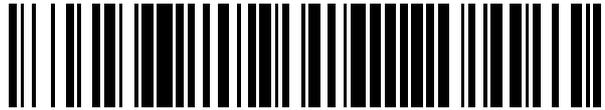


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 157**

51 Int. Cl.:

G06K 9/62	(2006.01)
B60W 40/06	(2012.01)
B60W 50/00	(2006.01)
G01C 21/00	(2006.01)
G06N 99/00	(2010.01)
G06K 9/00	(2006.01)
B60W 50/14	(2012.01)
G06N 3/08	(2006.01)
G06N 3/067	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.07.2011 PCT/GB2011/001008**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **12.01.2012 WO12004553**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2011 E 11731040 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.11.2017 EP 2591443**

54 Título: **Método para apoyar el guiado de un vehículo sobre terreno**

30 Prioridad:

06.07.2010 EP 10275070
06.07.2010 GB 201011364

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.02.2018

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

WILL, JULIA, VIVIEN y
BRIMBLE, RICHARD, ARTHUR

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 654 157 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

Método para apoyar el guiado de un vehículo sobre terreno

La presente invención se refiere a apoyar el guiado de un vehículo sobre terreno.

5 La tecnología puede proporcionar apoyo a vehículos que atraviesan terreno, incluyendo personal militar que se desplaza en territorio no familiar o duro. Tales ayudas tecnológicas incluyen ayudas para conductores, teleoperación y autonomía. Una aproximación para proporcionar un sistema de este tipo es detectar y razonar sobre características de terreno de mayor orden, tales como geometría del terreno y tipo de terreno. Esto puede permitir una planificación inteligente automatizada y un guiado de vehículos a través de terreno adyacente no atravesado.

10 Brooks C et al: "Self supervised terrain classification for planetary rovers", Proceedings NASA Science Technology Conference, 19-21 de junio, University of Maryland University College, 1 de enero de 2007, páginas 1-8, XP009141175 se refiere a entrenamiento de clasificadores de terreno utilizables para un vehículo de tipo rover (explorador) planetario.

15 Halatci I et al: "Terrain Classification and Classifier Fusion for Planetary Exploration Rovers", Aerospace Conference, 2007 IEEE, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 3 de marzo de 2007, páginas 1-11, XP031214278, ISBN: 978-1-4244-0524-4 muestra un método para clasificar terreno en el que se usan varios clasificadores de bajo nivel y se describen dos posibles clasificadores, usando técnicas de proceso gaussiano.

Halatci et al: "A study of visual and tactile terrain classification and classifier fusion for planetary exploration rovers", Robotica, Cambridge, GB, Vol. 26, 1 de enero de 2008, páginas 767-779, XP009141109, ISSN: 0263-5747 se refiere similarmente al entrenamiento de clasificadores de terreno utilizables para un vehículo de tipo rover planetario.

20 Las realizaciones de la presente invención están destinadas a abordar al menos alguna de las cuestiones anteriormente discutidas.

25 Las realizaciones de la presente invención buscan predecir el comportamiento de un vehículo sobre terreno adyacente, incluyendo proporcionar la capacidad de predecir cómo responderá el vehículo si atravesara ese terreno adyacente. Predicciones de este tipo pueden usarse para dar soporte a la planificación inteligente de caminos en vehículos autónomos y pueden ser también útiles para sistemas de apoyo a conductores en vehículos tripulados o teledirigidos.

30 Las realizaciones de la invención usan datos proporcionados por sensores situados a bordo para percibir características de mayor orden del terreno local (por ejemplo el gradiente de terreno, el tipo de terreno) y aplicar técnicas de aprendizaje automático para aprender cómo inferir parámetros clave de respuesta del vehículo (por ejemplo vibración del vehículo, balanceo del vehículo).

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para apoyar el guiado de un vehículo sobre terreno, en que el método incluye:

35 entrenar al menos un primer clasificador usando un primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno representativos de un campo Actual del vehículo, de modo que el al menos un primer clasificador es entrenado para proporcionar de salida al menos un valor de probabilidad utilizable para clasificar terreno;

40 obtener un segundo conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno que comprenden datos de imagen capturados de un campo Cercano del vehículo y datos indicativos de características de estado del vehículo captadas cuando el vehículo pasa sobre terreno representado en los datos de imagen capturados del campo Cercano;

usar el al menos un primer clasificador entrenado para generar una salida que comprende al menos un valor de probabilidad utilizable para clasificar terreno usando los datos indicativos de características de estado del vehículo en el segundo conjunto de datos de entrenamiento; y

45 usar una técnica de Modelo de Regresión para asociar dicha salida del al menos un primer clasificador entrenado usando el segundo conjunto de datos de entrenamiento con datos derivados de los datos de imagen en el segundo conjunto de datos de entrenamiento, para entrenar con ello un segundo clasificador para proporcionar de salida un valor de probabilidad utilizable para clasificar terreno representado en datos de imagen capturados en un campo Cercano del vehículo.

50 El al menos un primer clasificador puede comprender una técnica de Proceso Gaussiano. Puede haber una pluralidad de primeros clasificadores, estando configurado cada uno de los clasificadores para clasificar un tipo particular de terreno y proporcionar un valor de probabilidad asociado a la certidumbre de esa clasificación.

El segundo clasificador puede comprender una función de Base Radial.

5 El primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno puede comprender datos de terreno procedentes de terreno atravesado por un vehículo, por ejemplo terreno en un campo Actual del vehículo. El segundo conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno puede comprender datos de terreno procedentes de terreno a atravesar, por ejemplo terreno en un campo Cercano del vehículo.

10 El método puede comprender procesar datos obtenidos de sensores de terreno, que pueden estar situados a bordo de un vehículo, con el fin de producir el primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno. Propiedades de terreno de bajo nivel pueden ser extraídas de los datos adquiridos de estos sensores de terreno como primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno. El primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno puede comprender por lo tanto datos relativos a cabeceo, balanceo, etc. del terreno.

Los datos de representación basados en imágenes pueden comprender una representación de vídeo, fotográfica, de LIDAR o infrarroja del terreno en el segundo conjunto de datos.

15 El método puede comprender además incluir el segundo clasificador entrenado para clasificar terreno sobre el cual puede pasar un vehículo. La salida del segundo clasificador puede usarse para guiar el vehículo.

20 El método puede incluir además usar el segundo clasificador entrenado para ayudar a decidir si el vehículo debe atravesar terreno adyacente. La salida del segundo clasificador entrenado puede usarse como un nodo en una Red Bayesiana configurada para proporcionar datos útiles para generar una medida de la posibilidad de atravesar un terreno. La Red Bayesiana puede ser entrenada usando datos correspondientes a datos de características de terreno proporcionados de entrada al segundo clasificador entrenado. La salida del segundo clasificador entrenado puede usarse cuando se usa la red Bayesiana para predecir el tipo de terreno. La Red Bayesiana puede incluir nodos correspondientes a por lo menos una característica de terreno y por lo menos una característica de estado del vehículo. Los nodos pueden ser seleccionados de un conjunto que incluye: tiempo meteorológico; tipo de terreno; cabeceo de pendiente; balanceo de pendiente, velocidad de vehículo; radio de curvatura; deslizamiento; balanceo de vibración y/o cabeceo de vibración.

El método puede incluir además proporcionar la salida del segundo clasificador entrenado (para un tercer conjunto de datos de terreno) de entrada a una Red Bayesiana configurada para proporcionar datos útiles para generar una medida de la posibilidad de atravesar un terreno. Los datos que describen características de terreno del tercer conjunto de datos de terreno pueden ser proporcionados también de entrada a la Red Bayesiana.

30 El método puede incluir además usar el conjunto de datos de características de terreno para entrenar la Red Bayesiana. El nodo de tipo de terreno puede estar basado en datos proporcionados de salida por el segundo clasificador entrenado. La Red Bayesiana puede incluir además un nodo correspondiente a condiciones de tiempo meteorológico que pueden afectar al vehículo/terreno.

35 Según otro aspecto de la presente invención se proporciona un método para apoyar el guiado de un vehículo, en que el método incluye:

40 introducir datos que representan características de terreno, sobre el cual puede pasar un vehículo, en una Red Bayesiana configurada para proporcionar un dato útil para generar una medida de la posibilidad de atravesar un terreno, y usar la Red Bayesiana para generar una medida de la posibilidad de atravesar un terreno. La medida generada de la posibilidad de atravesar un terreno puede ser usada para guiar el vehículo.

Según otro aspecto más de la presente invención, se proporciona un producto de programa de ordenador que comprende un medio legible por ordenador, que lleva en él medios de código de programa de ordenador, cuando el programa es cargado, para hacer que el ordenador ejecute métodos sustancialmente como los descritos aquí.

45 Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema configurado para apoyar el guiado de un vehículo sobre terreno, en que el sistema incluye:

50 un componente configurado para entrenar al menos un primer clasificador usando un primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno representativos de un campo Actual del vehículo, de modo que el al menos un primer clasificador es entrenado para proporcionar de salida al menos un valor de probabilidad utilizable para clasificar terreno; un componente configurado para obtener un segundo conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno que comprenden datos de imagen capturados de un campo Cercano del vehículo y datos indicativos de características de estado del vehículo captadas cuando el vehículo pasa sobre terreno representado en los datos de imagen capturados del campo Cercano y para usar el al menos un primer clasificador entrenado para generar una salida que comprende al menos un

valor de probabilidad utilizable para clasificar terreno usando los datos indicativos de características de estado del vehículo en el segundo conjunto de datos de entrenamiento; y

- 5 un componente configurado para usar una técnica de Modelo de Regresión para asociar dicha salida del al menos un primer clasificador entrenado usando el segundo conjunto de datos de entrenamiento con datos derivados de los datos de imagen en el segundo conjunto de datos de entrenamiento, para entrenar con ello un segundo clasificador para proporcionar de salida un valor de probabilidad utilizable para clasificar terreno representado en datos de imagen capturados en un campo Cercano del vehículo.

Se proporcionan también sistemas configurados para ejecutar métodos sustancialmente como los descritos aquí.

El sensor puede incluir sensores de LIDAR, RADAR o basados en imágenes.

- 10 Según otro aspecto de la presente invención, se proporciona un vehículo que incluye al menos parte de un sistema sustancialmente como se describe aquí.

El vehículo puede ser un vehículo al menos parcialmente autónomo. También se proporcionan productos y dispositivos de programa de ordenador configurados para ejecutar los métodos descritos aquí.

- 15 Aunque la invención ha sido descrita anteriormente, se extiende a cualquier combinación inventiva de propiedades expuestas anteriormente o en la siguiente descripción. Aunque realizaciones ilustrativas de la invención han sido descritas en detalle aquí con referencia a los dibujos adjuntos, debe entenderse que la invención no está limitada a estas realizaciones precisas. De este modo, muchas modificaciones y variaciones serán manifiestas para practicantes experimentados en la técnica. Además, se contempla que una propiedad particular descrita o bien individualmente o bien como parte de una realización puede ser combinada con otras propiedades descritas
20 individualmente, o partes de otras realizaciones, incluso si las otras propiedades y realizaciones no mencionan la propiedad particular. Así, la invención se extiende a tales combinaciones específicas no descritas aún.

La invención puede ser llevada a cabo de diversos modos, y, sólo a modo de ejemplo, serán descritas ahora realizaciones de ella, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 25 La figura 1 es una ilustración esquemática de una arquitectura a modo de ejemplo para un controlador de vehículo autónomo;
- la figura 2 muestra un vehículo que progresa sobre terreno dividido en campos Actual, Cercano y Lejano;
- la figura 3 ilustra esquemáticamente pasos implicados en producir clasificadores entrenados de campo Actual y Cercano;
- las figuras 4, 5 y 6 son representaciones gráficas de resultados producidos por realizaciones del sistema;
- 30 la figura 7 ilustra esquemáticamente pasos implicados en la operación de un motor de Transitabilidad;
- las figuras 8 y 9 ilustran esquemáticamente redes de Bayes usadas en implementaciones del motor de Transitabilidad.

- 35 La figura 1 muestra un vehículo 100 junto con un diagrama que ilustra esquemáticamente componentes de un controlador que puede apoyar la conducción autónoma del vehículo. Aunque en el ejemplo se muestra un vehículo terrestre de gran escala, se entenderá que el sistema y los procesos aquí descritos pueden ser implementados en otros tipos de vehículos.

- 40 El controlador recibe entradas que incluyen mapas de terreno 102, que proporcionan datos de terreno globales, y señales procedentes de al menos un sensor de terreno 104 que proporciona datos de terreno locales (es decir datos derivados de sensores a bordo del vehículo). Los sensores pueden ser propioceptivos (midiendo el estado interno del vehículo) o exteroceptivos (midiendo el estado externo del entorno). En algunas realizaciones, datos procedentes de ambos tipos de sensores, por ejemplo los conectados a un Sistema de Navegación Inercial (INS, del inglés "Inertial Navigation System") son usados para proporcionar observaciones del vehículo, en que sistemas de LIDAR y cámaras estéreo proporcionan medidas de distancia inmediatamente por delante del vehículo, y una cámara proporciona observaciones de aspecto de terreno a distancias mayores.

- 45 Las entradas 102, 104 son recibidas por un componente de percepciones de terreno 106 que las procesa para determinar características del terreno presente, por ejemplo si hay obstáculos en la vecindad; la topografía; y el tipo de terreno (por ejemplo barro, arena, etc.).

- 50 El componente de percepciones de terreno puede producir una o varias salidas, por ejemplo datos que describen regiones no transitables, datos que describen regiones transitables y/o datos que describen características de terreno. Estas salidas son pasadas a un motor de Transitabilidad 108, responsable para funciones tales como

predecir la respuesta del vehículo a terreno irregular. El motor de Transitabilidad 108 puede recibir también entradas en la forma de datos de modelo de vehículo 110 (que modela características del vehículo, tales como modelos de neumáticos, límites de vuelco y restricciones cinemáticas/dinámicas) y datos de estado de vehículo 112 (que pueden incluir, por ejemplo, la velocidad planeada del vehículo, el estado de su mecanismo de dirección, con posibilidad de
 5 incluir posición, orientación y velocidades y aceleraciones asociadas, etc.). El motor 108 puede recibir una consulta de transitabilidad, por ejemplo generada por un componente de planificación de ruta (no mostrado) para el vehículo 100, y devolver una respuesta a ello, por ejemplo una indicación de si una ruta propuesta es transitable o no.

Con el fin de apoyar el guiado del vehículo sobre el terreno, realizaciones del sistema pueden proporcionar un etiquetado semántico automático de terreno directamente por delante de un vehículo de acuerdo con el tipo de
 10 terreno (por ejemplo, hierba, barro, asfalto). En algunas realizaciones, esto puede usarse como entrada para el motor de Transitabilidad con el fin de predecir la respuesta probable del vehículo a terreno adyacente no atravesado para permitir una planificación inteligente de camino. Convencionalmente, tales técnicas son métodos supervisados y necesitan por lo tanto datos de entrenamiento en la forma de imágenes etiquetadas, que son notoriamente intensivas en trabajo y costosas en tiempo si se producen a mano. Una solución a este problema ideado por los
 15 inventores implica:

- Dividir conceptualmente el área en torno al vehículo en un campo Actual, un campo Cercano y un campo Lejano.
- Desarrollar un clasificador de campo Actual que puede determinar automáticamente el tipo de terreno que está atravesando actualmente el vehículo; es decir el terreno actual bajo las ruedas del vehículo.
- 20 • Usar los resultados del clasificador de campo Actual para generar datos para entrenar un clasificador de campo Cercano. Esto puede conseguirse proyectando los resultados generados por el campo Actual en una región de interés de una imagen previa que representa el mismo terreno según se ve en el campo Cercano.
- Entrenar y luego aplicar el clasificador de campo Cercano a toda la escena.

25 En la aproximación anterior, los errores en el clasificador de campo Actual pueden propagarse al clasificador de campo Cercano. Adicionalmente, las imágenes de campo Lejano son clasificadas de acuerdo con un clasificador entrenado con aspectos de campo Cercano. Un modo de manejar estas limitaciones se describe posteriormente y una ventaja de la aproximación seguida en algunas realizaciones es que pueden generarse cientos o miles de imágenes de entrenamiento en comparación con las decenas de imágenes generadas por etiquetado a mano.

30 Con referencia a la figura 2, como se ha mencionado anteriormente, realizaciones del sistema pueden estar basadas en dividir el mundo en torno al vehículo en áreas basadas en distancia, en particular campos Actual, Cercano y Lejano. El campo Actual se apoya sobre sensores propioceptivos, el campo Cercano sobre sensores exteroceptivos de distancia y aspecto, y el campo Lejano sobre sensores de aspecto, pero usualmente no sobre medidas de distancia explícitas. Las percepciones basadas en interpretaciones de medida de sensor y el sistema de percepción
 35 tienen que incluir estimaciones útiles de características de terreno a una distancia que permita que el vehículo planifique caminos para negociar eficientemente el entorno (o apoyar el guiado del vehículo a través del entorno). Para vehículos de alta autonomía y de gran escala, esto puede implicar una distancia en el rango de (pocos) cientos de metros.

El terreno que está atravesando actualmente el vehículo es denominado campo Actual. La respuesta del vehículo al campo Actual puede ser medida a través de sensores propioceptivos situados a bordo, tales como acelerómetros. La interpretación de las señales resultantes puede conseguirse con técnicas diferentes. Realizaciones del presente sistema usan una técnica de clasificación de Proceso Gaussiano (véase, por ejemplo, Carl Edward Rasmussen y Christopher K. I. Williams, 2006, Gaussian Processes for Machine Learning, The MIT Press, ISBN 0-262-18253-X) que usa como propiedades varianza, auto-correlación, distancia, número de transiciones medias y media tanto de
 40 señales de cabeceo como de balanceo en función del tiempo. Como ejemplo, la matriz de confusión indicó una precisión de alrededor del 94% al probar entre terrenos de grava y asfalto con un estadístico kappa asociado de 87,7%. Una ventaja de usar un clasificador de campo Actual es la capacidad para generar automáticamente etiquetas para terreno que pueden ser usadas en un entrenamiento supervisado para otros aspectos del sistema, evitando con ello la necesidad de etiquetado a mano. Esto permite por lo tanto, por ejemplo, que sean conducidos experimentos sobre cientos y miles de cuadros, en contraposición con las decenas de cuadros que proporciona típicamente el etiquetado a mano. Sin embargo, como el clasificador de campo Actual puede no ser 100% preciso, esto puede introducir errores en el sistema. Un modo de gestionar estos errores es pasar probabilidades, en vez de etiquetas, al clasificador visual.

El campo Cercano es el área de terreno justo delante del vehículo. La extensión del campo Cercano puede tomarse
 55 como la distancia para la que no están disponibles datos de nube de puntos densa. Esta distancia dependerá del tipo de sensores usados y puede ser establecida por limitaciones fundamentales en la tecnología de detección, por

ejemplo en torno a 10-20 m para cámaras estéreo disponibles comercialmente. Los datos de campo Cercano pueden usarse para encontrar la geometría superficial de terreno local y el tipo de terreno, por ejemplo, asfalto, tierra, etc. que son factores clave que afectan a la movilidad de vehículos sobre suelo.

5 La modelización de la geometría del terreno se consigue a menudo mallando puntos 3D usando métodos bien conocidos tales como la triangulación de Delauney. Aunque el mallado proporciona plausiblemente una buena estimación, no modela explícitamente incertidumbre. Esto es especialmente problemático en áreas con muestras escasas, donde se hacen grandes interpolaciones.

10 Algunas realizaciones del presente sistema utilizan Procesos Gaussianos (GP, del inglés "Gaussian Processes") como método para modelar la geometría superficial de terreno local, pero otras realizaciones comprenden un sistema basado en la representación de Filtro de Kalman (KF, del inglés "Kalman Filter") de tipo NURBS (del inglés "NonUniform Rational B-Splines", curvas de tipo B-spline racionales no uniformes; véase, por ejemplo, L. Piegl, W. Tiller, 1997, The NURBS Book, Springer-Verlag). El coste computacional de los procesos GP es generalmente mayor que la representación de Filtro de Kalman NURBS, aunque métodos de actualización de procesos GP incrementales pueden mejorar el rendimiento. La aproximación KF-NURBS es capaz de proporcionar en tiempo real
15 estimaciones inciertas, basadas en principios, de geometría de terreno en el mundo real.

20 Están disponibles diferentes métodos de etiquetado de tipo de terreno, incluyendo unos basados en un método descrito en S. Thrun et al, Winning the DARPA Grand Challenge, 2006, Journal of Field Robotics, que implican un modelo de aspecto de terreno que se aprende en línea. El rendimiento de esta aproximación puede ser mejorado mediante algunos cambios, por ejemplo, operación en el espacio HSV; uso de agrupación con desplazamiento de media (*mean-shift clustering*) en vez de la agrupación *k-means*; uso de distancia euclídea en vez de Mahalanobis (lo que puede reducir significativamente el coste computacional con una degradación aparente pequeña en rendimiento), y uso de un modelo adicional para modelar desviaciones del curso principal (lo que puede permitir que píxeles de prueba sean clasificados según su clase coincidente más cercana, no simplemente según su distancia a una única clase). Una aproximación alternativa es tratar las probabilidades generadas por el clasificador de campo
25 Actual como un problema de regresión. Esto puede producir un método que predice probabilidades de pertenencia a clase basadas en entradas visuales y tiene la ventaja de mantener una salida probabilista.

30 Las observaciones de mayor nivel, por ejemplo la geometría de superficie y el tipo de superficie, pueden ser usadas para razonar acerca del terreno para inferir la transitabilidad. Motores de razonamiento pueden usar estas observaciones de mayor nivel como entradas. A partir de la modelización KF-NURBS de la geometría del terreno, es posible extraer el gradiente y la curvatura de la superficie en cualquier punto. Esto permite la predicción de puntos de vuelco estáticos y este modelo de superficie puede usarse para influir sobre la planificación de camino local en tiempo real.

35 La figura 3 muestra pasos llevados a cabo por un procesador configurado para realizar parte de la funcionalidad de percepciones de terreno, en particular produciendo clasificadores de campo Actual y Cercano entrenados. En el paso 302 son obtenidos datos, típicamente extraídos de un sistema de navegación a bordo del vehículo y que se refieren principalmente a datos procedentes de sensores que miden características de su campo Actual. En el paso 304 son extraídas características de estado de terreno y vehículo a partir de los datos obtenidos. Ejemplos del tipo de características usadas incluyen medidas de velocidad, cabeceo, balanceo y guiñada en función del tiempo. El conjunto de datos usado en un ejemplo consistió de tres tipos de terreno diferentes: grava, hormigón y asfalto.

40 En el paso 306, un clasificador de campo Actual es entrenado para clasificar terreno sobre la base de las características extraídas. El entrenamiento del clasificador de campo Actual puede requerir también datos etiquetados a mano; sin embargo, la producción de estos datos puede ser trivial ya que implicó recoger conjuntos de datos en los que un vehículo sólo atravesó un único tipo de terreno. En algunas realizaciones, el clasificador de campo Actual entrenado en el paso 306 puede ser producido a partir de uno o varios clasificadores de Proceso Gaussiano (GP). Un proceso GP para cada uno de los tres tipos de terreno fue usado en el ejemplo, y así cada proceso GP puede ser considerado como un clasificador binario para cada terreno, por ejemplo asfalto o no asfalto. Las propiedades de datos de navegación usadas incluyen la varianza, auto-correlación, distancia, números de transiciones medias, y media de señales tanto de cabeceo como de balanceo sobre un segundo de tiempo.
45

50 El clasificador de campo Actual entrenado, mostrado esquemáticamente en 308, es capaz de proporcionar de salida probabilidades de cada terreno, que pueden ser proporcionadas de salida como un vector $[p(\text{hormigón}), p(\text{grava}), p(\text{asfalto})]$ y normalizadas. El clasificador podría ser forzado efectivamente a seleccionar una única clase como salida, es decir una aproximación discriminativa, proporcionando simplemente de salida el terreno que fue clasificado con la probabilidad más alta. La adopción de esta aproximación en vías experimentales sobre datos de prueba produjeron una precisión de alrededor del 94%, y así el rendimiento de la forma discriminativa del clasificador
55 de campo Actual puede ser considerado razonable, aunque incluyendo errores. Como la salida del clasificador de campo Actual debe ser usada para entrenar el clasificador de campo Cercano, los posibles efectos colaterales fueron considerados y los inventores decidieron que el clasificador de campo Actual debe, más bien, proporcionar de salida las probabilidades de que el terreno que está siendo analizado pertenezca a cada tipo de terreno. Esto puede

proporcionar el beneficio de retener información, es decir las probabilidades brutas, y también se reconoció que cualquier sistema que requiere entrada discriminativa podría generar fácilmente una a partir de las probabilidades brutas.

5 Para entrenar el clasificador de campo Cercano, fueron recogidos en un conjunto de entrenamiento datos de sistema de navegación para imágenes correspondientes. El entrenamiento del clasificador de campo Cercano también implicó datos basados en imágenes 316 que corresponden a los datos de navegación de campo Cercano 310. Como no se adjuntan usualmente etiquetas a las propiedades visuales de datos en el entrenamiento de campo Cercano, no pudieron ser usados clasificadores clásicos para el clasificador de campo Cercano. Como resultado, se usa un método de regresión para crear el clasificador de terreno de campo Cercano. Esto puede hacerse asociando 10 los datos de navegación 310 procedentes de un conjunto de datos a los correspondientes datos basados en imágenes, extraídos de datos de imagen en el paso 318. Por ejemplo, un rectángulo de la imagen tomada justamente por delante del vehículo puede ser casado con los datos de navegación medidos cuando el vehículo alcanzó realmente esa sección de terreno. En el paso 312 son extraídas características de estado de terreno y de vehículo a partir de los datos obtenidos. Las características extraídas serán usualmente las mismas que las extraídas en el paso 304 para los datos de campo Actual.

Los datos de características 312 son pasados al clasificador de campo Actual entrenado 308 para producir el vector de probabilidades de tipo de terreno para el rectángulo. Los resultados de su clasificación, que comprenden las probabilidades de que el terreno pertenezca a clases particulares (mostradas esquemáticamente en 314) pueden ser usados entonces, junto con los datos de propiedades visuales extraídos en el paso 318, para proporcionar datos de 20 entrenamiento para el clasificador de campo Cercano en el paso 320. De este modo, las probabilidades generadas por el primer clasificador 308 son usadas para el aprendizaje del segundo clasificador 322, resultando en un sistema probabilista de extremo a extremo. Por ejemplo, si el primer clasificador generada una salida que indica que el terreno que está siendo analizado tiene un 90% de probabilidad de ser asfalto y un 10% de probabilidad de ser grava, esto ayuda al segundo clasificador a aprender el tipo de terreno de correspondientes datos de imagen.

25 Puede usarse un método de regresión de función de base radial para vincular las probabilidades y las correspondientes propiedades visuales. El método de encontrar las propiedades visuales puede implicar segmentar la imagen y extraer luego propiedades de estos segmentos. Las propiedades extraídas pueden ser vistas en la tabla posterior. Las propiedades fueron escogidas como las mejores para diferenciar las clases después de haber sido realizada una investigación sobre posibles propiedades. La investigación implicó representar el histograma de las 30 respuestas de cada propiedad a imágenes de cada clase. Las propiedades escogidas tenían histogramas que se consideró que tenían respuestas que eran fácilmente separadas.

Métrica	Canal	Textura
Varianza	Rojo normalizado	No
Varianza	Verde normalizado	No
Varianza	Saturación	No
Varianza	Valor	No
Media	Saturación	Textura de Laws L,L
Media	Valor	Laws
		Textura L,L
Media	Rojo	Textura de Laws L,L
Media	Verde	Textura de Laws L,L
Media	Azul normalizado	Textura de Laws R,L

Cuando una nueva imagen 324 es pasada al clasificador de campo Cercano entrenado 322, son extraídas las propiedades visuales y el clasificador produce una indicación, mostrada esquemáticamente en 326, de la

probabilidad de que el terreno pertenezca a un tipo de terreno. La salida del clasificador puede estar limitada a estar entre 0 y 1. Si el valor predicho está por encima o por debajo de este intervalo, puede considerarse que vale 0.

5 Pueden verse resultados discriminativos de este método en la figura 4, que muestra imágenes tomadas de un conjunto de datos de pista de grava y la correspondiente imagen etiquetada, mostrada en escala de grises. La etiqueta para el terreno se tomó como el terreno con la probabilidad más alta.

10 Aunque el método discriminativo para inferir una etiqueta funciona razonablemente bien, este método pierde información acerca del terreno. Por ejemplo, no hay indicación de situaciones en las que la segunda probabilidad más alta está cerca de la escogida. Como puede verse en la figura 4C), para el segundo ejemplo de hormigón, una mayoría del terreno está etiquetada erróneamente como asfalto, lo que podría ser debido al cambio significativo en iluminación. Sin embargo, si se consideran los valores de las probabilidades de salida, puede verse entonces que el asfalto tiene una probabilidad más alta pero el clasificador no tiene mucha confianza en el asfalto como etiqueta.

15 Las probabilidades de cada tipo de terreno son presentadas visualmente en la figura 5, en la que cuanto más blanco sea el segmento, más alta será la probabilidad. Esto muestra que si la probabilidad más alta fuera tomada como etiqueta, en el segundo ejemplo de hormigón, entonces el terreno sería etiquetado erróneamente como Asfalto, incluso aunque hay confianza baja en Asfalto como etiqueta (mostrado como no muy blanco) y hay una división prácticamente a partes iguales entre los tres terrenos. Mientras tanto, en el primer ejemplo de Pista de Hormigón (figura 4A)) hay una alta probabilidad de que el terreno sea Hormigón como puede verse en la figura 6.

20 Como se ha discutido anteriormente, realizaciones de la invención incluyen un motor de transitabilidad que puede producir una medida de transitabilidad. El motor de transitabilidad puede proporcionar un medio para predecir la respuesta del vehículo a terreno adyacente. Éste es un problema complejo y la aproximación tomada en algunas realizaciones consiste en identificar métricas clave de transitabilidad: por ejemplo, velocidad, deslizamiento y vibración. Éstas fueron identificadas debido a que, desde un punto de vista de autonomía, son las métricas sobre las cuales tiene lugar el razonamiento. En algunas realizaciones, la predicción estuvo limitada sólo a vibraciones, pero se entenderá que pueden tomarse en cuenta otros factores, tales como el deslizamiento, en otras realizaciones. El motor de transitabilidad puede incorporar medidas procedentes de cualquier sensor, no sólo las percepciones de terreno, y producir una medida de transitabilidad.

30 La medida de transitabilidad es producida por una red de Bayes en algunas realizaciones. Una red de Bayes fue escogida por los inventores debido a que es un método probabilista y es flexible en cómo puede ser entrenado ya que da la opción de entrenar sobre datos o usar conocimiento experto. Inicialmente, los inventores consideraron tener la Transitabilidad de un área como un nodo en la red de Bayes; sin embargo, se encontró que la Transitabilidad era difícil de definir y no podía ser medida directamente. Esto ha llevado a los inventores a considerar una red de Bayes de dos capas, con la primera capa constituida por nodos que pueden ser directamente medidos y como tal esta capa puede ser entrenada sobre datos reales procedentes de sensores a bordo del vehículo. Estos nodos pueden incluir las métricas de transitabilidad anteriormente descritas y la salida procedente del clasificador de terreno de campo Cercano.

35 Con referencia a la figura 7, se muestran pasos relativos a la operación del motor de Transitabilidad. En el paso 702 se obtienen datos de navegación y en el paso 704 son extraídas características de estado de terreno y de vehículo. En el paso 706 las características extraídas son usadas para entrenar una red de Bayes de una manera conocida.

40 La salida 708 procedente del clasificador de campo Cercano y las correspondientes lecturas 710 procedentes de sensores relevantes (por ejemplo, la pendiente de terreno adyacente o condiciones meteorológicas) pueden ser medidas y pasadas a la red de Bayes entrenada 712 como evidencia al usarla para predecir características de respuesta de terreno/vehículo. Como la red de Bayes ha sido entrenada sobre datos para aprender relaciones entre todas las evidencias de entrada, por ejemplo, tiempo meteorológico, terreno, cabeceo, deslizamiento, etc., puede producir, en el paso 714, datos útiles para generar una medida de transitabilidad, incluyendo distribuciones de probabilidad (predicciones) de nodos que no han sido observados (que no tienen ninguna evidencia). El uso de una red de Bayes permite la predicción de múltiples parámetros, por ejemplo deslizamiento y vibración, simultáneamente, sobre la base de cualquier subconjunto de sus nodos, incluyendo el tipo/aspecto visual del terreno en realizaciones en las que tales parámetros son usados como nodos en la red.

En una realización, los Nodos para la red de Bayes y sus categorías fueron identificados como:

- 50
1. Tiempo meteorológico (lluvioso, soleado, nuboso)
 2. Terreno (grava, hormigón, asfalto)
 3. Cabeceo de pendiente (bajo, medio, alto)
 4. Balanceo de pendiente (bajo, medio, alto)

- 5. Radio de curvatura (bajo, medio, alto)
- 6. Velocidad (baja, media, alta)
- 7. Balanceo de vibración (bajo, medio, alto)
- 8. Cabeceo de vibración (bajo, medio, alto)

5 Las tablas internas para la red de Bayes pueden ser aprendidas a partir de un conjunto de datos. Este conjunto de datos puede ser el mismo que el usado para la clasificación de terreno anteriormente discutida y los datos para cada nodo pueden ser derivados de los datos de navegación brutos y las imágenes. El conjunto de datos a modo de ejemplo consistió en grava, asfalto y hormigón. El Tiempo Meteorológico y el Terreno fueron constantes para cada pista en el ejemplo. El resto de los datos pueden ser calculados a partir de los datos de navegación, que fueron divididos en secciones con una longitud de un segundo. El Cabeceo de Pendiente y el Balanceo de Pendiente fueron tomados como el valor máximo del cabeceo y el balanceo medidos por los sensores del sistema de navegación durante cada segundo.

10 El Radio de curvatura puede ser calculado tomando los datos de posición procedentes del sistema INS para un segundo segmento y ajustando una curva a los puntos. Usando la ecuación para esta curva, el radio de curvatura fue calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Radio de curvatura} = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\left|\frac{d^2y}{dx^2}\right|}$$

20 La velocidad puede ser medida directamente a partir del sistema de navegación y la vibración, dado que tanto el cabeceo como el balanceo fueron definidos en esta implementación como la razón de la media y la varianza sobre el segundo. Todos los datos para cada nodo pueden ser discretizados entonces, mediante aplicación de umbrales a los valores, en una categoría baja, media o alta. Los umbrales para la mayoría de los nodos fueron decididos tras consultar a un experto, pero los umbrales para la vibración fueron escogidos para dar una división igual entre alta, media y baja. Esto fue hecho para crear una tarea difícil para la red de Bayes en la realización a modo de ejemplo; si la red de Bayes se comportó bien en este escenario, esto daría más peso a los resultados.

25 Antes de que estos datos puedan ser usados para entrenar las tablas en la red de Bayes, es creada la estructura de la red. Dos métodos para crear la estructura fueron implementados y comparados por los inventores. El primer método usó la experiencia del sistema de vehículo para inferir qué vínculos deben existir. Por ejemplo, el tiempo meteorológico afecta a la velocidad del vehículo; existe una tendencia a conducir más lentamente en caso de lluvia. Esta estructura será denominada estructura de experiencia. La estructura de la red de Bayes de experiencia 800 puede ser vista en la figura 8, que usa la misma numeración que la lista de nodos anterior.

30 La inclusión de la salida procedente del clasificador de campo Cercano en la red de Bayes para la primera capa puede ser directa. Esta capa puede predecir por lo tanto la distribución de los valores de cualesquiera lecturas de sensor que falten en un momento determinado. A partir de esto los inventores creyeron que la primera capa puede ser capaz de predecir medidas internas de vehículo, tales como vibración, que no pueden ser medidas antes de que un vehículo alcance un terreno pero que pueden ser útiles para decidir sobre la transitabilidad del terreno.

35 El segundo método considerado por los inventores fue aprender la estructura de la red de Bayes a partir de los datos de entrenamiento. La resultante estructura 900 puede verse en la figura 9. Esta estructura depende de los datos proporcionados a la función de aprendizaje de estructura.

40 La segunda capa de la red de Bayes puede ser entrenada de forma experta para producir una medida de transitabilidad basada en los nodos, o un subconjunto de los nodos, incluidos en la primera capa. Una cuestión a modo de ejemplo a responder por los expertos es, "Suponiendo que conoce la velocidad del vehículo, el terreno, el tiempo meteorológico, etc., ¿clasificaría usted esta situación como de transitabilidad alta, transitabilidad media o transitabilidad baja?" La segunda capa no tiene que ser necesariamente una red de Bayes.

REIVINDICACIONES

1. Un método para apoyar el guiado de un vehículo sobre terreno, en que el método incluye:
- 5 entrenar (306) al menos un primer clasificador (308) usando un primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno (304) representativos de un campo Actual del vehículo, de modo que el al menos un primer clasificador es entrenado para proporcionar de salida al menos un valor de probabilidad (314) utilizable para clasificar terreno;
- 10 obtener un segundo conjunto (312) de datos de entrenamiento de clasificador de terreno que comprenden datos de imagen (316) capturados de un campo Cercano del vehículo y datos (310) indicativos de características de estado del vehículo captadas cuando el vehículo pasa sobre terreno representado en los datos de imagen (316) capturados del campo Cercano;
- usar el al menos un primer clasificador entrenado (308) para generar una salida que comprende al menos un valor de probabilidad utilizable para clasificar terreno usando los datos indicativos de características de estado del vehículo en el segundo conjunto de datos de entrenamiento; y
- 15 usar una técnica de Modelo de Regresión (320) para asociar dicha salida del al menos un primer clasificador entrenado usando el segundo conjunto (312) de datos de entrenamiento con datos derivados de los datos de imagen en el segundo conjunto de datos de entrenamiento, para entrenar con ello un segundo clasificador (322) para proporcionar de salida un valor de probabilidad (326) utilizable para clasificar terreno representado en datos de imagen capturados en un campo Cercano del vehículo.
- 20 2. El método según la reivindicación 1, en el que el al menos un primer clasificador (308) comprende un Proceso Gaussiano.
3. El método según la reivindicación 2, en el que el al menos un primer clasificador comprende una pluralidad de Procesos Gaussianos, en que cada Proceso Gaussiano está configurado para reconocer un tipo particular de terreno y para proporcionar un valor de probabilidad (314) indicativo de la certidumbre de ese reconocimiento.
- 25 4. El método según la reivindicación 1, en el que el primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno (304) comprende datos extraídos de sensores de terreno (104) dispuestos para explorar un campo Actual del vehículo (100).
5. El método según cualquier reivindicación precedente, en el que el segundo clasificador comprende una técnica de función de Base Radial (320).
- 30 6. El método según cualquier reivindicación precedente, en el que el primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno (304) comprende datos de terreno procedentes de un campo Actual del vehículo.
7. El método según la reivindicación 6, en el que el primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno (304) comprende datos seleccionados de un conjunto que incluye: medidas de velocidad, cabeceo, balanceo y guiñada de un vehículo en función del tiempo.
- 35 8. El método según cualquier reivindicación precedente, en el que el segundo conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno (312) comprende datos de terreno procedentes de un campo Cercano del vehículo.
9. El método según cualquier reivindicación precedente, que incluye además usar una salida (326) procedente del segundo clasificador entrenado (320) para crear un nodo en una Red Bayesiana (800, 900) configurada para proporcionar datos útiles para generar una medida de posibilidad de atravesar un terreno.
- 40 10. El método según la reivindicación 9, en el que la salida (326) del segundo clasificador entrenado (322) es usada por la red Bayesiana (712) para predecir el tipo de terreno.
11. El método según la reivindicación 9 ó 10, en el que la Red Bayesiana (800, 900) incluye nodos correspondientes a por lo menos una característica de terreno y por lo menos una característica de estado del vehículo.
- 45 12. El método según la reivindicación 11, en el que los nodos son seleccionados de un conjunto que incluye: tiempo meteorológico; tipo de terreno; cabeceo de pendiente; balanceo de pendiente, velocidad de vehículo; radio de curvatura; deslizamiento; balanceo de vibración y/o cabeceo de vibración.
13. Un producto de programa de ordenador que comprende un medio legible por ordenador, o medios para acceder a él, que lleva grabado en él medios de código de programa de ordenador que, cuando son cargados en un

ordenador y ejecutados, hacen que el ordenador implemente un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

14. Un sistema configurado para apoyar el guiado de un vehículo sobre terreno, en que el sistema incluye:

5 un componente (106) configurado para entrenar (306) al menos un primer clasificador (308) usando un primer conjunto de datos de entrenamiento de clasificador de terreno (304) representativos de un campo Actual del vehículo, de modo que el al menos un primer clasificador es entrenado para proporcionar de salida al menos un valor de probabilidad (314) utilizable para clasificar terreno;

10 un componente (106) configurado para obtener un segundo conjunto (312) de datos de entrenamiento de clasificador de terreno que comprenden datos de imagen (316) capturados de un campo Cercano del vehículo y datos (310) indicativos de características de estado del vehículo captadas cuando el vehículo pasa sobre terreno representado en los datos de imagen (316) capturados del campo Cercano y para usar el al menos un primer clasificador entrenado (308) para generar una salida que comprende al menos un valor de probabilidad utilizable para clasificar terreno usando los datos indicativos de características de estado del vehículo en el segundo conjunto de datos de entrenamiento; y

15 un componente (106) configurado para usar una técnica de Modelo de Regresión (320) para asociar dicha salida del al menos un primer clasificador entrenado usando el segundo conjunto (312) de datos de entrenamiento con datos (318) derivados de los datos de imagen en el segundo conjunto de datos de entrenamiento, para entrenar con ello un segundo clasificador (322) para proporcionar de salida un valor de probabilidad (326) utilizable para clasificar terreno representado en datos de imagen capturados en un campo Cercano del vehículo.

20

15. Un vehículo que comprende un sistema según la reivindicación 14.

Fig. 1

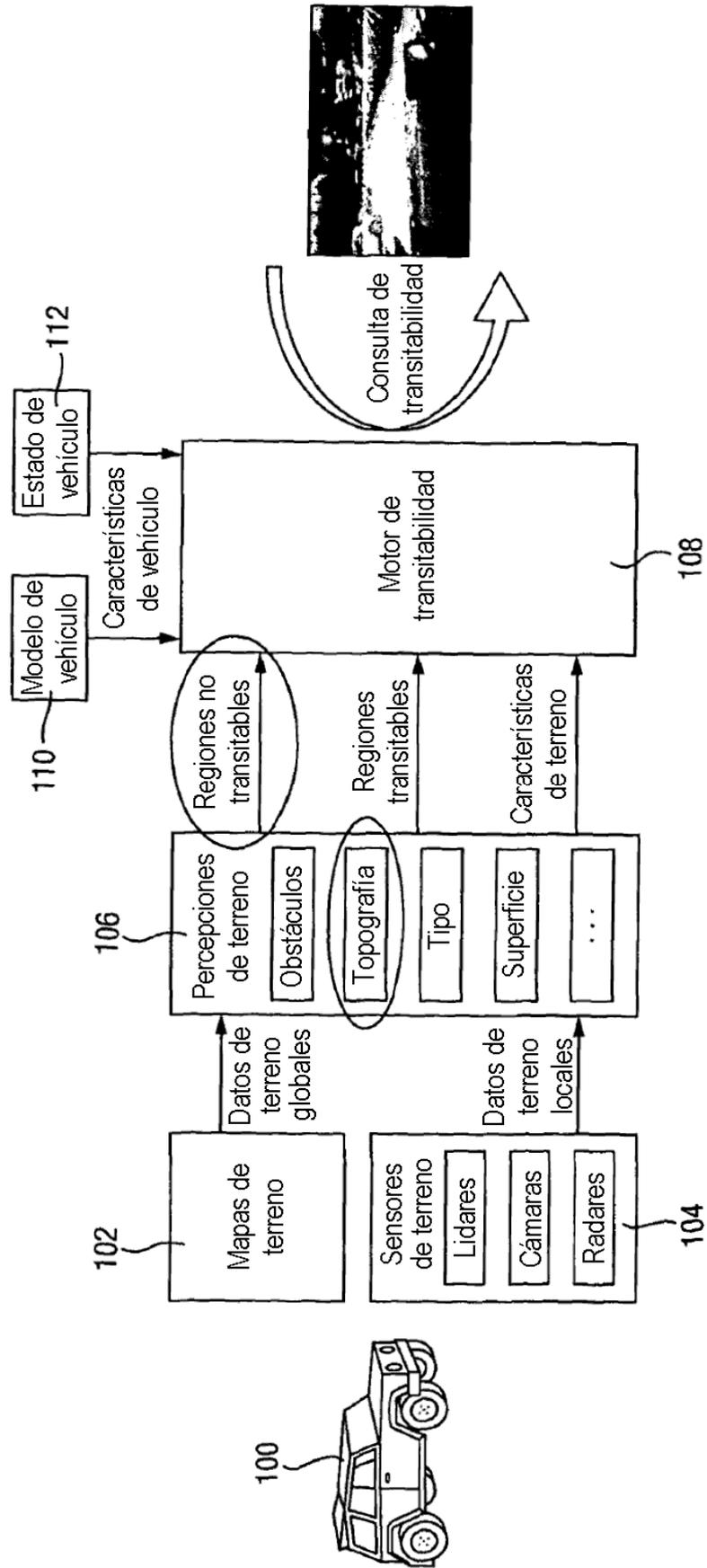


Fig. 2

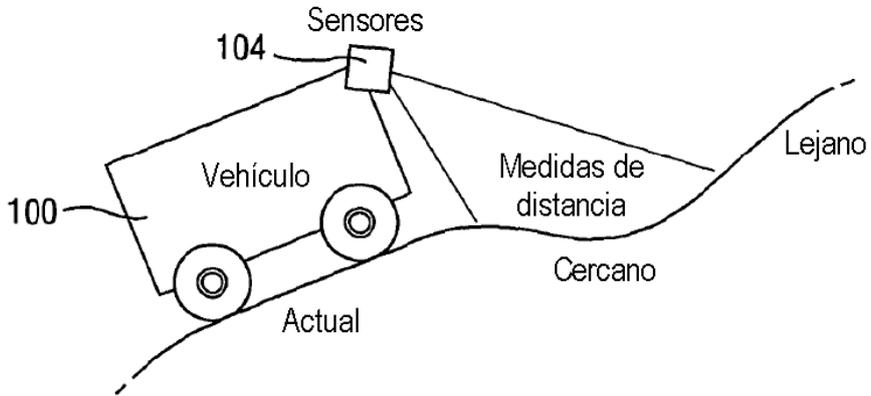


Fig. 3

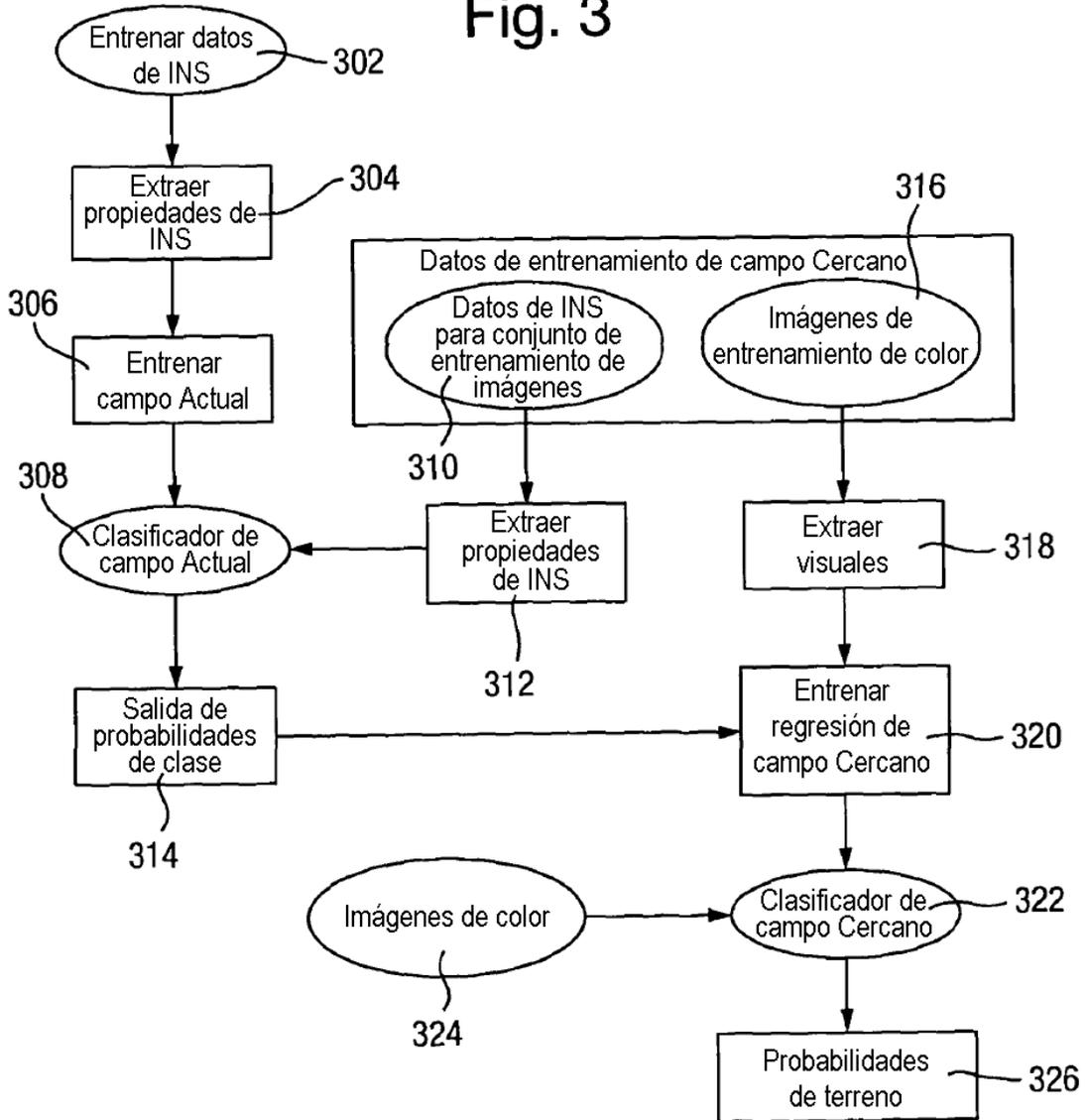
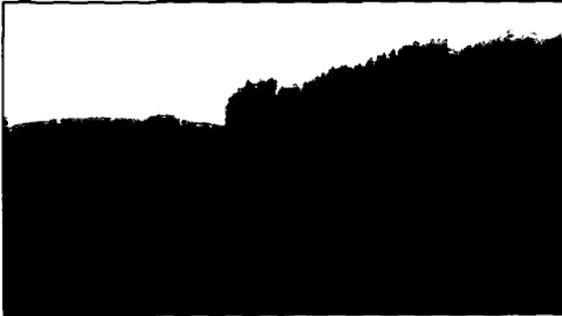


Fig. 4

■ - Sin clasificar □ - Asfalto ■ - Hormigón □ - Grava

A) Pista de grava



B) Pista de hormigón



C) Pista de hormigón



D) Pista de asfalto



Fig. 5



Probabilidad
de hormigón



Probabilidad
de grava



Probabilidad
de asfalto

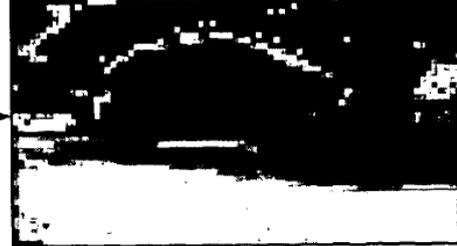


Fig. 6



Probabilidad
de hormigón



Probabilidad
de grava



Probabilidad
de asfalto



Fig. 7

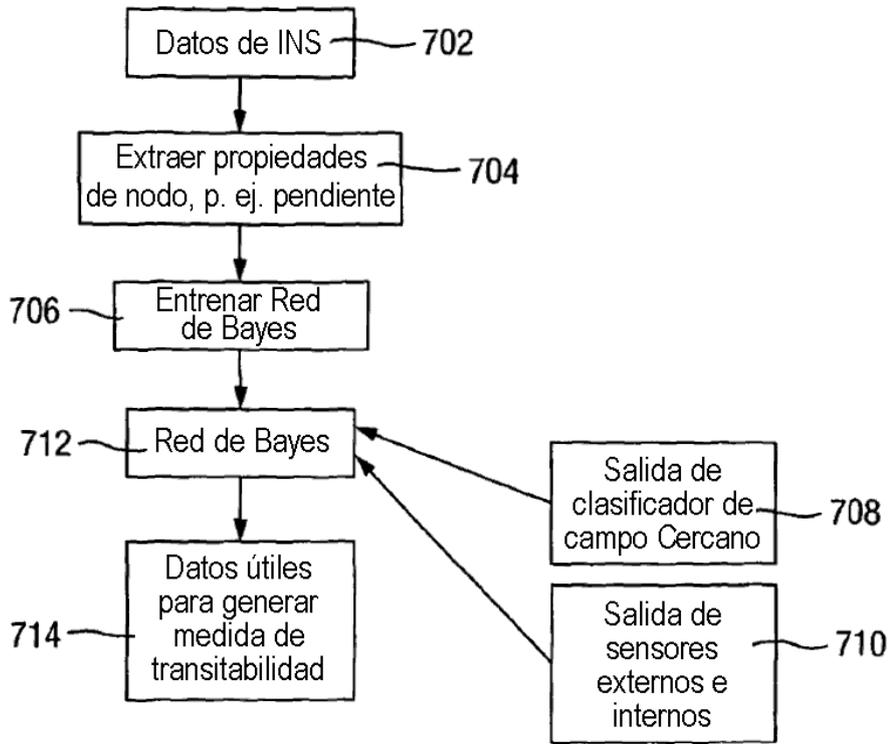


Fig. 8

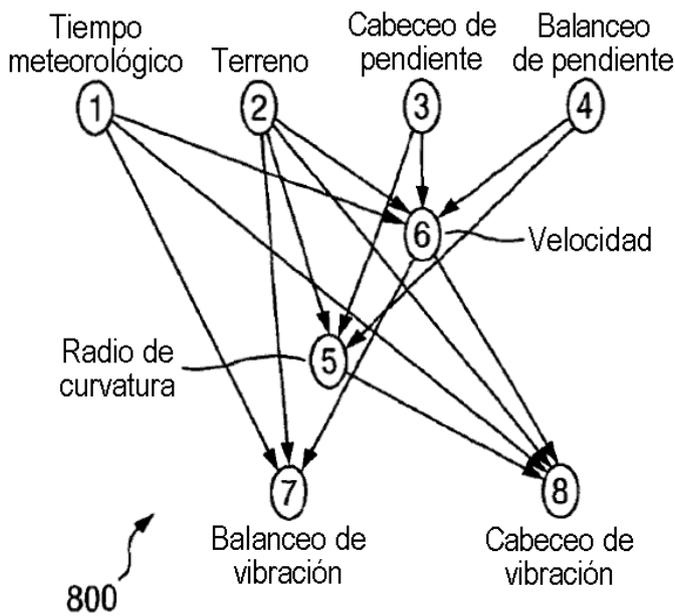


Fig. 9

