

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 417 329**

51 Int. Cl.:

G08G 1/01 (2006.01)

G08G 1/04 (2006.01)

G06T 7/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.10.2010 E 10290567 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2013 EP 2320404**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la medición de la trayectoria de objetos móviles pasivos**

30 Prioridad:

27.10.2009 FR 0905153

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.08.2013

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (33.3%)
3, rue Michel-Ange**

75016 Paris , FR;

**INSTITUT FRANÇAIS DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DES TRANSPORTS, DE
L'AMENAGEMENT ET DES RESEAUX (33.3%) y
UNIVERSITÉ BLAISE PASCAL - CLERMONT-
FERRAND II (33.3%)**

72 Inventor/es:

CHATEAU, THIERRY;

GOYAT, YANN;

TRASSOUDAIN, LAURENT RENÉ y

MALATERRE, LAURENT

74 Agente/Representante:

DURÁN MOYA, Luis Alfonso

ES 2 417 329 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

Procedimiento y dispositivo para la medición de la trayectoria de objetos móviles pasivos

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para la medición de la trayectoria de objetos móviles pasivos, en especial, vehículos que se desplazan sobre una calzada.

Se entiende por objetos móviles pasivos, objetos no dotados de captadores. En el conjunto de la descripción, los objetos móviles considerados, serán siempre de tipo pasivo, salvo indicación contraria.

10 Los responsables de la gestión de las carreteras desean, de modo permanente mejorar la seguridad de su red de carreteras. Para ello, tienen necesidad de conocer las condiciones de circulación en ciertos lugares, en especial, para comprender las razones de los accidentes que han ocurrido o para identificar los riesgos de accidente. A partir de estos datos, se pueden aportar mejoras a la red de carreteras, por ejemplo, para reducir o incluso suprimir causas de accidente.

15 Se conocen ya algunos sistemas utilizados por los responsables de la gestión de las carreteras.

20 Se trata en principio de radares, eventualmente asociados a un telémetro láser, que dan una medición precisa pero puntual de la velocidad de un vehículo.

Igualmente, se pueden citar los sistemas de asistencia a la videovigilancia que dan una medición de la velocidad en un tramo importante, pero que no tiene precisión. Este tipo de medición se visualiza preferentemente en paneles luminosos dispuestos a lo largo de las carreteras para inducir a los conductores a reducir la velocidad.

25 Se conocen igualmente dispositivos que permiten medir, de manera precisa, la posición lateral de un vehículo.

Se trata de bucles electromagnéticos desplazados, que están en general, anclados en la calzada.

30 Un dispositivo de este tipo, presenta inconvenientes. En principio, no permite medir la posición lateral más que en una anchura aproximada de un metro. Además, se deben prever bucles magnéticos sincronizados, a lo largo de toda la calzada, en la que se estudia la circulación. Finalmente, la instalación de bucles magnéticos requiere trabajos de ingeniería civil importantes, puesto que hay que realizar zanjas para enterrarlos. Estos trabajos son costosos y requieren cerrar la carretera a los usuarios, lo que dificulta el tráfico.

35 De manera adicional, para evitar trabajos suplementarios, estos bucles electromagnéticos ya no son desplazables después de esta instalación en la calzada y, por lo tanto, no son reutilizados en otro lugar.

40 Por lo tanto, los sistemas conocidos para las redes de carreteras aportan solamente informaciones limitadas, puesto que no permiten estimar la trayectoria completa de un vehículo. Por otra parte, las informaciones no son siempre precisas y los sistemas no se pueden desplazar sistemáticamente de un lugar a otro.

45 Por otra parte, se conocen procedimientos de medición de la trayectoria de un objeto móvil, basados en la utilización de secuencias de vídeo del objeto registradas cuando tiene lugar su desplazamiento.

50 De este modo, el procedimiento llamado de seguimiento por detección, permite analizar cada imagen individualmente e independientemente de las otras, para deducir la posición del objeto en el momento en que la imagen ha sido registrada. La trayectoria del objeto, es decir, la función que en cualquier instante t, asocia la posición de un punto del objeto a seguir, es deducida a continuación del conjunto de estas posiciones sucesivas.

No se conoce ninguna aplicación práctica de este procedimiento.

En efecto, este procedimiento requiere el tratamiento de un número importante de datos.

55 Por otra parte, la precisión de los resultados obtenidos es reducida, puesto que este procedimiento no permite limitar la zona de investigación. Por lo tanto, el riesgo de error, debido a ruidos es importante. La precisión depende, por lo tanto, notablemente, de la calidad de las imágenes.

60 Efectivamente, en especial, la presencia de sombras puede falsear la detección de la posición del objeto y puede hacer que la curva conseguida, destinada a ilustrar la trayectoria del objeto, carezca de toda adecuación.

Lo mismo ocurre cuando varios objetos se encuentran presentes en una misma imagen.

65 Otro procedimiento, llamado de seguimiento secuencial iterativo es utilizado, en especial en aplicaciones robóticas para el control de robots en tiempo real. Permite estimar el estado del objeto en un momento determinado, en función de los datos registrados hasta este momento, así como, posiciones previamente estimadas.

Una aplicación en el sector de carreteras ha sido descrita en el artículo "trajectory measurement of vehicles: a new observation" Y. Goyat, T. Château, L. Trassoudaine, L. Malaterre, A. Riouall, aparecido en las actas de la conferencia RSS (Road Safety and Simulation), 2007.

5

En ciertos casos, la trayectoria es estimada con una precisión insuficiente.

Otra aplicación ha sido descrita en el artículo "Tracking of vehicle trajectory by combining a camera and a laser rangefinder" Y. Goyat, T. Chateau, L. Trassoudaine, paru dans le journal "Machine Vision and Applications", vol. 21, 2010 y publicado anteriormente en línea en 2009. En este artículo, un sistema de medición de la trayectoria de un objeto móvil se describe con un mínimo de un captador de imágenes, una memoria para registrar los datos emitidos por el captador de imágenes, medios de tratamiento de los datos y medios de visualización de la trayectoria modelo conservada, según el preámbulo de la reivindicación 16. En este artículo, se generan trayectorias modelo con un filtro específico (conocido también como "Método de Montecarlo secuencial") que requiere procesadores muy potentes.

10

15

La invención tiene, por lo tanto, como objeto aliar los inconvenientes de los procedimientos y de los sistemas conocidos, proponiendo un sistema que puede ser desplazado de manera fácil y rápida de un lugar de observación a otro y que facilite informaciones completas y precisas sobre la trayectoria de un objeto móvil en un lugar determinado.

20

La invención tiene igualmente por objeto, un procedimiento puesto en práctica, gracias a este sistema que permite medir la trayectoria de un objeto móvil pasivo, con una precisión importante y que permite reducir considerablemente el tiempo de tratamiento de los datos utilizados.

25

Por lo tanto, la invención se refiere a un procedimiento de medición de la trayectoria de un objeto móvil pasivo en un lugar determinado, que comprende las etapas siguientes:

30

- (a) captación de datos relativos al desplazamiento de dicho objeto en dicho lugar, incluyendo estos datos, como mínimo, imágenes sucesivas de dicho objeto en el curso de su desplazamiento
- (b) registro de dichos datos
- (c) fijación de una trayectoria modelo inicial
- (d) comparación entre la trayectoria modelo inicial y cada imagen, para determinar un índice de verosimilitud (C_0) de la trayectoria inicial (T_0)
- (e) generación de una primera trayectoria modelo (T_1) a partir de la trayectoria modelo inicial (T_0)
- (f) comparación entre la primera trayectoria modelo (T_1) y cada imagen de los datos registrados para determinar un índice de verosimilitud (C_1) de la primera trayectoria modelo
- (g) elección entre las trayectorias T_0 y T_1 , en función de la relación C_1/C_0
- (h) generación de una nueva trayectoria modelo, en base a la trayectoria retenida
- (i) repetición de las etapas (f), (g) y (h), de manera que se generan n trayectorias modelo ($T_{i, i=2 \text{ a } n}$), con un índice de verosimilitud ($C_{i, i=2 \text{ a } n}$), siendo n un número entero superior a 2
- (j) elección entre las n trayectorias modelo, en función de su índice de verosimilitud.

35

40

45

De manera preferente, en la etapa (a) los datos son detectados en una referencia GPS.

En la etapa (c), en una primera variante, la trayectoria modelo inicial es independiente del lugar en el que se pone en práctica el procedimiento y, en una segunda variante, la trayectoria modelo inicial es determinada en función de las características del lugar.

50

De manera preferente, en las etapas (d) y (f), la comparación entre una trayectoria modelo y las imágenes registradas se efectúa imagen por imagen, asociando cada una de ellas al punto correspondiente de la trayectoria modelo, en función del tiempo.

55

De este modo, cada punto de la trayectoria modelo que está representado por un modelo de vehículo, la comparación consiste en determinar el porcentaje de puntos de la imagen correspondiente al vehículo, que se encuentran en el interior del modelo del vehículo proyectado sobre dicha imagen.

60

De manera preferente, la etapa (d) está precedida de una etapa de extracción de un conjunto limitado de imágenes del objeto, a partir de los datos registrados, siendo efectuadas las comparaciones de las etapas (d) y (f) sobre la base este conjunto limitado.

Igualmente de manera preferente, la etapa (d) está precedida de una etapa de tratamiento de las imágenes para eliminar el fondo y no conservar más que los puntos relativos al objeto.

65

En una forma preferente de puesta en práctica del procedimiento, en el curso de la etapa (g), la trayectoria T_{i+1} está afectada de la probabilidad: $\min(1, C_{i+1}/C_i)$.

De esta manera, cuando la relación C_{i+1}/C_i es inferior a 1, en una primera variante, un número comprendido entre 0 y 1 es escogido al azar, reteniéndose la trayectoria T_{i+1} si la relación C_{i+1}/C_i es superior a este número.

5 En una segunda variante, se retiene la trayectoria T_i .

En una forma preferente de puesta en práctica del procedimiento, en las etapas (e) y (h), la generación de una trayectoria modelo es realizada modificando, como mínimo, un parámetro de la trayectoria modelo precedente.

10 En una primera variante, la repetición prevista en la etapa i y se puede realizar n-1 veces, siendo el número n predeterminado, en especial inferior o igual a 200.

En una segunda variante, la etapa de repetición (i) finaliza cuando la nueva trayectoria modelo generada en la etapa (h) es idéntica a la trayectoria de modelo precedente, durante una serie de veces predeterminada.

15 El procedimiento, según la invención comprende ventajosamente una etapa (k) de visualización de la trayectoria modelo conservada.

20 La invención se refiere igualmente a un procedimiento de medición del tráfico en una rotonda, en la que desembocan n vías de entrada y m vías de salida y en la que circula una serie de objetos móviles pasivos, comprendiendo las etapas siguientes:

- puesta en práctica del procedimiento de medición de la trayectoria, según la invención, para cada uno de los objetos que circulan en dicha rotonda para medir su trayectoria entre una vía de entrada y una vía de salida de dicha rotonda y
- análisis de las trayectorias obtenidas para establecer una matriz de entrada/salida de dichos objetos sobre dicha rotonda.

30 La invención se refiere igualmente a un sistema de medición de la trayectoria de un objeto móvil pasivo en un lugar determinado, comprendiendo:

- como mínimo un captador de imágenes sucesivas de dicho objeto cuando tiene lugar su desplazamiento
- una memoria para registrar los datos procedentes de dicho, como mínimo, un captador
- medios de tratamiento de dichos datos según las etapas (c) a (j) del procedimiento según la invención y
- medios de indicación de la trayectoria modelo retenida.

El captador de imágenes puede consistir en una cámara de vídeo o en un telémetro láser.

40 El sistema presenta preferentemente medios de calibrado de dichos captadores con respecto a una referencia GPS así como una base de tiempo común a todos los captadores.

La invención se comprenderá mejor así como otros objetivos, ventajas y características de la misma aparecerán más claramente por la lectura de la descripción siguiente que hará referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

- la figura 1 representa un ejemplo de realización de un sistema según la invención que permite la medición de la trayectoria de un objeto móvil,
- la figura 2 comprende las figuras 2a y 2b que muestran el principio de funcionamiento de un telémetro láser,
- la figura 3 comprende las figuras 3a y 3b que muestran una etapa de tratamiento previo de las imágenes de vídeo,
- la figura 4 muestra un ejemplo de la evolución temporal discreta del ángulo de curvatura $\delta_k(k)$, en la salida de la curva, con los parámetros asociados,
- la figura 5 muestra una trayectoria modelo para un vehículo que circula en la curva mostrada en la figura 1,
- la figura 6 muestra un ejemplo de modelo de vehículo utilizado para poner en práctica la etapa de comparación del procedimiento según la invención,
- la figura 7 muestra para una imagen de tipo vídeo, un ejemplo de puesta en práctica de la etapa de comparación entre la imagen y la trayectoria modelo,
- la figura 8 muestra una representación de los ecos láser simulados en un punto de la trayectoria modelo mostrada en la figura 5,
- la figura 9 muestra en una imagen de tipo eco láser, los ecos reales (\oplus) y los ecos simulados (+) obtenidos a partir de una trayectoria modelo,
- la figura 10 muestra un haz de trayectorias medidas por el procedimiento según la invención, para vehículos que circulan sobre la parte de arriba de una curva,
- la figura 11 muestra, dentro del ámbito de un ensayo, la precisión (%) en función de una tolerancia de posición (cm) para el procedimiento de seguimiento secuencial iterativo (C1) y el procedimiento según la invención (C2)
- la figura 12 muestra, en el ámbito del mismo ensayo que en la figura 11, la precisión (%) en función de una tolerancia de dirección (en décimas de grado) para el procedimiento de seguimiento iterativo (C1) y para el procedimiento según la invención (C2),

- la figura 13 muestra un haz de trayectorias medidas por el procedimiento según la invención para vehículos que circulan en una rotonda y
- la figura 14 muestra un haz de trayectorias medidas por el procedimiento según la invención para vehículos que circulan más arriba de un peaje de autopista.

5 Los elementos comunes a las diferentes figuras serán designados por las mismas referencias.

Se hace referencia en principio a la figura 1 que muestra muy esquemáticamente el sistema según la invención, que permite la medición de la trayectoria de un objeto móvil y en especial de un vehículo.

10 Este sistema presenta un conjunto de cámaras -1-, en este caso en número de dos. Estas cámaras están dispuestas en un poste -2-. En este ejemplo, el poste está dispuesto aproximadamente a 5 m de altura con respecto al nivel del suelo -3- y sensiblemente en el centro de la zona a observar.

15 La zona a observar es en este caso una curva -5- de una carretera.

El sistema según la invención permite determinar la trayectoria de un vehículo que se desplaza sobre la pista de la derecha de la curva según la dirección mostrada por la flecha -F-.

20 El sistema presenta igualmente un telémetro láser -4-, dispuesto al pie del poste -2-.

Las cámaras utilizadas registran un flujo de vídeo de color no comprimido con una cadencia de 30 imágenes por segundo. Pueden tener formato VGA (resolución 640 x 480) y de forma preferente, con iris automático.

25 La figura 1 muestra la zona de observación -11- de la cámara -10- o cámara de "llegada" y la zona de observación -13- de la cámara -12-, llamada "de salida".

En el ejemplo mostrado, el alcance eficaz de las cámaras utilizadas es aproximadamente de 50 m.

30 En este ejemplo, el telémetro láser dispara 180 proyecciones láser sobre una amplitud de 180°. La zona cubierta por el telémetro láser se ha mostrado esquemáticamente por el semidisco -14-.

El barrido de esta zona -14- es efectuado típicamente en 25 ms y este telémetro láser permite detectar los obstáculos situados aproximadamente a 80 cm por encima del suelo.

35 Se comprenderá que con esta disposición de las cámaras -10- y -12- y del telémetro láser -4-, este último permite obtener datos en la parte central de la curva -5- así como en los campos de visión -11- y -13- de las cámaras.

De manera preferente, el sistema presenta igualmente, más arriba de la zona a observar, medios, por ejemplo, células láser, que permite detectar la llegada del vehículo en esta zona y poner en marcha el funcionamiento de las cámaras y del telémetro láser.

40 El sistema según la invención presenta igualmente medios para el almacenamiento de los datos que proceden de las cámaras y del telémetro láser. Se trata de un equipo informático y en especial un PC de captación.

45 Los datos procedentes de las cámaras o del telémetro láser constituyen imágenes sucesivas de un objeto móvil, en especial un automóvil, cuando tiene lugar su desplazamiento en la zona de observación.

50 En el conjunto de la descripción, se comprende por el término "imagen", un conjunto de puntos de medición referenciados especialmente, correspondiendo cada punto a una intensidad luminosa o a una distancia.

De esta manera, cada cámara de vídeo permite captar una serie de imágenes basadas en una medición de intensidad luminosa. Cada punto de medición corresponde a un píxel de la imagen.

55 Un telémetro láser permite captar imágenes basadas en una medición de distancia.

En efecto, el telémetro láser envía proyecciones de láser y registra las coordenadas polares del eco de las que se deduce la distancia entre el objeto y el telémetro. La medición de distancia se basa en general en el tiempo de desplazamiento, ida y vuelta, de un haz de láser sobre un objetivo, en este caso el objeto móvil.

60 Se hará referencia a continuación a la figura 2 que muestra esquemáticamente el funcionamiento de un telémetro.

De este modo, el telémetro -4- envía con intervalos de tiempo discretos una proyección de láser con un alcance aproximado de 80 m en su campo de visión. Efectúa de esta forma 180 proyecciones láser sobre una amplitud de 180°, cada 20 ms. Es lo que muestra la figura 2a.

65

Al interceptar un obstáculo, por ejemplo, un vehículo, la proyección láser devuelve un eco que permite conocer la distancia del obstáculo con respecto al telémetro. El telémetro permite de esta manera facilitar coordenadas polares (ρ , θ) y cartesianas (x , y) de los 180 ecos. La imagen llamada "eco láser" facilitada por el telémetro se ha mostrado en la figura 2b presentando una serie de puntos.

5 En la práctica, como máximo dos lados del vehículo pueden ser alcanzados por una proyección láser puesto que no atraviesa los obstáculos.

10 De este modo, la figura 2a muestra un conjunto de puntos -43- que corresponden a un vehículo, del que dos de ellos han sido alcanzados por proyecciones láser.

15 Se comprende que, según la posición del vehículo en la zona a observar, los ecos láser se presentarán en forma de un solo segmento o de dos segmentos, eventualmente en posición inversa con respecto a los dos segmentos del conjunto -43-.

Se pueden utilizar igualmente cámaras que permite facilitar directamente imágenes de las que cada píxel es un eco láser.

20 El sistema mostrado en la figura 1 presenta simultáneamente cámaras vídeo y un telémetro láser.

Se podría prever utilizar solamente cámaras vídeo o incluso un telémetro láser. Se puede asegurar la utilización de un solo tipo de captador conduce a una precisión más reducida.

25 Por otra parte, el número de cámaras puede variar entre 1 y 3. De este modo, una tercera cámara puede ser dispuesta en el poste de manera que su campo de visión esté situado entre los -11- y -13- de las cámaras -10- y -12-.

30 Se debe observar que un telémetro láser permite facilitar informaciones más precisas, en especial cuando las condiciones exteriores no permiten la utilización de las imágenes de vídeo. Este es especialmente el caso durante la noche. Por otra parte, las imágenes de láser presentan la ventaja de coincidir con el contorno del vehículo puesto que no generan sombras, al contrario de las imágenes de vídeo.

35 Por el contrario, en tiempo de niebla, los únicos datos utilizables son los que proceden de las cámaras. Por lo tanto, los dos tipos de captadores son complementarios.

Es necesario, desde luego, que todos los captadores faciliten datos con una referencia común.

40 Dentro del marco de la invención, se ha decidido efectuar un calibrado para que todos los datos sean generados en un GPS de referencia.

Este calibrado puede ser realizado haciendo pasar un vehículo dotado de un sistema GPS con precisión de centímetros, por delante de los diferentes captadores.

45 Las mediciones procedentes de los captadores son comparadas a continuación a las mediciones realizadas por el sistema GPS.

Por otra parte se realiza una sincronización temporal de los diferentes captadores de modo permanente. Se asocian, por lo tanto, a una misma base de tiempo que es igualmente la base de tiempo del GPS utilizado para el calibrado.

50 El sistema según la invención presenta igualmente medios, típicamente medios informáticos, que permiten tratar los datos procedentes de las cámaras y del telémetro láser. Estos medios de tratamiento ponen en práctica el procedimiento según la invención, para medir la trayectoria de un objeto móvil, por ejemplo, un vehículo.

55 El sistema según la invención presenta finalmente medios de señalización de la trayectoria medida gracias al procedimiento según la invención.

De este modo, el procedimiento según la invención que permite la medición de la trayectoria del objeto móvil se pone en práctica en base a los datos registrados, después de su captación por cámaras de vídeo y telémetro láser.

60 En la práctica, los datos registrados son sometidos, de manera ventajosa, a una etapa de tratamiento previo que permite eliminar el fondo para conservar solamente los puntos de medición relativos al objeto.

Tal como se apreciará en la descripción siguiente, esta etapa de tratamiento permite aumentar la precisión de la trayectoria obtenida.

65

En lo que respecta a las imágenes de tipo vídeo, esta etapa de tratamiento permite eliminar los píxeles que no corresponden a una forma móvil.

5 De este modo, esta etapa de tratamiento permite eliminar el fondo de la imagen y en especial la sombra del vehículo proyectada sobre el suelo. En caso contrario, la sombra puede ser confundida con la forma móvil del vehículo, lo que constituye una fuente de errores cuando se intenta medir su trayectoria. Otra fuentes de errores pueden ser igualmente disminuidas o incluso suprimidas. Por ejemplo, los cambios bruscos de las condiciones de insolación, los vehículos oscuros que pueden ser considerados como formando parte del fondo de la imagen, la presencia del
10 vehículo del que se intenta determinar la trayectoria en una hilera de vehículos que se aproximan, la presencia de dos vías de circulación para los vehículos mientras que interesan solamente los vehículos que circulan en una sola vía.

A título de ejemplo, se puede citar un método que permite la supresión de las sombras.

15 Tal como se ha indicado anteriormente, es necesario evitar que la sombra sea considerada como perteneciente a la forma.

Conviene, por lo tanto, identificar la sombra con la finalidad de poder borrarla.

20 En el marco de la invención, esta separación se basa en un método de binarización que se basa en separar los píxeles de las imágenes en dos clases de gris, teniendo la primera un nivel máximo y la segunda un nivel mínimo.

25 Este método es el que se denomina de manera clásica binarización. Este método consiste en atribuir inicialmente un nivel de gris a cada píxel de las imágenes. A continuación, los valores obtenidos son comparados con un umbral determinado. Todos los puntos que tengan un nivel de gris inferior a este umbral son identificados como pertenecientes a la sombra del vehículo.

30 A título de ilustración, se puede hacer referencia a la figura 3. La figura 3a muestra una imagen de vídeo registrada. La figura 3b muestra esta misma imagen después de tratamiento.

Los puntos que se muestran en color gris claro se conservan y pertenecen al objeto móvil. El fondo de la imagen, comprendiendo la sombra del vehículo, aparecen en color negro o gris oscuro y son suprimidos inmediatamente.

La calidad del resultado del tratamiento depende de las imágenes registradas.

35 Según los casos, puntos identificados como pertenecientes al objeto móvil pueden pertenecer, en la práctica, a la sombra del vehículo.

40 Se pueden citar otros procedimientos conocidos que permiten extraer el fondo de las imágenes, tal como, por ejemplo, el que se describe en el artículo de C. Stauffer y W. Eric L. Grimson "Learning patterns of activity using real-time tracking" (aparecido en IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 22 (8).- Agosto 2000). Este procedimiento es llamado procedimiento de sustracción de fondo por mezcla de gaussianas.

45 Otro método de binarización, llamado método Vue-Mètre, se describe en el artículo de Goyat Y., Chateau Th., Malaterre L. y Trassoudaine L. (2006), "Vehicle Trajectories Evaluation by Static Video Sensors", aparecido en ITSC06 2006 - 9th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems.

En lo que respecta a las imágenes de tipo "eco láser", esta etapa de tratamiento permite eliminar los ecos que no corresponden a una forma móvil.

50 De este modo, la figura 2b muestra que todos los ecos registrados no pertenecen necesariamente a un objeto móvil.

55 De este modo, el punto -41- corresponde a un obstáculo imprevisto, por ejemplo, un mojón o un árbol. Igualmente, los puntos situados sobre el arco de círculo -42- corresponden a proyecciones que no han alcanzado ningún obstáculo en su trayectoria. En efecto, en este caso, el telémetro registra un eco correspondiente a su alcance máximo.

60 Este tratamiento consiste, por lo tanto, de manera inicial en distinguir, para cada imagen, los ecos que pertenecen al vehículo de los ecos que pertenecen al entorno o incluso al fondo.

Esta etapa puede ser puesta en práctica realizando previamente una imagen láser del fondo y después comparándola con cada imagen de forma que se sustraiga de cada una de estas imágenes los ecos identificados como pertenecientes al fondo.

65 Se pueden prever otras etapas de tratamiento de las imágenes de tipo "eco láser" para eliminar los ruidos, es decir, los ecos parásitos.

En el ejemplo mostrado en la figura 2b, este tratamiento previo consiste, por lo tanto, en eliminar los puntos situados sobre el arco de círculo -42- y el punto -41-.

5 A continuación se describirán diferentes etapas del procedimiento según la invención.

Este procedimiento se basa en la utilización de trayectorias modelo.

10 Se comprende en este caso por “trayectoria modelo” una trayectoria modelizada por parámetros. Estos parámetros pueden ser magnitudes físicas o un conjunto de puntos de la trayectoria a partir del cual la trayectoria completa puede ser obtenida por interpolación.

15 Se recordará que las instrucciones del conductor sobre su vehículo son el ángulo de giro de las ruedas y la velocidad longitudinal o incluso la aceleración del vehículo.

Por lo tanto, cuando la trayectoria modelo es parametrizada a partir de magnitudes físicas, ésta consiste en la posición inicial (x_0, y_0) del vehículo y su orientación inicial (β_0) , la evolución de la aceleración o de la velocidad (v_k) y la evolución del ángulo de giro (δ_k) en función del tiempo.

20 En la práctica, todos los parámetros a considerar son un total de 11, para cualquier tipo de trayectoria.

Se tomará en principio como ejemplo una trayectoria modelo adaptada a una curva y basada en magnitudes físicas.

25 La experiencia demuestra que, en una curva, el ángulo de giro y la velocidad de un vehículo ligero pueden ser modelizados por sigmoides. En la práctica, la curva puede ser descompuesta en tres fases (entrada, centro y salida de la curva), debiendo comprender que un sigmoide específico es asociado a cada fase, tanto para el ángulo de giro como para la velocidad del vehículo.

30 El ejemplo siguiente está centrado en la modelización de la salida de la curva. De este modo, en la salida de la curva la trayectoria del vehículo es representada por un vector de estado aleatorio $X = (x_0, y_0, \beta_0, \theta_\delta, \theta_v)^T$ siendo:

- (x_0, y_0, β_0) representa la posición inicial y la orientación del vehículo.
- $\theta_\delta = \theta_{\delta,1}, \dots, \theta_{\delta,4}$ son los parámetros de la función sigmoide $\delta_k = f_\delta(\theta_{\delta,k})$ que representa la evolución temporal discreta del ángulo de giro.
- $\theta_v = \theta_{v,1}, \dots, \theta_{v,4}$ son los parámetros de la solución sigmoide $v_k = f_v(\theta_{v,k})$ que representa la evolución temporal discreta de la velocidad del vehículo.

La evolución temporal discreta del ángulo de giro viene dada por la fórmula siguiente:

$$f_\delta(\theta_\delta, t) = \frac{\theta_{\delta,2}}{1 + \exp\left[\frac{\theta_{\delta,3}(\theta_{\delta,4} - t)}{|\theta_{\delta,2}|}\right]} + \theta_{\delta,1} \quad (1)$$

40

en la que los coeficientes $\theta_{\delta,1}$, $\theta_{\delta,2}$, $\theta_{\delta,3}$ y $\theta_{\delta,4}$ se han mostrado en la figura 4 y están definidos por:

- $\theta_{\delta,1}$: valor mínimo del ángulo de giro
- $\theta_{\delta,2}$: valor máximo del ángulo de giro
- $\theta_{\delta,3}$: variación máxima del ángulo de giro y
- $\theta_{\delta,4}$: momento en el que la variación del ángulo de giro es máxima (correspondiente a $\theta_{\delta,3}$).

50 La evolución temporal de la velocidad del vehículo es obtenida a partir de la fórmula (1) sustituyendo el índice δ por el índice v .

Como variante, una trayectoria puede ser modelizada a partir de un conjunto de puntos que se denominarán a continuación en la descripción “puntos de control”.

55 Estos puntos se escogen evidentemente en función de la zona a observar.

En la práctica, estos puntos de control consisten en puntos de paso obligado del vehículo en la calzada, en función de las limitaciones del lugar.

60 La trayectoria modelo es obtenida a continuación de manera clásica por interpolación.

- 5 En el caso de una curva -5a- del tipo que se ha mostrado en la figura 1, un ejemplo de trayectoria modelo -15- con sus diferentes puntos de control -16- se ha mostrado en la figura 5. De manera general, se considera que una trayectoria modelo correspondiente a una curva se puede obtener a partir de cuatro puntos de control. En efecto, se parte de la hipótesis de que el objeto móvil observado tiene una trayectoria alisada. Se debe entender que el número de puntos de control se escoge en función del lugar a observar.
- A cada punto de control están asociados dos parámetros que corresponden a las coordenadas cartesianas de cada punto en la referencia GPS.
- 10 El procedimiento según la invención requiere en principio la fijación de una trayectoria modelo inicial.
- Esta trayectoria modelo inicial puede ser genérica, es decir, independiente del lugar en el que el procedimiento se pone en práctica.
- 15 De manera preferente, esta trayectoria modelo inicial es determinada en función de las características del lugar. Esta elección permite, en general, determinar más rápidamente la trayectoria del vehículo observado.
- En la primera variante mencionada anteriormente, la trayectoria modelo inicial es determinada escogiendo un valor inicial para cada uno de los parámetros $\theta_{\delta} = (\theta_{\delta,1}, \theta_{\delta,2}, \theta_{\delta,3}, \theta_{\delta,4})$ y $\theta_v = (\theta_{v,1}, \theta_{v,2}, \theta_{v,3}, \theta_{v,4})$.
- 20 En la segunda variante, los puntos de control son fijados en una posición inicial en la referencia GPS.
- Una vez fijada una trayectoria modelo inicial, el procedimiento según la invención consiste en proceder a comparaciones entre esta trayectoria modelo inicial y cada una de las imágenes registradas, para determinar el índice de probabilidad C_0 de esta trayectoria modelo inicial.
- 25 Como variante, las comparaciones se efectúan en base a un conjunto limitado de imágenes del objeto, extraído de los datos registrados.
- 30 Para imágenes de tipo vídeo, por ejemplo, se procede a una segmentación del vídeo registrado para extraer secuencias de interés, es decir, secuencias en las que un vehículo circula efectivamente por el lugar observado.
- En la continuación de la descripción del procedimiento, se basará sobre una trayectoria modelo inicial del tipo mostrado en la figura 5, es decir, basada en un conjunto de puntos de control.
- 35 Esta etapa de comparación utiliza un modelo geométrico tridimensional simplificado del vehículo que se va a seguir.
- Un ejemplo de este modelo es el que se ha mostrado en la figura 6.
- 40 Se trata de un modelo constituido como mínimo por un paralelepípedo, en este caso dos, que es utilizado para todos los datos registrados.
- Igualmente se puede redimensionar para cada vehículo seguido gracias a mediciones realizadas con el telémetro láser en el registro de las imágenes.
- 45 De este modo, para cada imagen i de tipo vídeo, la comparación entre la trayectoria modelo inicial y esta imagen es realizada inicialmente asociándola a un punto correspondiente de la trayectoria modelo inicial, en función del tiempo, y a continuación materializando este punto por un modelo de vehículo y proyectando éste sobre la imagen.
- 50 La figura 7 muestra un ejemplo de imagen del tipo vídeo en la que se ha proyectado un modelo de vehículo.
- Se determina a continuación el porcentaje de píxeles de la imagen identificados como pertenecientes al objeto móvil que se encuentra en el interior del modelo de vehículo proyectado.
- 55 A partir de este porcentaje se calcula un índice de verosimilitud C_i^0 de la trayectoria inicial T_0 para esta imagen i .
- Este cálculo de índice de verosimilitud es efectuado para cada imagen i . El índice de verosimilitud C_0 de la trayectoria inicial completa se obtiene sumando tomando todos los índices de verosimilitud C_i^0 asociados a cada una de las imágenes i .
- 60 Cuando la comparación se efectúa con imágenes de tipo eco láser, es conveniente en principio establecer una imagen del mismo tipo correspondiente a la trayectoria inicial T_0 .
- 65 Este tratamiento consiste en similar los ecos láser obtenidos para un vehículo modelo que se desplaza en la trayectoria modelo inicial.

De este modo, cada punto de la trayectoria modelo inicial es materializado por un modelo del vehículo del tipo mostrado en la figura 6.

- 5 Se simula entonces un barrido de la zona de interés por una proyección láser, se registran coordenadas polares del eco y se deduce la distancia entre el objeto y el punto del que salen las proyecciones láser simuladas.

Esta simulación permite obtener una imagen de tipo “eco láser” de la trayectoria inicial.

- 10 La figura 8 muestra una representación de los ecos láser -44-, -45- y -46- simulados en tres puntos de la trayectoria modelo mostrada en la figura 5.

- 15 Una vez la trayectoria modelo inicial ha sido transformada en representación de tipo “eco láser”, la comparación entre la trayectoria modelo inicial y cada una de las imágenes se realiza asociando cada imagen del tipo “eco láser” real a la imagen modelizada correspondiente, en función del tiempo. La imagen modelizada es proyectada a continuación sobre la imagen real.

- 20 La figura 9 muestra en un instante determinado los ecos reales (\oplus) y los ecos simulados (+) sobre el modelo 3D del vehículo cuya posición está referencia en abscisas y ordenadas (cm). También en este caso, el índice de verosimilitud es calculado imagen por imagen.

Para cada imagen i , el índice de verosimilitud C_i , es calculado midiendo las distancias entre los puntos de la imagen “eco láser” simulada y la imagen láser real.

- 25 En la práctica, para cada punto de la imagen “eco láser” real, se busca el punto de la imagen “eco láser” simulado que es más próximo y se memoriza la distancia correspondiente a cada par “imagen real-imagen simulada”. Entre todos los pares, se retiene la distancia más importante. Este valor es el índice de verosimilitud C_i asociado a la imagen simulada (i).

- 30 Igual que para imágenes vídeo, el índice de verosimilitud C_0 de la trayectoria modelo inicial completa se obtiene sumando todos los índices de verosimilitud C_i asociados a cada una de las imágenes i de tipo “eco láser”.

- 35 Este cálculo del índice de verosimilitud C_0 de la trayectoria modelo inicial se efectúa para los datos procedentes de cada uno de los captadores, cámaras de vídeo y/o telémetro láser.

- De este modo, cuando se utilizan varios captadores, el índice de verosimilitud retenido para la trayectoria modelo inicial corresponde a la suma de los índices de verosimilitud obtenidos para cada uno de los captadores.

- 40 Una vez conocido el índice de verosimilitud C_0 de la trayectoria inicial T_0 , la etapa siguiente del procedimiento consiste en generar una primera trayectoria modelo T_1 a partir de la trayectoria modelo inicial.

- 45 En el caso en el que las trayectorias modelo se basan en un conjunto de puntos de control, la generación de esta primera trayectoria modelo T_1 es efectuada modificando la posición de uno de los puntos de control. Este punto de control puede ser escogido al azar.

- 50 En el caso en el que la trayectoria modelo se basa en parámetros del tipo de magnitudes físicas, la primera trayectoria modelo es obtenida modificando uno de los parámetros retenidos. De este modo, en el ejemplo mencionado anteriormente, con respecto a una trayectoria modelo a la salida de una curva, la primera trayectoria modelo T_1 puede ser obtenida modificando uno de los parámetros de la función sigmoide que representa la evolución temporal discreta de la velocidad del vehículo.

El procedimiento consiste a continuación en comparar esta primera trayectoria modelo T_1 a cada imagen de los datos registrados, para determinar el índice de verosimilitud C_1 de esta primera trayectoria modelo.

- 55 La comparación se efectúa según los mismos principios que se han descrito para la trayectoria modelo inicial.

La etapa siguiente del procedimiento consiste en efectuar una elección entre las trayectorias T_0 y T_1 , cuya elección se basa en la relación de los índices de verosimilitud C_1/C_0 .

- 60 De manera general, la primera trayectoria modelo está afectada de la probabilidad siguiente: $\min(1, C_1/C_0)$.

Por lo tanto, cuando la relación C_1/C_0 es superior a 1, la trayectoria T_1 es retenida.

- 65 Cuando la relación C_1/C_0 es inferior a 1, se pueden prever dos variantes.

La primera variante consiste en retener la trayectoria T_0 .

Esta primera variante se basa en un principio de optimización.

- 5 Otra variante consiste en efectuar la elección de un número entre 0 y 1 y comparar la relación C_1/C_0 al número que ha sido escogido al azar.

La trayectoria T_1 es retenida entonces si la relación C_1/C_0 es superior al número escogido.

- 10 Esta segunda variante se basa en un principio de exploración.

Dentro del marco de la invención es esta segunda variante la que se ha considerado como la más prometedora.

- 15 La etapa siguiente del procedimiento consiste en generar una nueva trayectoria modelo, en este caso la segunda, en base a la trayectoria retenida.

A título de ejemplo, se considera que es la primera trayectoria modelo T_1 la que se ha retenido.

- 20 Tal como se ha explicado anteriormente, esta segunda trayectoria T_2 es obtenida a partir de la primera trayectoria modelo T_1 modificando uno de los parámetros de T_1 .

Igual que en el caso anterior, se efectúa una comparación entre la segunda trayectoria modelo T_2 y cada imagen de los datos registrados, para determinar el índice de verosimilitud C_2 de la trayectoria T_2 , y después se efectúa una elección entre las trayectorias T_1 y T_2 en función de la relación C_2/C_1 .

- 25 El procedimiento según la invención consiste, por lo tanto, en repetir las etapas de comparación de elección y de generación de una nueva trayectoria modelo, de manera que se generen n trayectorias modelo T_i , $i = 2$ a n , estando afectada cada una de ellas por un índice de verosimilitud C_i , variando i entre 2 y n y siendo n un número entero superior a 2.

- 30 Tal como se ha explicado anteriormente, la elección entre dos trayectorias modelo T_i y T_{i+1} se efectúa en función de su índice de verosimilitud C_{i+1} y C_i .

- 35 De este modo, la trayectoria T_{i+1} está afectada de la probabilidad: $\min(1, C_{i+1}/C_i)$.

Es, por lo tanto, la trayectoria T_{i+1} la que es retenida cuando la relación C_{i+1}/C_i es superior a 1.

- 40 En caso contrario, en un enfoque de optimización, es la trayectoria T_i la que se retiene. En un enfoque de exploración, la elección entre T_i y T_{i+1} es efectuada en base a un número comprendido entre 0 y 1 elegido al azar, conservándose la trayectoria T_{i+1} si la relación C_{i+1}/C_i es superior a este número.

Se debe comprender que se fija un límite a esta iteración.

- 45 Cuando el procedimiento se basa en una optimización, se escoge interrumpir las iteraciones cuando la nueva trayectoria modelo generada en el curso del procedimiento es idéntica a la trayectoria modelo precedente, durante un número de veces determinado, por ejemplo, 10. Cuando el procedimiento se basa en una exploración, la repetición de las diferentes etapas mencionadas anteriormente se realiza $n-1$ veces, siendo predeterminado el número n , especialmente inferior o igual a 200.

- 50 De esta forma, el procedimiento según la invención permite determinar una trayectoria representativa de la trayectoria real del vehículo, tal como ha sido registrada por los diferentes captadores.

La trayectoria obtenida es visualizada sobre medios apropiados.

- 55 A título de ejemplo, la figura 10 muestra un haz de trayectorias medidas gracias al sistema y al procedimiento según la invención, en la parte de arriba de una curva.

La trayectoria -70- corresponde a un vehículo que discurre por la línea media de la calzada.

- 60 La trayectoria -71- corresponde a un vehículo que circula muy a la derecha en su vía de circulación. Las trayectorias -72- y -73- corresponden a vehículos que circulan muy a la izquierda, fuera de su vía de circulación.

- 65 La trayectoria -74- es una trayectoria considerada como correcta. En la práctica, en un número importante de vehículos que circulan en la zona observada, la gran mayoría de las trayectorias son detectadas en las proximidades de la línea media. Solamente se han representado algunas trayectorias en la figura 10 por razones de claridad.

Sobre la base de 100 trayectorias de vehículos medidas se pueden establecer los porcentajes siguientes reagrupados en la tabla a continuación:

Posición del borde del vehículo con respecto al marcado central	Proporción de vehículos ligeros
Bien a la derecha	21 %
Longitudinalmente	61 %
Secante	16 %
Muy a la izquierda	2 %

5 Resulta de esta tabla que solamente aproximadamente 1/5 de los usuarios toma la curva de modo conveniente.

En base a este análisis, se ha indicado al gestor de la carretera que el marcado central continuo no era respetado suficientemente y se ha propuesto reforzarlo, por ejemplo, mediante una señal sonora.

10 Por otra parte, se han efectuado comparaciones entre el procedimiento según la invención y el procedimiento llamado de seguimiento secuencial iterativo.

Esta comparación es realizada para los dos parámetros cinemáticos importantes para la comprensión del comportamiento de un conductor: la posición sobre la calzada y el ángulo de giro del vehículo.

15 Los resultados anteriores se han facilitado para un vehículo que circula sobre una curva con un radio de curvatura de 130 m mínimo, y en una distancia aproximada de 100 m. La trayectoria medida por el procedimiento de seguimiento secuencial iterativo y la medida por el procedimiento según la invención se han comparado a la trayectoria medida gracias a un GPS, preciso a centímetros, que equipa el vehículo.

20 Estos resultados corresponden a 20 pasos de este vehículo según trayectorias diferentes y velocidades comprendidas entre 40 y 80 km/h.

25 La tabla siguiente presenta el error medio y la desviación tipo correspondiente para las dos magnitudes medidas, posición y dirección, y para cada uno de los dos procedimientos, procedimiento de seguimiento secuencial iterativo y procedimiento según la invención.

Se debe observar que el ángulo al volante se puede deducir de la dirección.

PROCEDIMIENTO	POSICIÓN (cm)		DIRECCIÓN (grados)	
	ERROR MEDIO	DESVIACIÓN TIPO	ERROR MEDIO	DESVIACIÓN TIPO
Procedimiento de seguimiento secuencial iterativo	0,27	0,26	3,67	3,36
Procedimiento según la invención	0,20	0,22	1,12	0,97

30 Esta tabla muestra que el procedimiento según la invención permite medir las trayectorias de un vehículo con una precisión más importante gracias a una precisión más elevada para la medición de la dirección ("cap").

Ello se confirma por las figuras 11 y 12.

35 En la figura 11, la tolerancia de la posición (en abscisas) o error absoluto de posición, está comprendida entre 0 y 50 cm, mientras que en la figura 12, la tolerancia sobre la dirección (en abscisas) o error absoluto de dirección, está comprendida entre 0 y 5 grados.

Para las dos figuras, se entiende por "precisión" el porcentaje de posiciones o de direcciones correctas.

40 La figura 11 y sobre todo la figura 12 muestran que el procedimiento según la invención aporta una mayor precisión en la medición de una trayectoria de vehículo.

45 La figura 13 muestra un haz de trayectorias medidas con el sistema y el procedimiento según la invención, sobre una rotonda, referenciadas en abscisas y ordenadas (en m).

En esta aplicación, el sistema y el procedimiento según la invención permiten formar matrices de entrada-salida de los vehículos para conocer cómo se desarrolla el tráfico en la rotonda.

Este análisis puede desembocar en una adaptación de la señalización, por ejemplo, activando luces tricolores a ciertas horas del día y en ciertos días de circulación.

5 Su aplicación principal es la de permitir comprobar modificaciones de una rotonda utilizando los datos captados con modelos virtuales conocidos.

Estas pruebas permiten determinar las modificaciones más eficaces para regular el tráfico y, por lo tanto, no proceder a trabajos importantes si no es a ciencia cierta.

10 La figura 14 muestra un haz de trayectorias medidas con el sistema y procedimiento según la invención, más arriba de un peaje de autopista, referenciadas en abscisas y ordenadas (en m).

15 Este análisis permite comprender mejor el comportamiento de los conductores en una zona en la que se producen numerosos accidentes a causa de cambios de vía extemporáneos.

Una de las aplicaciones sería comprobar marcas en el suelo para guiar a los conductores y evitar los cambios de vía.

20 La descripción anterior se ha realizado esencialmente para la medición de un vehículo que circula sobre una calzada. No obstante, el procedimiento según la invención puede ser aplicado a la medición de la trayectoria de cualquier objeto móvil pasivo.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de medición de la trayectoria de un objeto móvil pasivo en un lugar determinado, que comprende las etapas siguientes:
- 5 (a) captación de datos relativos al desplazamiento de dicho objeto en dicho lugar, incluyendo dichos datos como mínimo imágenes sucesivas de dicho objeto en el curso de su desplazamiento
 (b) registro de dichos datos
 (c) fijación de una trayectoria modelo inicial
 10 (d) comparación entre la trayectoria modelo inicial y cada una de las imágenes, para determinar un índice de verosimilitud (C_0) de la trayectoria inicial (T_0)
 (e) generación de una primera trayectoria modelo (T_1) a partir de una trayectoria modelo inicial (T_0)
 (f) comparación entre la primera trayectoria modelo (T_1) y cada una de las imágenes de los datos registradas para determinar un índice de verosimilitud (C_1) de la primera trayectoria modelo
 15 (g) elección entre las trayectorias T_0 y T_1 , en función de la relación C_1/C_0
 (h) generación de una nueva trayectoria modelo, en base a la trayectoria retenida
 (i) repetición de las etapas (f), (g) y (h), a modo de generar n trayectorias modelo ($T_{i,i=2 \text{ a } n}$), con un índice de verosimilitud ($C_{i,i=2 \text{ a } n}$), siendo n un número entero superior a 2
 20 (j) elección entre las n trayectorias modelo, en función de su índice de verosimilitud.
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que, en la etapa (a), los datos son detectados en una señalización GPS.
3. Procedimiento, según la reivindicación 1 ó 2, en el que, en la etapa (c), la trayectoria modelo inicial es independiente del lugar en el que el procedimiento es puesto en práctica.
- 25 4. Procedimiento, según la reivindicación 1 ó 2, en el que, en la etapa (c), la trayectoria modelo inicial es determinada en función de las características del lugar.
- 30 5. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que, en las etapas (d) y (f), la comparación entre una trayectoria modelo y las imágenes registradas se efectúa imagen a imagen, asociando cada una de ellas al punto correspondiente de la trayectoria modelo en función del tiempo.
- 35 6. Procedimiento, según la reivindicación 5, en el que cada punto de la trayectoria modelo está representado por un modelo de vehículo, consistiendo la comparación en determinar el porcentaje de puntos de la imagen correspondientes al vehículo que se encuentra en el interior del modelo de vehículo proyectado sobre dicha imagen.
- 40 7. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la etapa (d) está precedida de una etapa de extracción de un conjunto limitado de imágenes del objeto, a partir de datos registrados, efectuándose las comparaciones de las etapas (d) y (f) en base a este conjunto limitado.
- 45 8. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la etapa (d) es precedida de una etapa de tratamiento de las imágenes para eliminar el fondo y conservar solamente los puntos relativos al objeto.
9. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que en el curso de la etapa (g), la trayectoria T_{i+1} está afectada de la probabilidad: $\min(1, C_{i+1}/C_i)$.
- 50 10. Procedimiento, según la reivindicación 9, en el que, cuando la relación C_{i+1}/C_i es inferior a 1, se escoge al azar un número comprendido entre 0 y 1, conservándose la trayectoria T_{i+1} si la relación C_{i+1}/C_i es superior a este número.
11. Procedimiento, según la reivindicación 9, en el que, cuando la relación C_{i+1}/C_i es inferior a 1, la trayectoria T_i es retenida.
- 55 12. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que en las etapas (e) y (h), la generación de una trayectoria modelo es realizada modificando como mínimo un parámetro de la trayectoria modelo precedente.
13. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la repetición prevista en la etapa (i), es realizada n-1 veces, siendo el número n predeterminado, en especial inferior o igual a 200.
- 60 14. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 9 y 11, en el que la etapa de repetición (i) finaliza cuando la nueva trayectoria modelo generada en la etapa (h) es idéntica a la trayectoria modelo precedente durante un número de veces predeterminado.
- 65 15. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende una etapa (k) de indicación de la trayectoria modelo retenida.

16. Sistema de medición de la trayectoria de un objeto móvil pasivo en un lugar determinado, que comprende:

- 5 - como mínimo, un captador de imágenes sucesivas de dicho objeto cuando tiene lugar su desplazamiento
- una memoria adaptada para registrar los datos procedentes de dicho, como mínimo, un captador
- medios de tratamiento de dichos datos, caracterizado porque dichos medios de tratamiento de dichos datos están adaptados para tratar dichos datos según las etapas (c) a (j) del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 15 y
- 10 - medios de indicación de la trayectoria modelo retenida.

17. Sistema, según la reivindicación 16, que presenta medios de calibrado de dichos captadores con respecto a una referencia GPS y/o una base de tiempo común a todos los captadores.

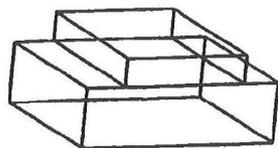
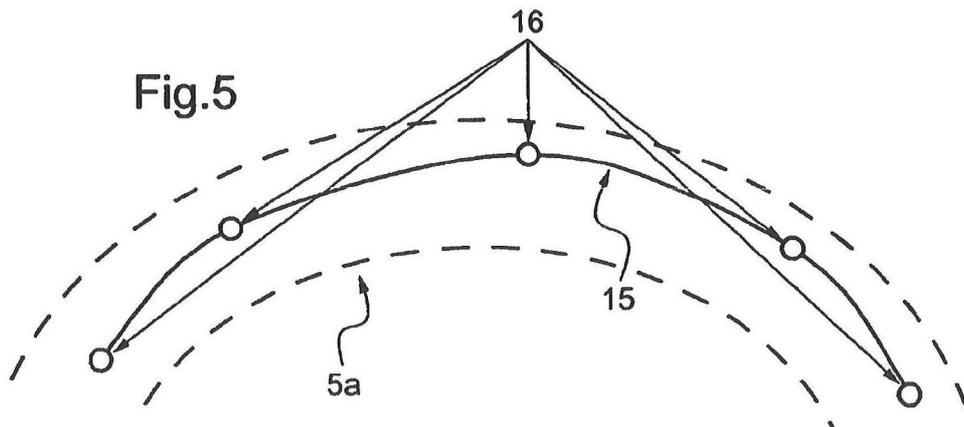
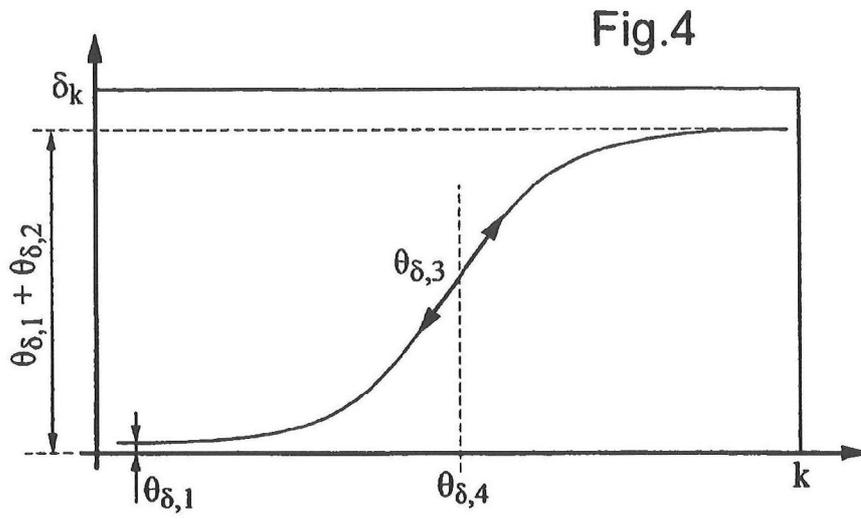


Fig.6

Fig.7

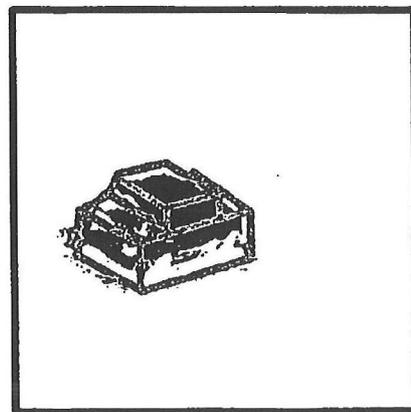
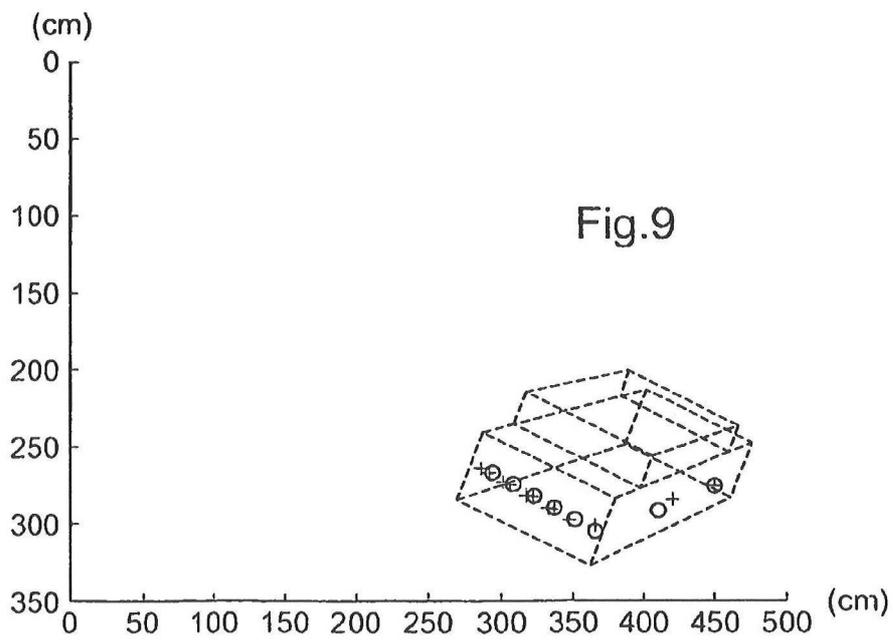
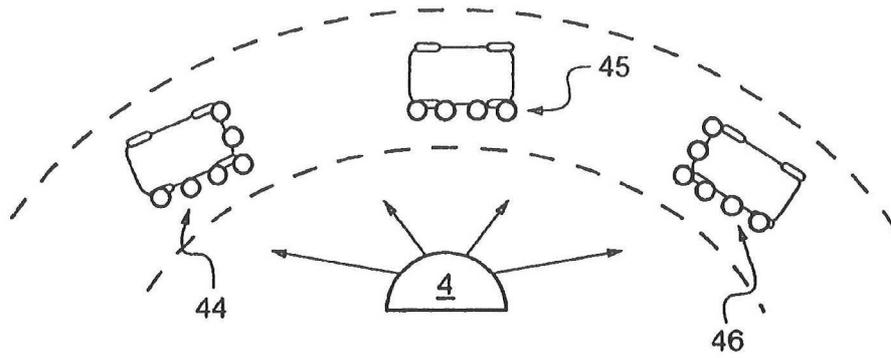


Fig.8



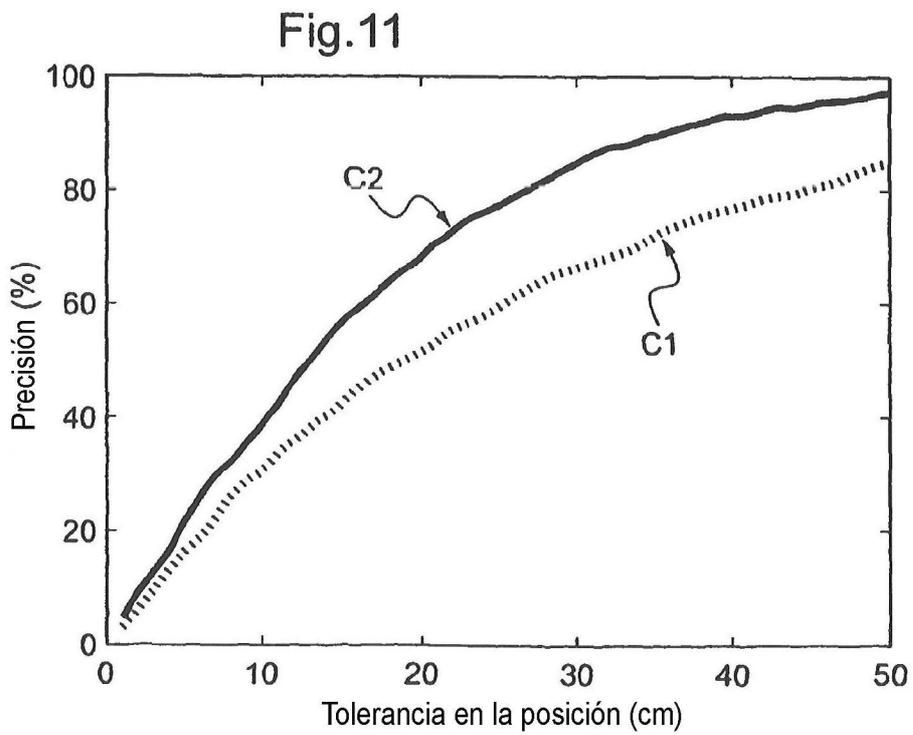
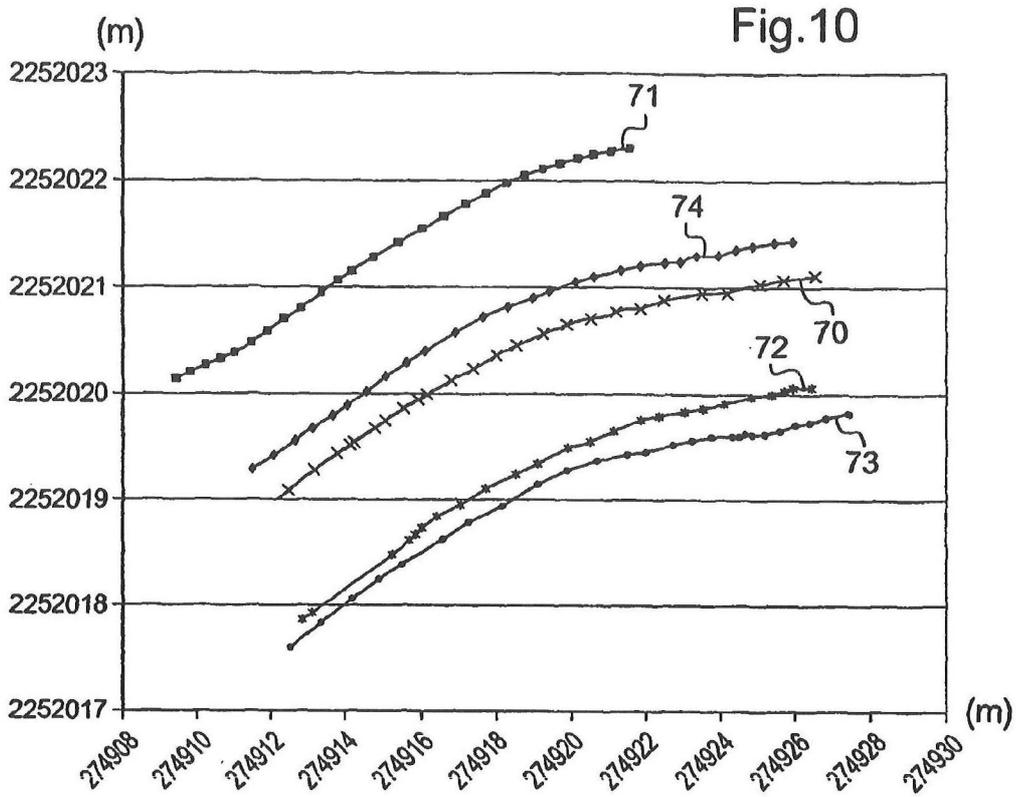


Fig.12

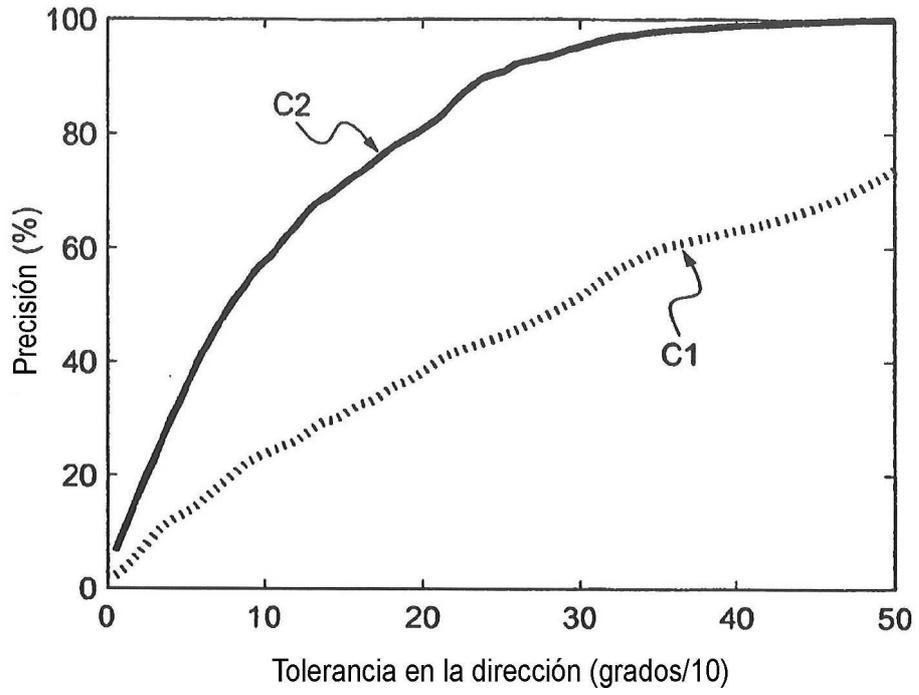
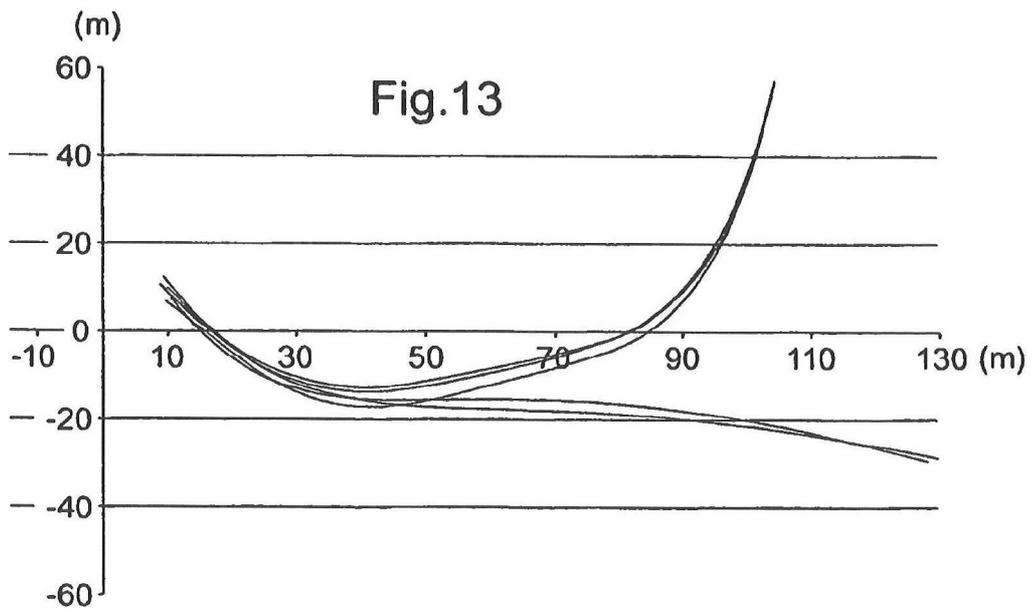


Fig.13



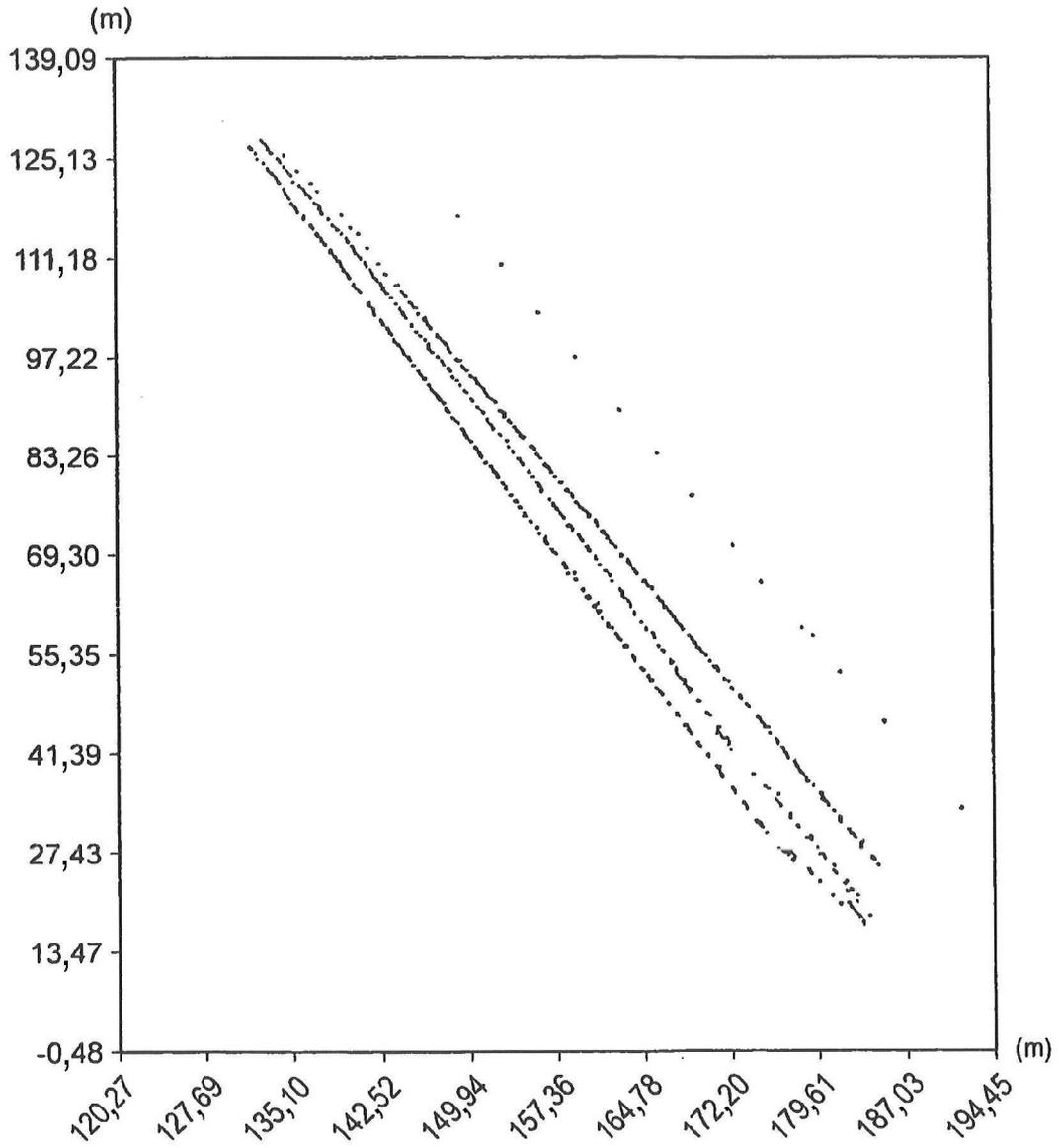


Fig. 14