinación de los parámetros internos del sistema de captura de imágenes (autocalibración) montado en el vehículo que se desplaza sobre el carril guía. El modelo del entorno (carril guía y objetos por la vía) interviene en fase de extracción de las referencias visuales de la imagen (fase de simplificación de la imagen). Los elementos dinámicos del conjunto del carril guía y del vehículo intervienen a partir de la primera evaluación de velocidad y de "distancia recorrida" del vehículo que se desplaza sobre el carril guía.

20 Todos estos elementos de modelización participan directamente de la expresión de la relación entre variaciones de informaciones visuales en la imagen y movimientos en el espacio real del sistema de captura de imágenes montado en el vehículo que se desplaza sobre el carril guía (matriz de interacción).

En un modo de realización particular, los medios de seguimiento y predicción utilizan un filtro de Kalman.

25 La obligación de disponer permanentemente de una medida fiable y disponible de la velocidad y de la "distancia recorrida" del tren en movimiento impone la implementación de un sistema de seguimiento y predicción, por filtrado de Kalman por ejemplo, de un conjunto de nociones extraídas de la imagen, como las zonas de interés que materializan las primitivas verticales pertinentes y ciertas características geométricas de la vía férrea (radio de curvatura, ancho de vía, alineación), cuyo comportamiento es conocido a priori gracias a los modelos y cuya evaluación anterior sigue en memoria (es decir almacenada en una memoria de almacenamiento del dispositivo).

El dispositivo de la invención privilegia modelos sencillos pero muy rápidos de ejecutar y compensa los errores de modelización con un sistema de seguimiento y predicción en la imagen por filtro de Kalman.

30 Un filtro de Kalman permite seguir y predecir un conjunto de nociones extraídas de la imagen, a partir de los bordes de los objetos.

35 De forma clásica, el filtro de Kalman tiene dos fases distintas, a saber una fase de predicción y una fase de puesta al día. La fase de predicción utiliza el estado evaluado del instante anterior para producir una evaluación del estado en curso. En la etapa de puesta al día, las observaciones del instante en curso se utilizan para corregir el estado predicho con el fin de obtener una evaluación más precisa.

La invención es ventajosa por lo que no se necesita transformar las imágenes proporcionadas por la cámara (ahorro de tiempo). Ciertas características de la vía férrea y del vehículo representan elementos bastante estables para explotarse a modo de prerrequisito en la evaluación de la velocidad y de la posición.

40 El dispositivo de la invención interviene en el marco de la seguridad, por mejora de la precisión y de la fiabilidad de las medidas de velocidad y de posición, y por rapidez de ejecución de algoritmos sencillos y resistentes, que no se relacionan con modelos específicos, difíciles de obtener de los fabricantes, sino con modelos cuyos parámetros son genéricos y estables.

45 La invención no necesita que se añadan equipos adicionales a lo largo de la vía para poder evaluar la velocidad y la posición del tren. Utiliza la infraestructura existente bastante rica en informaciones pertinentes. No utiliza ninguna base de datos de mapas de la red ferroviaria, por lo cual es funcional, de forma autónoma, en todas las redes ferroviarias del mundo entero.

50 En un modo de realización de la invención, el dispositivo comprende un sensor de inclinación apto para generar una señal representativa de la inclinación del sistema de captura de imágenes, y medios de rotación de una imagen proporcionada por el correspondiente sistema de captura de imágenes, según un ángulo que depende de la correspondiente señal generada.

Ventajosamente, el correspondiente sensor de inclinación utiliza un filtro de Deriche.

La utilización de una cámara como sensor óptico de medida de velocidad y de posición de un tren requiere la estabilización de las imágenes proporcionadas por la cámara.

- En efecto, cuando el tren se desplaza, experimenta desniveles que llevan la cámara de a bordo a capturar una escena ruidosa, lo que da una secuencia de imágenes calificadas como “temblosas”. Las técnicas actuales de análisis de movimiento en una secuencia de imágenes son sensibles a las perturbaciones exteriores. Así, cuando la trayectoria efectiva del sensor visual es ruidosa, este error de desplazamiento repercute irremediabilmente en las medidas tridimensionales del entorno. Por último, el movimiento detectado consta de un movimiento relativo al tren (movimiento global) que a su vez consta del movimiento propio del tren (egomoción) y de un movimiento calificado de “ruido” (cabeceo y balance).
- El movimiento, calificado de ruido, puede atenuarse o eliminarse directamente a partir de la electrónica de la cámara en los casos de pequeñas amplitudes, y también por compensación a partir de un dispositivo mecánico que sirve de soporte para la cámara en los casos de grandes amplitudes.
- El movimiento propio del tren se determina a partir de métodos de procesamiento de imágenes que utilizan los campos de velocidad relacionados con el entorno. El principio de estos métodos consiste en encontrar, a partir de una secuencia de proyecciones planas de este mismo entorno, cierta coherencia entre la noción de desplazamiento en la imagen y la de movimiento propio del tren (o egomoción).
- En una determinada zona de la imagen previamente definida, el estudio del movimiento se relaciona con la detección de segmentos de rectas de dirección privilegiada, vertical por ejemplo, y de su velocidad.
- Un enfoque consiste en utilizar un filtro de detección de líneas verticales. Para ello, un filtro de Deriche modificado permite determinar el ángulo de rotación de la cámara alrededor de su eje de puntería, llamado ángulo de la imagen con mayor número de píxeles.
- Para asegurarse de que una línea vertical en la imagen corresponda a una arista vertical de un objeto de la escena, sin conocer la posición angular de la cámara en un sistema de referencia inercial absoluto, no se extraen las rectas verticales de la imagen sino aquellas cuya dirección es la más representada en la imagen y asimilada a la dirección de la gravedad. Éstas se extraen previamente según una dirección privilegiada, determinada por un filtro de Deriche modificado que permite calcular el ángulo de la imagen con mayor número de píxeles (es decir el ángulo de la dirección más representada en la imagen) para extraer de la imagen los bordes que tienen la misma dirección que dicho ángulo y suministrar al sistema de la invención la noción de verticalidad y por lo tanto de referencia interna propia.
- Si dicho filtro de Deriche modificado suministra esta información a un dispositivo de derotación de la imagen, una línea vertical en la imagen obtenida tras derotación corresponde entonces a una arista vertical de un objeto de la escena real.
- Así, dicho enfoque permite reconocer y localizar en la imagen las líneas verticales, o casi verticales. Entonces cada una de ellas se inscribe en una zona de interés, de forma rectangular, que proporciona informaciones sobre su longitud, posición y error de verticalidad.
- Así, el dispositivo de la invención proporciona al tren una noción de equilibrio, por una parte por determinación del ángulo de rotación de la imagen con respecto a su propio sistema de referencia, y por otra por amortiguamiento casi natural de ciertas perturbaciones exteriores debidas a terrenos accidentados que impiden, aún hoy día, que el sistema de visión artificial embarcado en un vehículo móvil analice correctamente el movimiento en un entorno natural.
- Dicha solución permite no sólo medir las desestabilizaciones temporales que experimenta la cámara durante el desplazamiento del tren, sin utilizar un sensor de inclinación tipo giroscopio o inclinómetro, sino también distinguir una rotación en la escena de una rotación de la cámara que filma la escena.
- Sin embargo, en una alternativa, dichos sensores de inclinación pueden integrarse en el dispositivo de la invención para responder, por ejemplo, a exigencias de redundancia de información en un marco de seguridad.
- En otros términos, las imágenes de la escena se adquieren y se estabilizan para poder analizar su movimiento aparente. La estabilización de las imágenes proporciona la noción de equilibrio que le falta a la odometría para relacionar cualquier vehículo en circulación con su propio sistema de referencia.
- Preferentemente, el dispositivo utiliza una matriz de interacción que relaciona los movimientos del sistema de captura de imágenes en el espacio real con los movimientos de la correspondiente por lo menos una referencia en las correspondientes imágenes.
- Ventajosamente, el dispositivo comprende medios de calibración del correspondiente sistema de captura de imágenes.
- Esto permite hacer la relación dimensional entre el entorno 3D y el 2D.

El principio de la invención es la adaptación a la industria ferroviaria del servocontrol visual de los robots móviles en un entorno estructurado. Para ello:

5 - el servocontrol visual se asigna no sólo al maquinista del vehículo rodante, cuya principal función es regular la velocidad del vehículo según las indicaciones del pupitre de conducción, sino también al EVC ("European Vital Computer" en inglés, es decir el ordenador de a bordo) que acciona un freno de emergencia cuando se considera que el comportamiento del maquinista es peligroso y que no se ha alcanzado el nivel de seguridad requerido;

- las magnitudes controladas son principalmente la velocidad y la aceleración del vehículo rodante, la dirección de éste siendo impuesta por la curvatura del carril guía;

10 - las imágenes de la escena se adquieren con una cámara única y se estabilizan para poder analizar su movimiento aparente;

- la estabilización de las imágenes proporciona así la noción de equilibrio que la falta a la odometría para relacionar cualquier vehículo en circulación con su propio sistema de referencia.

15 Según un modo de realización particular de la invención, el dispositivo comprende medios de visualización de imágenes digitales del correspondiente entorno proporcionadas por el correspondiente sistema de captura de imágenes.

Ventajosamente, las correspondientes imágenes se visualizan en por lo menos una pantalla LCD, el parabrisas del correspondiente vehículo, o en un espejo transparente situado delante del parabrisas del correspondiente vehículo.

En un modo de realización particular de la invención, el dispositivo comprende medios de entrada de un itinerario dado.

20 Ventajosamente, el dispositivo comprende medios de almacenamiento de por lo menos un mapa de una red de transporte.

Preferentemente, el dispositivo comprende medios de indicación del posicionamiento geográfico del correspondiente vehículo.

25 La invención se refiere asimismo a un proceso de medida de velocidad y/o de posición de un vehículo que se desplaza por un carril guía, tanto de día como de noche, cualesquiera que sean las condiciones climáticas.

Según la invención, dicho proceso comprende las siguientes etapas:

- obtención de una secuencia de imágenes digitales de un entorno del correspondiente vehículo por medio de un sistema de captura de imágenes;

30 - determinación del movimiento aparente de por lo menos una referencia visual, llamada primitiva, entre dos imágenes proporcionadas por el correspondiente sistema de captura de imágenes, para determinar el movimiento aparente de la correspondiente por lo menos una referencia visual, que comprende las siguientes etapas:

–simplificación de las correspondientes imágenes, con la ayuda de por lo menos un modelo del correspondiente entorno, que permite la detección de la correspondiente por lo menos una referencia visual en las imágenes simplificadas;

35 –predicción de una zona de imagen en la que la correspondiente referencia visual se encontrará en una imagen siguiente;

–extracción de una de las correspondientes referencias visuales en la correspondiente zona de imagen;

40 –evaluación de un desplazamiento, por comparación entre la posición real de la correspondiente referencia visual en una imagen en curso y una imagen anterior;

- evaluación de la velocidad y/o de la posición del correspondiente vehículo a partir del correspondiente movimiento aparente de la correspondiente por lo menos una referencia visual.

45 Además, la invención se refiere a un paquete de programas de ordenador descargable desde una red de comunicación y/o almacenado en un soporte legible por ordenador y/o ejecutable por microprocesador, que comprende instrucciones para el código de programación de ejecución del proceso que se ha descrito anteriormente en el dispositivo que se ha descrito anteriormente.

Lista de figuras

Aparecerán más claramente otras características y ventajas de la invención en la descripción realizada a continuación de un modo de realización particular de la invención, dado a modo de simple ejemplo ilustrativo y no limitativo, y en los dibujos adjuntos, entre los que:

- 5 - la figura 1 representa de manera esquemática, en perspectiva, el dispositivo de la invención según un modo de realización;
- la figura 2 representa un diagrama funcional de la implementación del dispositivo de la invención;
- la figura 3 ilustra las diferentes etapas del algoritmo de seguimiento utilizado en el dispositivo de la invención;
- la figura 4 presenta un ejemplo de caracterización de líneas casi verticales en una imagen como aquella utilizada en el dispositivo de la invención;
- 10 - la figura 5 presenta el principio general de medida de velocidad y de "distancia recorrida" (posición) de un tren según la invención;
- la figura 6 ilustra las diferentes etapas de extracción de las líneas casi verticales en una imagen como aquella utilizada en el dispositivo de la invención;
- 15 - la figura 7 ilustra el principio de interacción entre una escena real y la imagen proporcionada por la cámara fotográfica del dispositivo de la invención;
- las figuras 8A a 8E presentan diferentes vistas de las que se derivan los modelos geométricos de un vehículo rodante (figuras 8B-8E) y de un carril guía (figura 8A);
- las figuras 9A a 9C presentan un modelo geométrico de un sistema de cambio de agujas de un carril guía (figuras 9A-9B) y la simulación de la evolución espacial de una locomotora, reducida a un simple segmento de longitud constante entre los bogies, cuando pasa un cambio de curvatura de un carril guía, modelizada por su eje de alineación (figura 9C);
- 20 - las figuras 10A a 10C presentan un modelo geométrico plano del carril guía, visto desde arriba (figura 10A) y en proyección perspectiva con sus asíntotas (figura 10B), y una simulación del desplazamiento de una locomotora (figura 10C);
- 25 - las figuras 11A a 11C ilustran la noción de corredor de navegación que se define por el movimiento aparente en la imagen del extremo inferior de las dos líneas verticales más próximas a la cámara fotográfica del dispositivo de la invención.

#### Descripción detallada de un modo de realización de la invención

30 Se describe a continuación un modo de realización de la invención según el que el vehículo rodante, cuya velocidad y posición se miden por medio del dispositivo (sensor) de la invención, es un tren que se desplaza sobre una vía férrea formada por dos raíles. Claro está que dicho dispositivo puede implementarse en otros tipos de vehículos que se desplacen sobre un carril guía.

35 En el ejemplo que sigue, el dispositivo de la invención mide la velocidad y la posición de un tren a partir de imágenes de la escena situada en la parte anterior del tren obtenidas por medio de una cámara fotográfica.

Sin embargo, en una alternativa, dicha velocidad puede medirse a partir de imágenes de la escena situada en la parte posterior del tren.

#### Principio de la invención

40 El dispositivo de la invención permite medir la velocidad y la "distancia recorrida" de un tren, por referencia interna, en un entorno ferroviario conocido parcialmente a priori, a partir de un sistema de visión monocular embarcado. Para ello, el dispositivo de la invención implementa un procesamiento de imágenes procedentes de una misma secuencia tomada en un entorno estructurado. Extrae de la imagen, en tiempo real o casi real, las primitivas pertinentes de la proyección del carril guía (escena visual), efectúa el seguimiento y calcula el movimiento de desplazamiento en la imagen de estas últimas. El cálculo de la velocidad y de la "distancia recorrida" del vehículo es posible gracias a un

45 conocimiento a priori de algunas magnitudes reales del carril guía (escena real).

El dispositivo se sitúa sobre el pupitre de conducción del vehículo y algunos parámetros, dependiendo del vehículo, se entran antes de empezar cualquier evaluación de velocidad y de posición (se habla clásicamente de dispositivo "put, plug and play" en inglés).

La utilización del dispositivo de la invención en un vehículo rodante permite aumentar de manera significativa la seguridad ferroviaria por:

- mejora de la precisión y de la fiabilidad de las medidas de velocidad y de posición, y
- rapidez de ejecución de algoritmos sencillos y resistentes, que no se relacionan con modelos específicos, difíciles de obtener de los fabricantes, sino con modelos cuyos parámetros son genéricos y estables.

El dispositivo de la invención responde perfectamente a un enfoque medioambiental y de reducción de costes gracias a un importante ahorro del número de equipos que suelen situarse en los raíles, para paliar desviaciones de medidas de los instrumentos de a bordo actuales mediante ajustes periódicos.

Sensor de medida de velocidad y de posición

10 Como lo ilustra la figura 1, el dispositivo-sensor 100 de la invención se presenta en forma de caja compacta que comprende una tapa de caja 1, un panel de fondo 2 y un dispositivo amovible de autocalibración 9.

La tapa 1 está dotada en una de sus caras de un visualizador, del tipo LCD por ejemplo, que permite al maquinista visualizar la velocidad del tren conforme el dispositivo de la invención va midiendo dicha velocidad.

15 El dispositivo amovible de autocalibración 9 comprende dos tirantes amovibles 10 y 11, sensiblemente paralelos y atravesados por una varilla o tornillo sinfín 12 accionado por un motor 13.

En el panel de fondo 2 se montan respectivamente una cámara 4 antivibración y antideslumbramiento por medio de un panel de fijación 3, una tarjeta de preprocesamiento 5 (filtros, etiquetas, ...), una tarjeta de adquisición de imágenes 6 ("grabber" en inglés), un ordenador 7 (para el procesamiento de las imágenes) y una tarjeta entrada/salida (E/S) compatible ERTMS/ETCS.

20 El sensor 100 se sitúa en cualquier sitio sobre el pupitre de conducción, frente al parabrisas de la cabina de conducción de la locomotora, de la manera más estable posible, y la cámara 4 se orienta hacia el exterior, en dirección a la vía férrea.

25 Como se ve más detalladamente a continuación, el sensor 100 está destinado a medir la velocidad y la "distancia recorrida" por simple análisis de la trayectoria del vehículo y del desplazamiento en la imagen de los objetos situados a lo largo de la vía.

Para ello, el diagrama funcional, ilustrado en la figura 2, divide el sensor 100 en un sistema de visión SV y un sistema de seguimiento SS que, conectado cada uno al ordenador 7, procesan las informaciones extraídas de las imágenes capturadas por la cámara 4.

30 El sistema de visión SV comprende una tarjeta de adquisición 6 (o grabber) de imágenes capturadas por la cámara 4, que puede ser una cámara CCD ("charge-coupled device" en inglés o "dispositivo de carga acoplada" en español) por ejemplo. No se excluye la posibilidad de almacenar estas imágenes en una memoria de almacenamiento (no representada) conectada al ordenador 7, pero el carácter iterativo del proceso de la invención necesita guardar en memoria dos imágenes sucesivas únicamente, llamadas "imagen en curso" e "imagen anterior", libres de cualquier información no pertinente.

35 El sensor 100 es totalmente autónomo debido a que integra un sistema de seguimiento SS apto para detectar y corregir eventuales errores de seguimiento de vía y de objetos situados a lo largo de la vía, dichos errores viniendo de la sencillez voluntariamente determinada de los modelos utilizados para la evaluación de velocidad y de posición del tren. En una alternativa, el sistema de seguimiento SS puede sustituir total o parcialmente al maquinista al integrar un sistema de control SC del tren 200.

40 En este ejemplo, ilustrado en la figura 5, el ordenador 7 del sensor 100 implementa algoritmos procedentes de modelos genéricos de la pareja tren-cámara y del entorno ferroviario, y por último de elementos dinámicos del conjunto vía/tren como los datos relativos a la tarea a ejecutar (rodar sobre la vía férrea en este caso). Cuando está en funcionamiento, el ordenador 7 recibe, directa o indirectamente, informaciones sobre el estado en curso del tren 200 (informaciones propioceptivas) y de la vía férrea (informaciones exteroceptivas). Sólo difieren los parámetros que caracterizan el tren 200 en particular, la cámara 4 y el entorno ferroviario en el que circula el tren 200.

45 En ausencia de sensores propioceptivos, el estado del tren se deduce del análisis del movimiento de desplazamiento en la imagen del entorno ferroviario (vía, postes a lo largo de la vía, etc.).

50 A partir de estos parámetros almacenados en una memoria de almacenamiento y de las informaciones sobre el estado en curso del tren 200 y del entorno ferroviario, proporcionadas por el sistema de visión SV y, en una alternativa, por el sistema de control SC, el ordenador 7 procesa las imágenes, procedentes de la cámara 4 y del sistema de visión SV, y determina la velocidad y la "distancia recorrida" del tren 200 con la ayuda del sistema de seguimiento SS.

Los modelos (o representaciones) que se utilizan para la evaluación de velocidad y de “distancia recorrida” según el principio de la invención, y detallados a continuación, precisan hipótesis simplificadoras que se pueden clasificar en dos categorías:

- 5 - conocimiento a priori de la escena (elementos constantes): distancia de 1,435 m en una vía normal en Bélgica, verticalidad privilegiada debido a la gravedad en una escena estructurada, número constante de imágenes a procesar por segundo;
- comportamiento previsto del tren (elementos delimitados): curvas con grandes radios de curvatura localmente constantes, vía férrea localmente plana, pequeños movimientos de balance y de cabeceo del tren.

10 Modelo geométrico del vehículo

El modelo del vehículo es específico del tren en el que está montado el dispositivo sensor de la invención (figuras 8B a 8E). La locomotora puede representarse sencillamente en el plano, según un modelo alámbrico, por un segmento que une el centro de rotación de sus dos bogies. En efecto, la locomotora es un vehículo guiado por los raíles de rodadura de la vía férrea y su configuración espacial depende pues de su posición en la red. El ángulo de dirección del vehículo con respecto a la tangente a la curva de alineación de la vía depende de la distancia real entre sus bogies. Durante todo su recorrido por la vía, los bogies son, por hipótesis, siempre perpendiculares a la tangente del hilo de los raíles. El centro de rotación de cada uno de los dos bogies, situado en la misma mediana longitudinal de la locomotora, describe aproximadamente, uno tras otro, la misma curva de alineación situada a igual distancia entre ambos raíles de la vía férrea.

20 La cámara se sitúa sobre el pupitre de conducción de la cabina de conducción, dirigida hacia el exterior, delante del bogie de cabeza, en la prolongación del segmento que modeliza la locomotora. Se supone que su posición y su dirección no evolucionan, o muy poco, dentro del sistema de referencia relacionado con la locomotora.

25 La operación de calibración, que viene a ser la descripción del procedimiento de formación de las imágenes tomadas por la cámara, se efectúa por medio del modelo estenopéico, que es el más sencillo y más utilizado para el procesamiento de imágenes.

La proyección perspectiva del modelo 3D de la vía férrea deforma este último de modo que sus asíntotas converjan en el plano imagen hacia un solo punto llamado “punto de fuga”.

La extracción de este punto permite obtener la actitud de la locomotora en el espacio real.

30 Además, la altura de la cámara depende de la de la locomotora y del pupitre de conducción. Es posible librarse parcialmente de esta dependencia de conocimiento a priori, especialmente de la posición de la cámara en la cabina de la locomotora, gracias a una calibración automática de la cámara por medio del dispositivo de autocalibración 9 (visible en la figura 1).

35 Sin embargo, se tendrán que configurar determinados parámetros dimensionales, incluso de comportamiento, del tren para configurar el sistema, como por ejemplo la distancia entre los bogies y la aceleración/desaceleración máxima del tren.

Modelo geométrico de la cámara

40 La cámara se modeliza a partir de hipótesis simplificadoras que se describen como sigue. Los parámetros intrínsecos de la cámara son constantes. El ángulo de inclinación  $\alpha$  de la cámara es pequeño ( $<10^\circ$ ). El ángulo de desviación horizontal  $\psi$  con respecto a la dirección principal de la vía es pequeño ( $<10^\circ$ ). El ángulo de rotación  $\theta$  de la cámara con respecto a su eje de puntería corresponde al ángulo de la imagen con mayor número de píxeles, calculado por filtro de Deriche modificado, como se indica a continuación. La altura  $z_0$  de la cámara es constante.

Modelo geométrico de la vía (figura 8A)

45 El correspondiente carril guía en medio ferroviario tiene características que permiten emitir ciertas hipótesis, especialmente sobre su infraestructura, debido a la velocidad de los trenes. La vía férrea es localmente plana y su curvatura  $C$  localmente constante. El ancho  $e$  de la vía férrea es constante y conocido (corresponde a la distancia entre los dos raíles). Los raíles son líneas continuas con un ancho  $L$  constante y conocido. El cambio de vía sigue una curva de transición, llamada curva de servidumbre en espiral (espiral de Cornu o clotoide), para reducir los efectos de fuerza centrífuga que podrían experimentar los pasajeros. La perspectiva frontal hace que las aristas horizontales y verticales sean paralelas entre sí. Las características geométricas de los postes de una misma serie a lo largo de las vías son constantes (distancia entre dos postes consecutivos, distancia con respecto a la vía, ancho, altura, forma).

Modelo del entorno ferroviario

El conocimiento a priori de la escena en medio ferroviario, por país atravesado, impone la entrada de ciertos parámetros, como la distancia entre raíles, para configurar el dispositivo de la invención.

Cálculo de la velocidad y de la distancia recorrida por el tren por reconocimiento y localización de referencias visuales.

5 Como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo de la invención implementa un sistema de visión que comprende una cámara vídeo cuyo modo de percepción se parece más al modelo humano en términos de visión, de equilibrio, de interpretación de escena, de análisis de movimiento en la imagen y de toma de decisión, pero con límites de funcionamiento definidos por la tecnología existente en el mercado. La interpretación de los datos que proporciona la cámara vídeo resulta muy simplificada con respecto a las soluciones que utilizan uno o varios  
10 sensores de odometría.

Para imágenes de escena adquiridas en un entorno estructurado, ferroviario en este caso, las rectas verticales que se extraen son frecuentes y constituyen características cuyas propiedades se conservan durante toda una misma secuencia. En un modo de realización particular, la puesta en correspondencia de dichas rectas verticales puede realizarse por ejemplo mediante un método basado en la correlación (que permite establecer de forma conocida una  
15 puesta en correspondencia entre puntos o zonas de interés extraídos de dos imágenes sucesivas).

Para asegurarse de que una línea vertical en la imagen corresponda a una arista vertical de un objeto de la escena, sin conocer la posición angular de la cámara en un sistema de referencia inercial absoluto, no se extraen las rectas verticales de la imagen sino aquellas cuya dirección es la más representada en la imagen y asimilada a la dirección de la gravedad.

20 El dispositivo de la invención utiliza entonces un filtro de detección de la dirección más representada en la imagen, en forma de filtro de Deriche modificado, en el que sólo se guardan los bordes que tienen el mismo gradiente direccional. Así, algunas de las características, o primitivas, en movimiento en la imagen, materializadas en zonas de interés particulares, son segmentos de rectas previamente extraídos según una dirección privilegiada, determinada por un filtro de Deriche modificado, cuyas funciones iniciales son la evaluación del gradiente y la extracción de  
25 bordes.

La modificación de dicho filtro permitió no sólo extraer de la imagen los bordes de los objetos verticales que constituyen la escena, sino también calcular el ángulo de la imagen con mayor número de píxeles. El valor de dicho ángulo se comunica a un sistema hardware o software de rotación de imagen para estabilizar esta última por derotación, y suministrar al dispositivo de la invención, y por lo tanto al tren, una referencia interna propia en base a  
30 la hipótesis de verticalidad.

En otros términos, el filtro de Deriche modificado permite extraer los píxeles cuya dirección de gradiente es la más frecuente en la imagen, y utilizar dicha propiedad para garantizar la estabilidad de la imagen ante las perturbaciones mecánicas rotacionales a las que se expone la cámara.

35 Es de notar que la extracción de primitivas pertinentes recurre a una etapa de paso de una imagen en escala de grises a una imagen binaria (negro y blanco) que ya sólo consta de los bordes. La complejidad de los algoritmos con respecto a los que procesan imágenes brutas resulta muy simplificada.

En una alternativa, la fase de derotación, que endereza la imagen según un ángulo calculado a partir del filtro de Deriche modificado, precede a la fase que extrae directamente de los bordes verticales elementos de la imagen.

40 Esta solución se utiliza preferentemente en el dispositivo de la invención, de modo que una línea vertical en la escena visual (imagen) corresponda a una línea vertical en la escena real (vía férrea).

De admitir esta hipótesis, zonas de interés materializan rectas verticales a partir de los bordes extraídos previamente de la imagen (figura 4). Para ello, una fase de reconocimiento y de localización habrá de suceder a la de extracción para atribuir cada punto guardado a su respectiva recta.

45 Un método consiste en utilizar una máscara de convolución de tipo Prewitt (de aproximación del gradiente en x) para evidenciar los bordes verticales presentes en la imagen (figura 6). A dicha convolución le sucede una umbralización, el valor del umbral siendo por ejemplo de 20, y una binarización en la que los puntos conservados tienen una escala de grises igual a 255.

50 El resultado obtenido es un estado aproximado de las componentes verticales de la imagen de la escena y no únicamente de los bordes. Una etapa intermedia consiste en guardar únicamente ciertos puntos, agrupados en columnas, con un ancho igual a un píxel, en series no interrumpidas de más de 10 píxeles. Esta etapa intermedia permite eliminar los puntos aislados y las secuencias de puntos demasiado cortas. Estas alineaciones de puntos a su vez se agrupan, se pegan las unas a las otras, para finalmente incorporarse a estructuras delimitadas en ancho y en altura.

Esta limitación espacial se representa por un rectángulo con una dirección vertical y una posición determinada por las coordenadas en la imagen de la esquina superior izquierda. Tras distinguir las líneas verticales las unas de las otras, el programa de localización conserva únicamente las que cumplen los siguientes criterios:

- altura suficiente ( $h > 10$  píxeles);
- 5 - inclinación límite que no se debe rebasar ( $|d| < 0$  o igual a 2 píxeles).

#### Detección de los raíles de la vía

La elección del modelo del carril guía, el principio de proyección perspectiva de éste en la imagen, el contraste de las líneas continuas formadas por los raíles en la imagen y por último las exigencias de tiempo real en la propia aplicación de la invención, hacen que un método eficaz y rápido de detección de los raíles consista en no utilizar como zonas de procesamiento, zonas de interés poligonales, como ocurre para la extracción de las características verticales mencionada más arriba, sino simples líneas horizontales cuyo número y disposición en la imagen se definan, y se ajusten a cada iteración, de acuerdo con determinados criterios, como la velocidad medida del tren, la calidad de las informaciones de la imagen (entropía), la diferencia de altura entre el punto de fuga de la vía y la línea de horizonte en la imagen, la curvatura medida de la vía, etc.

Este proceso de procesamiento de la señal es perfectamente adecuado para las necesidades de detección rápida en comparación con los métodos más tradicionales, habida cuenta de la muy pequeña cantidad de píxeles a procesar. Se basa en el principio de que, en una misma secuencia de imágenes en un contexto ferroviario, la dispersión de las escalas de grises de la vía (desviación típica) sea supuestamente la misma al lado y de una y otra parte de los raíles en todas las líneas horizontales de detección.

Por lo cual, basta con determinar la desviación típica de la función de distribución en escala de grises en la línea de detección más representativa (la más próxima a la cámara, es decir la más baja en la imagen). Luego, en cada una de las líneas horizontales de detección, la función de distribución se alisa por filtrado gaussiano y se reduce únicamente a los puntos cuyo valor rebasa cierto umbral adaptativo, definido por la mediana de la función de distribución a la que se añade el valor de la desviación típica anteriormente calculada.

Esta técnica, conocida en el marco del procesamiento de imágenes, permite librarse de manera sencilla y fiable de las variaciones de iluminación que puedan suceder en una misma imagen.

Así, el gradiente de la función de distribución resultante determina los bordes izquierdo y derecho de la huella dejada por cada uno de los raíles de la vía.

30 En una alternativa, puede considerarse perfectamente la delimitación espacial de la función de distribución en escala de grises al lado de la vía, de modo que la línea horizontal de detección se reduzca a un simple segmento. Es posible atribuir asimismo un segmento de detección distinto a cada raíl, por línea horizontal de detección, cuando por ejemplo la calidad de la imagen se degrade provocando una pérdida parcial de la información.

#### Flujo óptico

35 A cada adquisición de imagen, las referencias visuales útiles se reconocen y localizan, y se ponen en correspondencia después con su homólogo de la imagen anterior de una misma secuencia, para evaluar su movimiento aparente en la imagen, o flujo óptico.

40 El flujo óptico, es decir el campo de las velocidades instantáneas de las escalas de grises en la imagen (o campo de movimiento) es una representación 2D de un movimiento 3D. A cada punto de dicha representación se atribuye un vector velocidad correspondiente a una dirección de movimiento, una velocidad del movimiento y una profundidad.

45 En vez de calcular el flujo óptico por medio de los cambios temporales de intensidad de la imagen, es posible considerar asimismo los cambios temporales de valores que son el resultado de operadores locales diversos como el contraste, la entropía, la mediana y las derivadas espaciales de la intensidad de la imagen. En cada caso, se evalúa un campo de flujo óptico relativamente denso, determinando así el campo de movimiento, de ser necesario en cada píxel de la imagen. Pero el flujo óptico no corresponde nunca al verdadero campo de movimiento porque los cambios de iluminación, principal fuente de error, repercuten en el cálculo.

Así, para determinar los parámetros de movimiento 3D de los objetos en la escena, el flujo óptico se usa conjuntamente con exigencias adicionales o una información relativa a la escena.

#### Modelo lineal de proyección perspectiva de la vía

50 En la relación de dualidad existente entre la escena real y la imagen (escena visual), la asociación de los modelos locomotora-cámara (figura 7) permite identificar las coordenadas del centro de proyección y del centro del plano imagen en el sistema de referencia absoluto. Las coordenadas de la proyección en el plano imagen de un punto

cualquiera de la escena relacionado con la cámara se expresan en el sistema de referencia absoluto y en la referencia relacionada con la cámara.

5 La dificultad radica en la modelización de la escena y la expresión de la matriz de interacción, que exprime la relación entre las variaciones de las informaciones visuales en la imagen y los movimientos de la cámara en el espacio real.

De forma general, la modelización adoptada utiliza un formalismo muy sencillo que implementa únicamente los parámetros dinámicos del conjunto vía/vehículo que intervengan de forma lineal en el espacio del plano imagen.

10 El seguimiento por filtrado de Kalman de los parámetros que caracterizan la proyección simplificada de los raíles izquierdo y derecho permite la evaluación simultánea de la velocidad de desplazamiento de los objetos pertinentes situados a lo largo de la vía férrea.

Por último, la velocidad y la “distancia recorrida” del tren se calculan por proyección perspectiva inversa, que permite la reconstrucción tridimensional de un modelo de vía férrea simplificado, habida cuenta del conocimiento a priori de los valores reales de ciertas magnitudes geométricas características del conjunto vía/vehículo y específicas del país y del vehículo (distancia entre raíles, longitud del vehículo).

15 Habida cuenta de estas hipótesis, los parámetros aptos para la modelización de la evolución lineal del conjunto vía-vehículo son por ejemplo:

- C: curvatura local de la vía férrea;
- $\psi$ : ángulo de desviación horizontal del eje óptico con respecto a la dirección principal de la vía férrea;
- $x_0$ : abscisa del centro de proyección de la cámara con respecto a la curva de alineación de la vía férrea.

20 Dichos parámetros así como la velocidad y la “distancia recorrida” del tren se calculan y se reactualizan muy sencillamente a cada detección de raíl en la imagen.

Algoritmo de seguimiento de la vía férrea

a) Control del movimiento basado en la información visual

25 Para un itinerario dado, un tren en movimiento se desplaza según una dirección definida por el cambio de agujas de los raíles de vía férrea, mientras que su velocidad y su aceleración son controlados por el maquinista que asegura la conducción, con la intervención del ETCS para lo que atañe a la seguridad (freno de emergencia).

Según la invención, el control del movimiento del sistema de visión que equipa la locomotora se realiza por adaptación a la industria ferroviaria de un algoritmo de servocontrol visual en un entorno estructurado.

30 Entre dos adquisiciones de imágenes consecutivas de la cámara, al igual que las medidas de sensores tradicionalmente utilizadas en un contexto ferroviario, el vehículo se desplaza a ciegas de un punto a otro (estructura Look-and-Move). En cambio, las instrucciones dejan de expresarse en forma de situación entre el sensor (en este caso la cámara) y la escena, como ocurre para los algoritmos de análisis de escena donde la posición, la velocidad y la aceleración son nociones de situaciones representadas en un sistema de referencia absoluto, sino en forma de un motivo que se tiene que alcanzar en la imagen. En ese tipo de algoritmo utilizado por la invención, las informaciones visuales elegidas para constituir este motivo tienen que lograr los valores que corresponden a una buena realización de la tarea atribuida al vehículo.

40 Los trabajos que desembocaron en este formalismo contienen bucles de seguimiento que utilizan informaciones visuales, procedentes de las características de imagen más sencillas (puntos, segmentos de rectas). Este enfoque permite librarse totalmente de la fase de interpretación (es decir de reconstrucción del modelo 3D de la escena) y disminuir considerablemente el tiempo de cálculo puesto que las informaciones extraídas de la imagen se utilizan directamente en el bucle de seguimiento. Esto elimina también los errores de evaluación de la situación y los complicados cálculos. Utilizan características (geometría, topología) de ciertas zonas de la escena que permanecen esencialmente estables durante toda la evolución del vehículo.

45 La obligación de disponer permanentemente de una medida fiable y disponible de la velocidad y de la “distancia recorrida” del tren en movimiento lleva a implementar un sistema de seguimiento y predicción, por filtrado de Kalman, de un conjunto de nociones, tales como las zonas de interés y ciertas características geométricas de la vía férrea (radio de curvatura, ancho de vía, alineación), cuyo comportamiento es conocido a priori mediante los modelos y cuya evaluación anterior sigue en memoria.

b) Seguimiento de la vía férrea

50 Así, el enfoque que se basa en el principio de la figura 3 comprende una etapa E1 de inicialización del modelo, una etapa E2 de predicción, por el modelo, de la posición de las zonas de detección, una etapa E3 de detección del raíl

en cada una de las zonas y una etapa E4 de actualización de los parámetros del modelo de acuerdo con la posición de los tramos de raíl detectados.

La inicialización (E1) permite fijar a priori los parámetros del modelo.

5 La fase de predicción (E2) permite posicionar las zonas de interés de la imagen donde se detectarán los raíles y objetos a lo largo de la vía. Esta operación se realiza gracias al modelo del conjunto vía/vehículo calculado durante la iteración anterior.

10 Cuando se conoce la curvatura de la vía, es fácil predecir la posición de los raíles y de los objetos en la imagen. Al fijar una zona de búsqueda bastante amplia alrededor de dicha posición, teniendo en cuenta los errores de modelización debidos a las aproximaciones y la velocidad calculada durante la iteración anterior, podrá detectarse la presencia del raíl y la de un objeto.

La búsqueda en una zona de interés de la imagen (es decir una porción de la imagen) de una o varias referencias representativas de por lo menos una característica geométrica del carril guía y/o de por lo menos un objeto situado a lo largo del carril guía, permite simplificar el procesamiento.

15 La fase de detección (E3) es la que permite la localización de los raíles y de los objetos en las zonas predichas. Los raíles se pueden detectar mediante métodos clásicos a partir de zonas de interés de formas poligonales o lineales, o en toda la imagen, por extracción de sus bordes (segmentación de los bordes) o de la estructura de la vía (segmentación de la zona según criterio de textura) y después mediante comparación con un modelo bidimensional de vía.

20 Puesto que los raíles que han de detectarse son de naturaleza peculiar (continuos, bastante contrastados y ocupando más de la mitad de la imagen), la aplicación del tiempo real impone el hecho de efectuar detecciones a partir de simples líneas horizontales distantes en la imagen. Un método consiste en utilizar un pequeño número de líneas de detección elegidas de acuerdo con la velocidad medida.

La actualización de los parámetros del modelo (E4) se efectúa, a partir de las medidas anteriores, por filtro de Kalman (minimización a los mínimos cuadrados).

25 En otros términos, el dispositivo de la invención privilegia modelos sencillos pero muy rápidos de ejecutar y compensa los errores de modelización por un sistema de seguimiento y predicción en la imagen mediante filtro de Kalman (un filtro de Kalman permite seguir y predecir un conjunto de nociones extraídas de la imagen, a partir de los bordes de los objetos). El filtro de Kalman tiene dos fases distintas, a saber una fase de predicción (E2) y una fase de puesta al día (E4). La fase de predicción utiliza el estado evaluado del instante anterior para producir una evaluación del estado en curso. En la etapa de puesta al día, las observaciones del instante en curso se utilizan para corregir el estado predicho con el fin de obtener una evaluación más precisa.

30 Movimiento aparente en la imagen (Corredor de navegación)

La infraestructura situada a cada lado de los raíles, a lo largo de la vía sobre la que circula la locomotora, se representa por líneas verticales (figura 11A). Un corredor de navegación se define por el movimiento aparente en la imagen del extremo inferior de las dos líneas verticales más próximas a la cámara (figura 11B).

En el caso del ferrocarril, el corredor de navegación resulta directamente del modelo preexistente de la vía férrea y se proyecta en el plano imagen de la cámara montada en la locomotora en movimiento.

40 La interpretación de la información proporcionada por los dos vectores de desplazamiento en la imagen plantea un problema cuando estos últimos tienen una pendiente de mismo signo. En efecto, en tal caso, un breve análisis no permite determinar precisamente si estos dos vectores representan efectivamente el movimiento aparente de objetos (postes) pertenecientes a bordes opuestos de la vía férrea. Por lo cual, en caso de ambigüedad (figura 11C), es preferible tomar en cuenta únicamente la línea vertical más próxima a la cámara para representar el corredor de navegación.

Otros aspectos y variantes

45 En un modo de realización de la invención, el dispositivo de la invención utiliza un módulo de visualización de uno o varios elementos estructurales del entorno en el que se desplaza el vehículo, y que sirvieron para el cálculo de la velocidad y de la distancia recorrida del vehículo que se desplaza sobre un carril guía.

Dicho módulo de visualización es por ejemplo una pantalla LCD, que está particularmente adaptada a las actividades de vigilancia del entorno.

50 En una variante, la imagen del conjunto de objetos virtuales puede proyectarse o incrustarse en el parabrisas del vehículo o en un espejo transparente situado delante del parabrisas (se habla de pantalla de visualización frontal o

de visualizador de cabeza alta) para constituir una ayuda a la conducción, a las condiciones particulares de visibilidad, de velocidad, de tráfico en la red, etc.

5 En otros términos, el módulo de visualización permite visualizar elementos pertinentes extraídos directamente de la escena así como elementos adicionales procedentes de procesamientos de los elementos pertinentes, y constituye por ejemplo una ayuda a la conducción (es decir que le permite al maquinista tomar decisiones). Dichos elementos adicionales proporcionan al maquinista informaciones sobre el entorno que se desplaza delante de él. Estas informaciones pueden ser geométricas, como por ejemplo rectas y curvas uniendo dos objetos diferentes en la imagen, y/o digitales, como por ejemplo datos como el valor de la velocidad y/o de la posición del vehículo (estos elementos pueden visualizarse eventualmente cuando el maquinista pulsa un botón), y/o de cualquier otra naturaleza.

10 Es de notar que el principio de la invención no se aplica únicamente a los vehículos rodantes sobre un carril guía sino más generalmente a los vehículos que se desplazan por un carril guía (tren de levitación magnética por ejemplo).

15 Por otra parte, el principio de la invención descrito en el modo de realización anterior se aplica asimismo cuando el sistema de captura no es una cámara fotográfica sino una cámara térmica, una cámara magnética, o de cualquier otro tipo.

20 Es de notar que el principio de procesamiento de la información visual por el dispositivo de la invención tal como se ha descrito anteriormente ya no puede utilizarse para medir la velocidad y la distancia recorrida por un vehículo móvil que se desplaza sobre un carril guía, sino para posicionar un vehículo móvil en cualquier momento en cualquier red de transporte vial, ferroviario o fluvial, en la medida en que ésta esté estructurada y sea conocida a priori mediante mapas y posea in-situ indicaciones de localización y dirección de todo tipo (hitos, sistemas de señalización, etc.).

25 En un modo de realización particular, esta aplicación del dispositivo de la invención permite una navegación por itinerario cuyos puntos de paso sucesivos son sistemas de referencia locales (o relativos) donde el vehículo se desplaza y se localiza. Una vez pasado un punto de paso "k", un nuevo punto de paso "k+1" toma el relevo y constituye el nuevo objetivo a alcanzar.

30 Esta solución de posicionamiento constituye una alternativa al sistema GPS que presenta numerosos inconvenientes. En efecto, el cálculo del posicionamiento por medio del sistema GPS depende permanentemente de la calidad de recepción de las señales satelitales que pueden interrumpirse o ser perturbadas por una causa exterior de mala recepción (túnel, corredor, relieve, interferencias, tormenta, fuerte humedad), por perturbaciones radioeléctricas voluntarias o no, por una maniobra durante la que la recepción está temporalmente suspendida, por la alineación momentánea de algunos satélites que impide el cálculo preciso (incertidumbre geométrica temporal), o por un incidente en un satélite.

35 Ventajosamente, esta aplicación particular del dispositivo de la invención constituye un sistema autónomo de planificación de itinerarios y de navegación en una red de transporte estructurada conocida y cartografiada a priori. Este sistema calcula la localización del vehículo en el que está embarcado según los mismos principios hardware y software que el dispositivo de la invención tal como se ha descrito anteriormente, con respecto a características y referencias físicas que, además de su posición en la red de transporte, contienen informaciones sobre la dirección a seguir, la topología del recorrido o el comportamiento a adoptar (sentido de la curva, limitación de velocidad, semáforo).

40 Esta aplicación se inspira del lenguaje adoptado por los copilotos de rallye en base a mapas conocidos a priori, para un itinerario dado. Su utilización puede comprender un servicio de puesta al día de mapas de redes de transporte y un servicio de planificación cartográfica de recorrido incluyendo informaciones en tiempo real sobre el tráfico.

45 Esta aplicación implementa preferentemente un módulo de visualización, como aquello que se ha descrito anteriormente, y una señal sonora que da indicaciones al usuario sobre una dirección que se tiene que seguir o una velocidad que no se tiene que rebasar por ejemplo.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (100) de medida de velocidad y/o de posición de un vehículo (200) que se desplaza por un carril guía, tanto de día como de noche, cualesquiera que sean las condiciones climáticas, que comprende:
- por lo menos un sistema de captura de imágenes (4) que proporciona una secuencia de imágenes digitales de un entorno del correspondiente vehículo (200);
- 5 - medios de determinación del movimiento aparente de por lo menos una referencia visual, llamada primitiva, entre dos imágenes proporcionadas por el correspondiente sistema de captura de imágenes (4), para determinar el movimiento aparente de la correspondiente por lo menos una referencia visual;
- medios de evaluación de la velocidad y/o de la posición del correspondiente vehículo (200) a partir del correspondiente movimiento aparente de la correspondiente por lo menos una referencia visual;
- 10 caracterizado por lo que los correspondientes medios de determinación implementan:
- medios de simplificación de las correspondientes imágenes, con la ayuda de por lo menos un modelo del correspondiente entorno, que permite la detección de la correspondiente por lo menos una referencia visual en las imágenes simplificadas;
  - medios de predicción de una zona de imagen en la que la correspondiente referencia visual se encontrará en una imagen siguiente;
  - medios de extracción de una de las correspondientes referencias visuales en la correspondiente zona de imagen;
  - medios de evaluación de un desplazamiento, por comparación entre la posición real de la correspondiente referencia visual en una imagen en curso y una imagen anterior.
- 20 2. Dispositivo (100) según la reivindicación 1, caracterizado por lo que el correspondiente por lo menos un sistema de captura de imágenes (4) pertenece al grupo que comprende, en particular:
- las cámaras fotográficas;
  - las cámaras térmicas;
  - las cámaras magnéticas.
- 25 3. Dispositivo (100) según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por lo que la correspondiente por lo menos una referencia es representativa de por lo menos una característica geométrica del correspondiente carril guía, como el radio de curvatura, la distancia entre los raíles de la vía, la alineación.
4. Dispositivo (100) según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por lo que la correspondiente por lo menos una referencia es representativa de por lo menos una característica geométrica de por lo menos un objeto
- 30 situado a lo largo del carril guía, como la verticalidad de los postes.
5. Dispositivo (100) según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por lo que implementa un modelo del correspondiente vehículo (200) y un modelo del correspondiente sistema de captura de imágenes (4).
6. Dispositivo (100) según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por lo que los medios de seguimiento y predicción utilizan un filtro de Kalman.
- 35 7. Dispositivo (100) según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por lo que comprende un sensor de inclinación apto para generar una señal representativa de la inclinación del correspondiente sistema de captura de imágenes (4), y medios de rotación de una imagen proporcionada por el correspondiente sistema de captura de imágenes (4), según un ángulo que depende de la correspondiente señal generada.
- 40 8. Dispositivo (100) según la reivindicación 7, caracterizado por lo que el correspondiente sensor de inclinación utiliza un filtro de Deriche.
9. Dispositivo (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por lo que utiliza una matriz de interacción que relaciona los movimientos del sistema de captura de imágenes (4) en el espacio real con los movimientos de la correspondiente por lo menos una referencia en las correspondientes imágenes.
- 45 10. Dispositivo (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por lo que comprende medios de calibración del correspondiente sistema de captura de imágenes (4).

11. Dispositivo (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por lo que comprende medios de visualización de imágenes digitales del correspondiente entorno proporcionadas por el correspondiente sistema de captura de imágenes (4).
- 5 12. Dispositivo (100) según la reivindicación 11, caracterizado por lo que las correspondientes imágenes se visualizan en por lo menos una pantalla LCD, el parabrisas del correspondiente vehículo, o en un espejo transparente situado delante del parabrisas del correspondiente vehículo.
13. Dispositivo (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por lo que comprende medios de entrada de un itinerario dado.
- 10 14. Dispositivo (100) según la reivindicación 13, caracterizado por lo que comprende medios de almacenamiento de por lo menos un mapa de una red de transporte.
15. Dispositivo (100) según la reivindicación 13 o 14, caracterizado por lo que comprende medios de indicación del posicionamiento geográfico del correspondiente vehículo (200).
16. Proceso de medida de velocidad y/o de posición de un vehículo (200) que se desplaza por un carril guía, tanto de día como de noche, cualesquiera que sean las condiciones climáticas, que comprende las siguientes etapas:
- 15 - obtención de una secuencia de imágenes digitales de un entorno del correspondiente vehículo por medio de un sistema de captura de imágenes (4);
- determinación del movimiento aparente de por lo menos una referencia visual, llamada primitiva, entre dos imágenes proporcionadas por el correspondiente sistema de captura de imágenes (4), para determinar el movimiento aparente de la correspondiente por lo menos una referencia visual;
- 20 - evaluación de la velocidad y/o de la posición del correspondiente vehículo a partir del correspondiente movimiento aparente de la correspondiente por lo menos una referencia visual;
- caracterizado por lo que las etapas de determinación del movimiento comprenden las siguientes etapas:
- 25 -simplificación de las correspondientes imágenes, con la ayuda de por lo menos un modelo del correspondiente entorno, que permite la detección de la correspondiente por lo menos una referencia visual en las imágenes simplificadas;
- predicción de una zona de imagen en la que la correspondiente referencia visual se encontrará en una imagen siguiente;
- extracción de una de las correspondientes referencias visuales en la correspondiente zona de imagen;
- 30 -evaluación de un desplazamiento, por comparación entre la posición real de la correspondiente referencia visual en una imagen en curso y una imagen anterior.
17. Paquete de programas de ordenador descargable desde una red de comunicación y/o almacenado en un soporte legible por ordenador y/o ejecutable por microprocesador, caracterizado por lo que comprende instrucciones para el código de programación de ejecución del proceso según la reivindicación 16 en el dispositivo (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15.
- 35

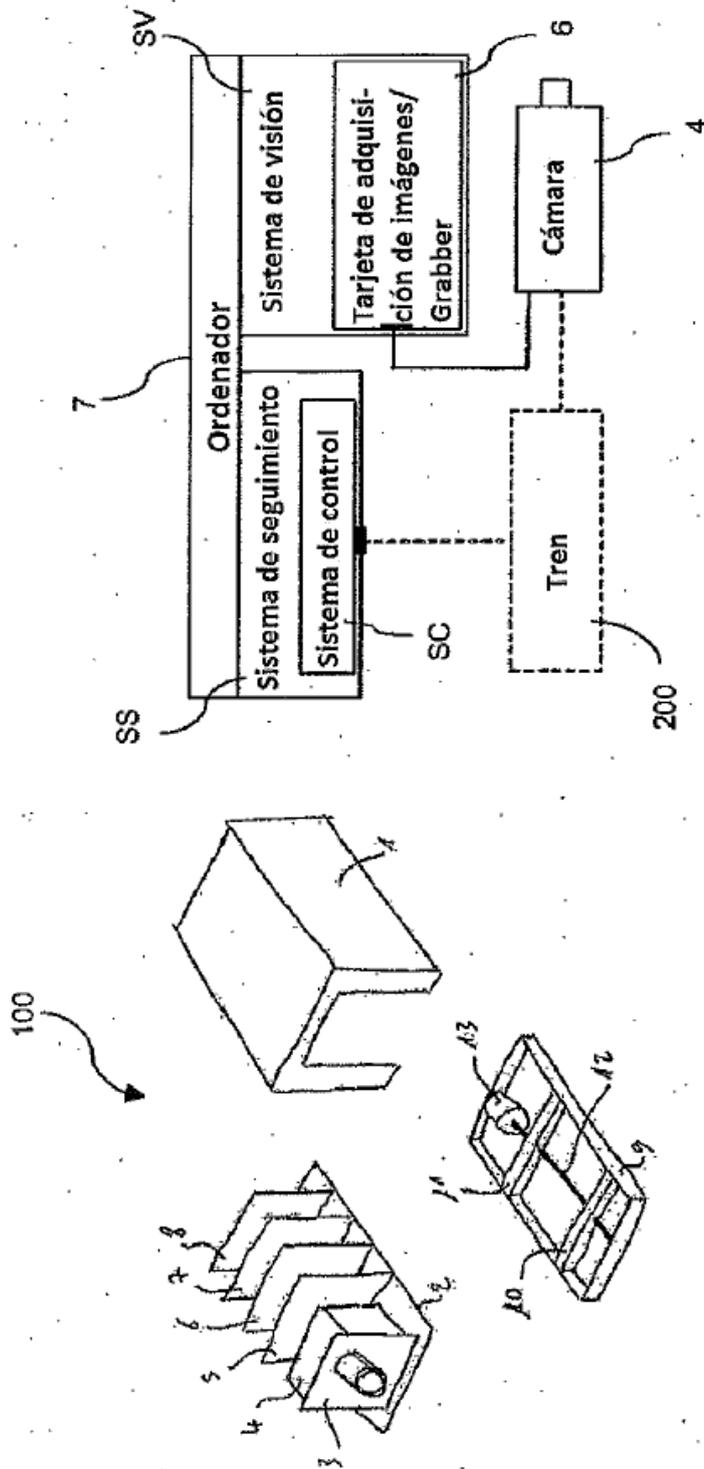


Figura 1

Figura 2

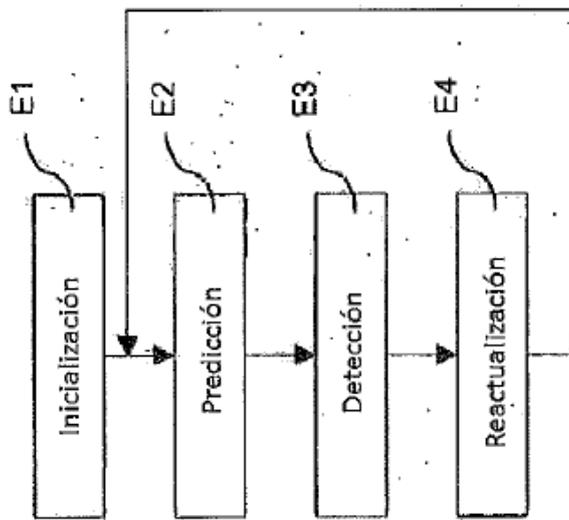


Figura 3

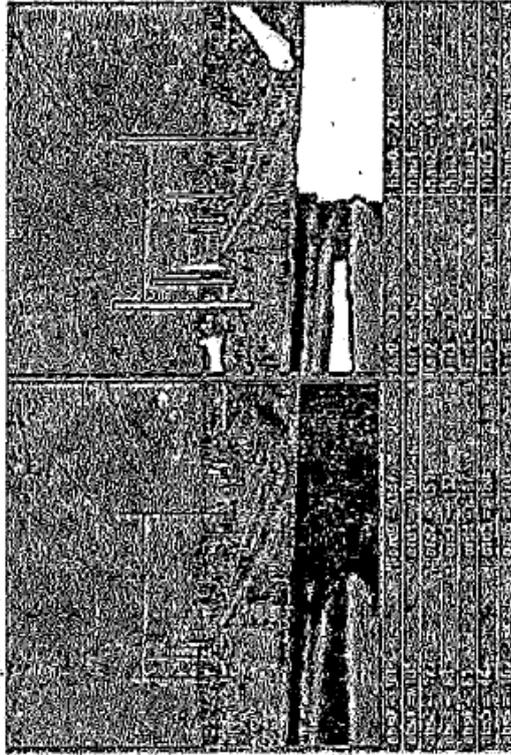


Figura 4

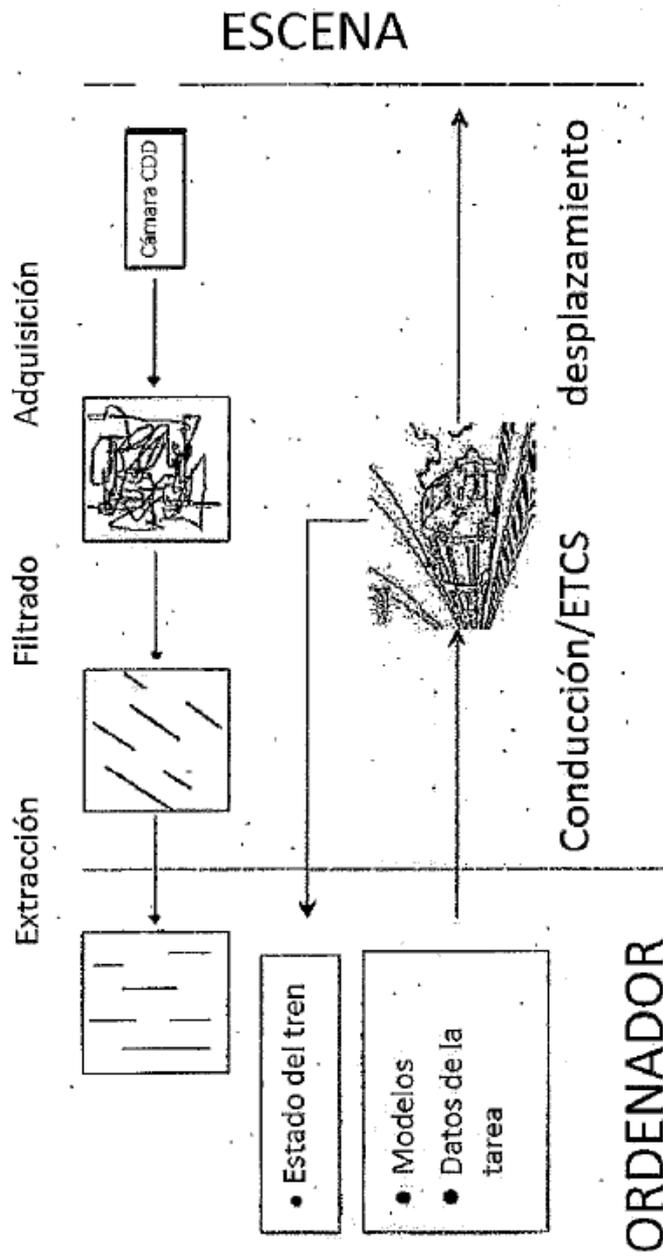


Figura 5

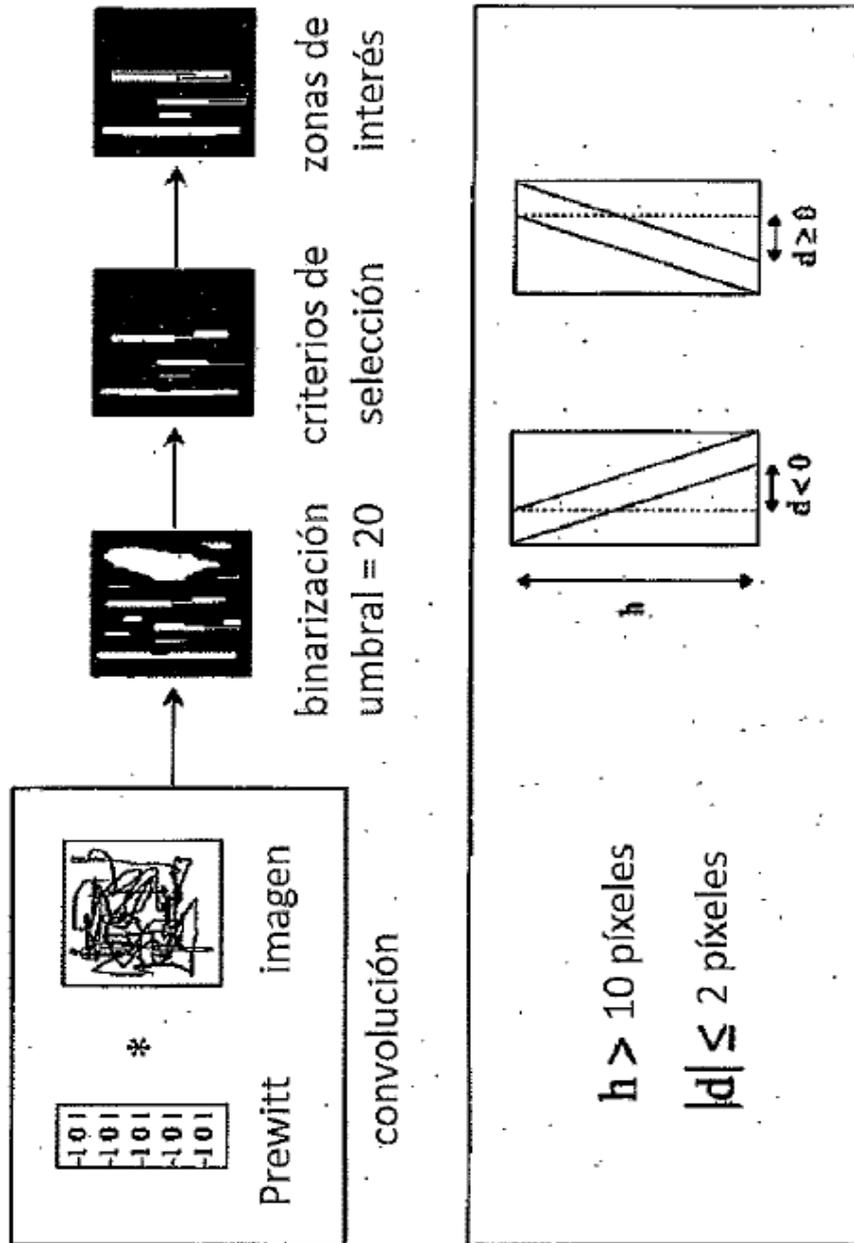


Figura 6

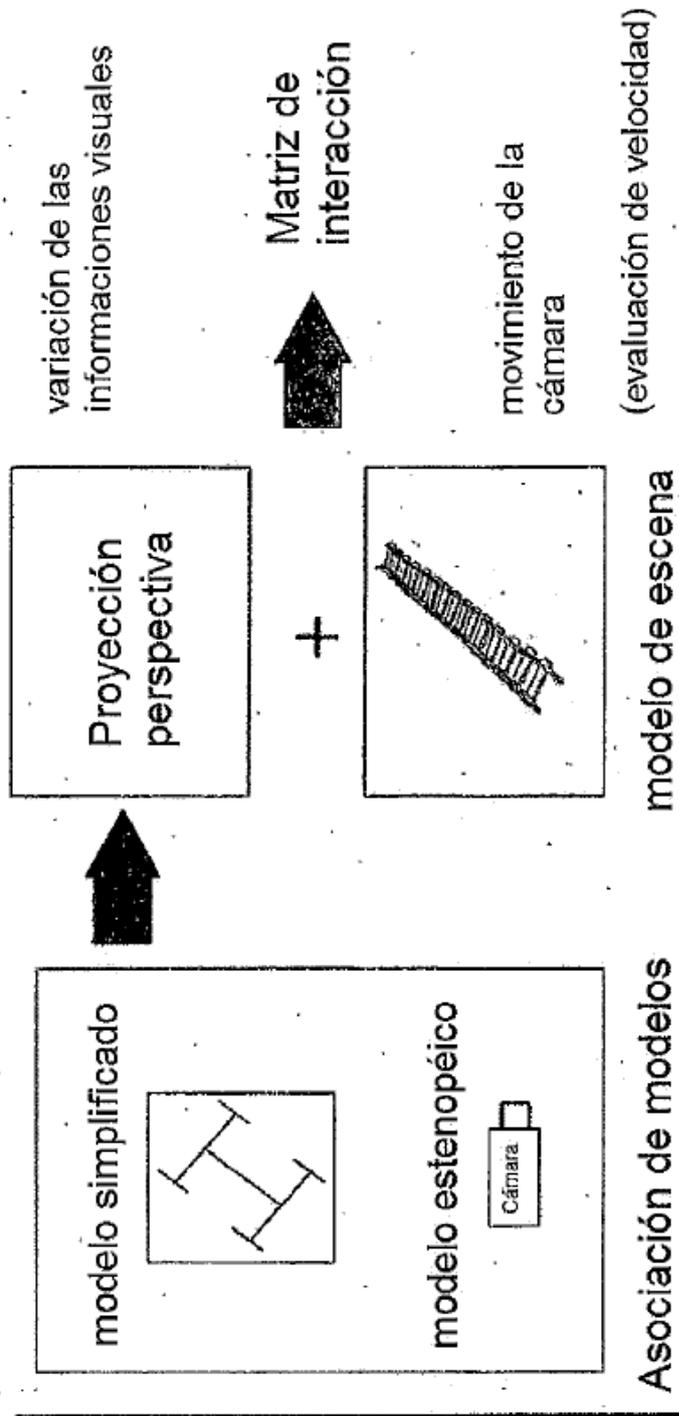


Figura 7

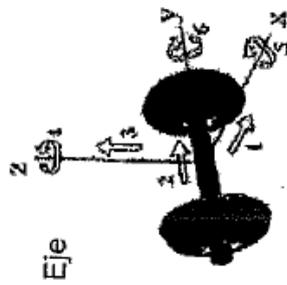


Figura 8C

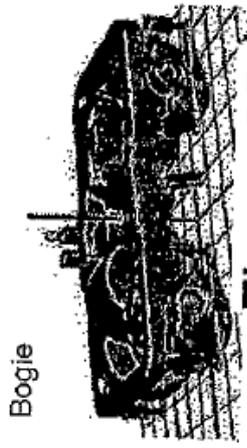


Figura 8D

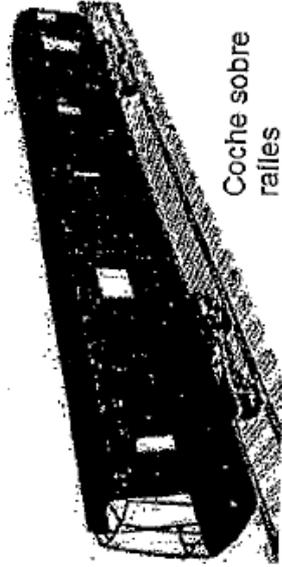


Figura 8E

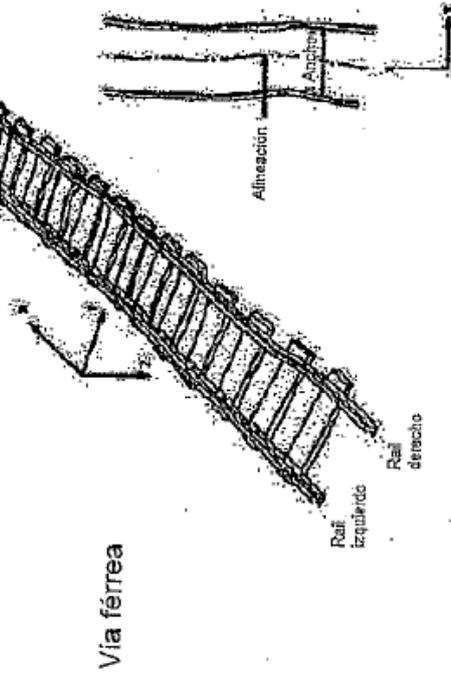


Figura 8A

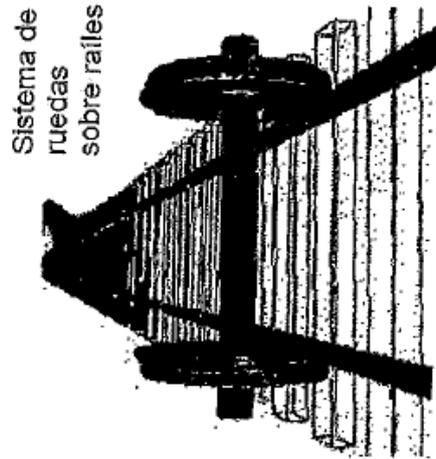


Figura 8B

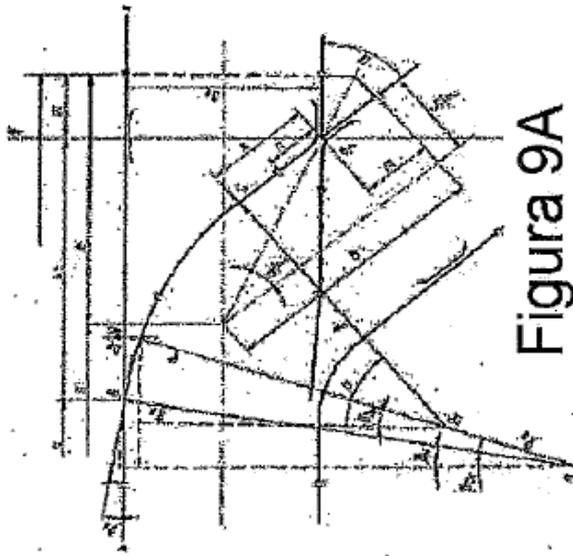


Figura 9A

Parámetros geométricos de un sistema de cambio de agujas



Figura 9B

Simulación de cambio de curva

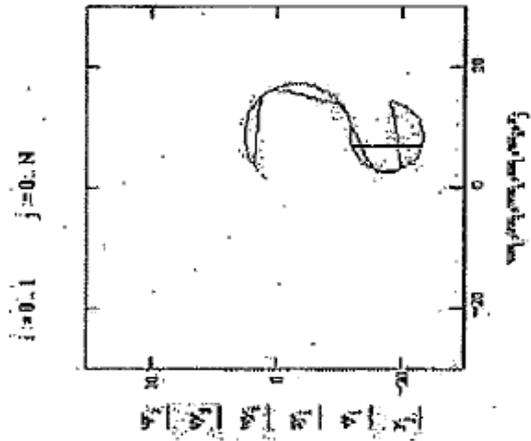


Figura 9C

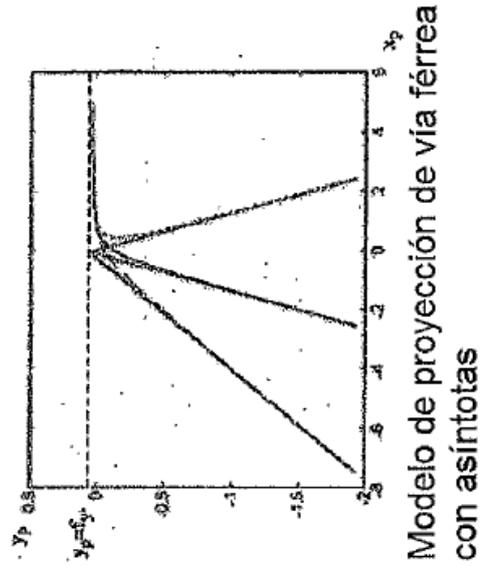
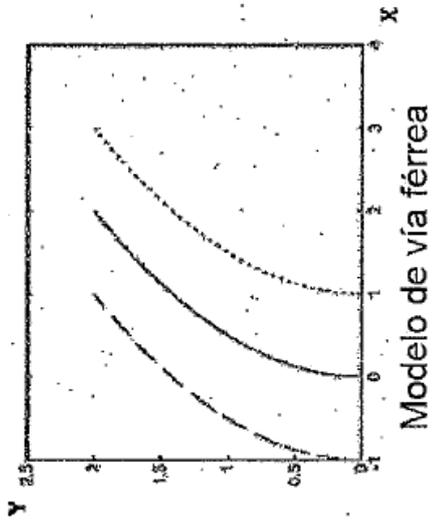


Figura 10A

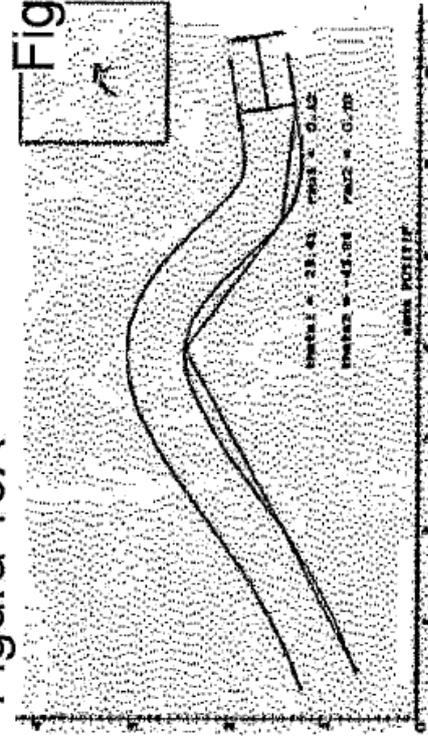


Figura 10B

Figura 10C

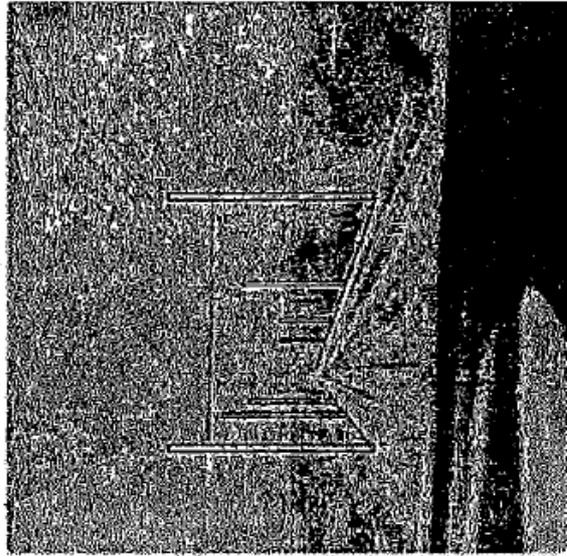
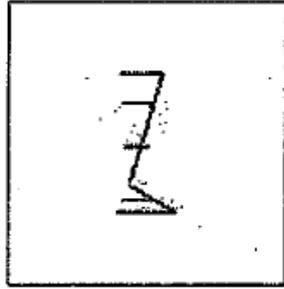


Figura 11A



Caso nominal

Figura 11B



Ambigüedad

Figura 11C