

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 660 299**

51 Int. Cl.:

B60W 30/09 (2012.01)

B60W 30/095 (2012.01)

B60W 30/02 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.10.2014 PCT/EP2014/072356**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.05.2015 WO15071052**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2014 E 14789801 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2017 EP 3071461**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de pilotaje automático de un vehículo**

30 Prioridad:

18.11.2013 FR 1361245

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

21.03.2018

73 Titular/es:

**RENAULT S.A.S. (100.0%)
13-15 quai Le Gallo
92100 Boulogne-Billancourt, FR**

72 Inventor/es:

MINOIU ENACHE, NICOLETA

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 660 299 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 de pilotaje automático de un vehículo

La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de pilotaje automático de un vehículo, especialmente de un vehículo automóvil. La invención se refiere también a un vehículo equipado con este dispositivo.

5 Abundante es la investigación acerca de los vehículos de pilotaje automático en tierra, ya que la autonomía que así se procura al vehículo permite a un usuario del vehículo liberarse de la totalidad o parte de las tareas de conducción, muchas veces tediosas, para consagrarse a otras actividades.

10 El documento US 2008/0208461 da a conocer, por ejemplo, un sistema para regular el recorrido de una máquina para obras de construcción generando una trayectoria que ha de seguir la máquina, basado en un algoritmo conocido con el nombre de "persecución pura", que consiste en hacer describir al vehículo un arco de círculo que alcanza la trayectoria a una cierta distancia de mira por delante del vehículo. El sistema que se da a conocer en ese documento, más adaptado a las obras de construcción que a la circulación por carretera, no toma en cuenta las necesidades de confort que tenemos derecho a esperar de un vehículo más orientado al transporte de personas, especialmente en cuanto a estabilidad en carretera y a interacciones físicas con los pasajeros, como por ejemplo en lo referente a la aceleración lateral.

15 El documento US 2009/0287376 toma en cuenta, en un filtro de Kalman, una aceleración medida por un sensor G al objeto de elaborar una consigna de ángulo de giro de un vehículo. Sin embargo, la complejidad del dispositivo presentado puede presentar ciertos inconvenientes en cuanto a coste y a robustez.

20 El documento US 2012/0101713 da a conocer un procedimiento para producir un óptimo encaminamiento de evitación de colisión de un vehículo anfitrión que potencialmente podría chocar con un vehículo objetivo. El procedimiento determina, en especial, una aceleración lateral óptima en cuanto a giro para el óptimo encaminamiento del vehículo, basada en una elipse de fricción y un frenado óptimo. El encaminamiento óptimo dado a conocer, que tiene por finalidad evitar el vehículo objetivo, tiene como inconveniente el desviar el vehículo anfitrión de su trayectoria inicial de referencia.

25 Para subsanar los inconvenientes del estado de la técnica anterior, la invención tiene por objeto un procedimiento de pilotaje automático de un vehículo, que comprende:

- una etapa inicial en la que son dadas una trayectoria local de referencia y una velocidad potencial del vehículo;
- 30 - una etapa de cálculo de una consigna automática de ángulo de giro que hace describir al vehículo un arco de círculo que incluye un punto de intersección con la trayectoria local de referencia a una distancia de mira del vehículo, en la que se calcula una aceleración lateral proporcional al cuadrado de la velocidad potencial del vehículo que describe el arco de círculo;
- una etapa de comparación de la aceleración lateral calculada con un valor máximo permitido de aceleración lateral;
- 35 - una etapa de generación de una consigna de velocidad posicionada en un valor igual al de la velocidad potencial cuando la aceleración lateral tiene un valor inferior al valor máximo permitido de aceleración lateral;
- una etapa de ajuste en la que se disminuye el valor de la velocidad potencial cuando la aceleración lateral tiene un valor superior o igual al valor máximo permitido de aceleración lateral, al objeto de calcular una aceleración lateral disminuida reiterando la etapa de cálculo.
- 40

Particularmente, la distancia de mira que separa el vehículo del punto de intersección con la trayectoria se calcula en la etapa de cálculo, proporcionalmente a la velocidad potencial del vehículo.

45 Más en particular, la distancia de mira que separa el vehículo del punto de intersección con la trayectoria se calcula en la etapa de cálculo, multiplicando la velocidad potencial del vehículo por un coeficiente variable creciente mientras la aceleración lateral tenga un valor superior o igual al valor máximo permitido de aceleración lateral y una desviación entre el arco de círculo y la trayectoria local de referencia sea inferior en valor absoluto a un máximo permitido de desviación.

Preferentemente, la desviación se calcula igual a la mayor de las desviaciones medibles entre un punto del arco de círculo y un punto de la trayectoria que se encuentran ambos en un mismo radio del arco de círculo.

50 Más exactamente, el máximo permitido de desviación se calcula, en una etapa, igual a una sobreestimación del valor absoluto de la desviación calculada en la anterior ejecución de etapa de cálculo.

Ventajosamente, el procedimiento comprende una etapa de generación de consigna de velocidad posicionada en un valor igual al de la velocidad potencial previo a la disminución cuando el valor de la velocidad potencial tras la disminución es inferior a un valor mínimo permitido de velocidad potencial.

5 También es objeto de la invención un programa de ordenador que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución de las etapas del procedimiento según la invención, cuando el programa se ejecuta en uno o varios ordenadores.

10 Es todavía un objeto de la invención un dispositivo de pilotaje automático de un vehículo que comprende un módulo de pilotaje automático que recibe como entrada una descripción de trayectoria local de referencia, módulo que incluye en memoria un programa de ordenador según la invención para generar una consigna automática de ángulo de giro, al objeto de mantener una aceleración lateral calculada por debajo de un valor máximo permitido de aceleración lateral.

Particularmente, el dispositivo de pilotaje automático según la invención recibe como entrada una velocidad realimentada medida, al objeto de generar una consigna automática de par de frenado y/o de aceleración que tiene por finalidad mantener la aceleración lateral por debajo de un valor máximo permitido de aceleración lateral.

15 Finalmente, la invención tiene por objeto un vehículo automóvil que comprende un dispositivo de pilotaje automático según la invención para funcionar en modo autónomo.

Otras características y ventajas se irán poniendo de manifiesto con la lectura de la descripción que sigue, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

la figura 1 representa un esquema de dispositivo de control de vehículo conforme a la invención,

20 las figuras 2 y 3 representan posibles trayectorias de vehículo,

la figura 4 es un esquema para explicar los parámetros físicos tomados en cuenta por un procedimiento conforme a la invención,

las figuras 5, 5a y 5b muestran etapas de procedimiento conforme a la invención y

la figura 6 muestra etapas complementarias de procedimiento conforme a la invención.

25 La figura 1 muestra un dispositivo 40 que proporciona, a un vehículo 7, consignas de ángulo de giro δ^* , de par de frenado Cf^* y de par de aceleración Ca^* distribuidos a unas ruedas del vehículo 7 al objeto de poder asegurar un control automático de trayectoria de las mismas.

30 El ángulo de giro permite cambiar la dirección del vehículo, pero no siempre basta por sí solo para mantener o devolver el vehículo a una trayectoria que ha de seguirse. Pueden ser útiles, en ocasiones, ralentizaciones y aceleraciones aplicadas con buen criterio.

Por ejemplo, una consigna positiva de par de aceleración Ca^* permite acelerar un vehículo equipado con un motor térmico aumentando el régimen de su motor. Una consigna positiva de par de frenado Cf^* permite desacelerar el vehículo ejerciendo una presión proporcional sobre unos frenos disipativos que generalmente se conjuga con una bajada de régimen del motor térmico supeditado a una consigna nula de par de aceleración Ca^* .

35 Todavía por ejemplo, una consigna positiva de par de aceleración Ca^* permite acelerar un vehículo equipado con una máquina eléctrica de tracción alimentando la máquina con una corriente eléctrica positiva. Una consigna positiva de par de frenado Cf^* permite desacelerar el vehículo alimentando la máquina con una corriente eléctrica negativa en forma de frenado recuperativo, que puede reforzarse ejerciendo una presión proporcional sobre los frenos disipativos.

40 El dispositivo 40 comprende un módulo de pilotaje automático 10 que genera consignas automáticas de ángulo de giro δ_{car} , de par de frenado Cfr y de par de aceleración Car .

Si bien en la figura 1 se representa en el exterior del vehículo 7 para facilitar su exposición, se comprenderá que el dispositivo 40 se halla al menos parcialmente, cuando no totalmente, instalado dentro del vehículo 7.

45 El módulo 10 pone en práctica, por ejemplo, un microprocesador, una memoria y acopladores de entradas-salidas (no representados) de un computador en tiempo real embarcado del vehículo 7. Los acopladores de entradas-salidas permiten de manera corriente al módulo 10 comunicarse con otros computadores locales en el seno del vehículo 7 y/o con órganos del vehículo mediante enlace alámbrico o mediante bus de comunicaciones en uno de los estándares del sector de la automoción, como por ejemplo la red CAN, la red Ethernet dedicada del automóvil u otro. La memoria permite contener valores de calibración para adaptar el dispositivo 40 al tipo del vehículo 7, como
50 por ejemplo su longitud L entre el centro de la rueda anterior y el centro de cubo de la rueda posterior. La memoria también permite contener un programa de ordenador que comprende instrucciones de código de programa para la

ejecución de etapas de procedimiento expuesto más adelante en la descripción cuando se ejecuta el programa en un ordenador, especialmente mediante el microprocesador antes mencionado.

5 Si se prevé que el vehículo 7 funcione permanentemente en modo autónomo o en modo telemandado, que son éste y aquél un posible modo automático de funcionamiento del vehículo, las consignas proporcionadas al vehículo 7, de ángulo de giro δ^* , de par de frenado Cf^* y de par de aceleración Ca^* , son directamente iguales, respectivamente, a las consignas automáticas de ángulo de giro δ_{car} , de par de frenado Cfr y de par de aceleración Car generadas por el módulo de pilotaje automático 10.

10 Si se prevé que el vehículo 7 funcione, potestativamente, bien en modo automático, o bien en modo manual, las consignas automáticas de ángulo de giro δ_{car} , de par de frenado Cfr y de par de aceleración Car generadas por el módulo de pilotaje automático 10 se transmiten a un módulo de selección de modo 11 que, por otro lado, recibe consignas manuales de ángulo de giro δ_c , de par de frenado Cf y de par de aceleración Ca con respectivo origen en un volante de dirección, en un pedal de freno y en un pedal de acelerador (no representados), accionados de manera en sí conocida por un conductor humano del vehículo 7.

15 En la opción de vehículo de funcionamiento bimodo, el módulo de selección 11 va instalado, por ejemplo, dentro de un computador en tiempo real o en una tarjeta electrónica del vehículo 7. Al ejecutar mandatos numéricos mediante bus o alámbricos, accionados por el conductor humano o por otro computador, el módulo de selección 11 conmuta las consignas proporcionadas al vehículo 7 de ángulo de giro δ^* , de par de frenado Cf^* y de par de aceleración Ca^* respectivamente en modo manual a las consignas manuales de ángulo de giro δ_c , de par de frenado Cfc y de par de aceleración Cac y, alternativamente, en modo automático, a las consignas automáticas de ángulo de giro δ_{car} , de par de frenado Cfr y de par de aceleración Car recibidas del módulo 10, de manera semejante, por ejemplo, al sistema explicado en la solicitud internacional de patente WO 2013/150244.

20 Un módulo de posición actual 8 da, en tiempo real, unas coordenadas de posición x_a , ya en un sistema de referencia absoluto tal como el representado en las figuras 2 y 3. Las coordenadas absolutas son elaboradas de diversas maneras conocidas a partir de información local loc_m , por ejemplo de tipo geolocalización por satélite, especialmente cuando el vehículo se desplaza al aire libre, de tipo podómetro, especialmente cuando el vehículo se desplaza en un túnel o en un aparcamiento subterráneo, e incluso de tipo central inercial, si lo justifica una necesidad particular. Las coordenadas absolutas también pueden ser elaboradas de diversas maneras conocidas a partir de información remota, por ejemplo de tipo detección por radar a partir de una torre de control, de tipo sistema de videovigilancia en una zona protegida o de tipo triangulación a partir de estaciones base en telecomunicación móvil.

30 Un módulo de navegación local 9 recibe, por una parte, las coordenadas absolutas x_a , ya del vehículo 7 con origen en el módulo 8 y, por otra, una descripción de trayectoria global de referencia Tg^* partiendo de un punto de partida 21 para alcanzar un punto de llegada 28 siguiendo un itinerario que pasa por puntos singulares 22, 23, 24, 25, 26, 27 señalados en una cartografía expresada en el mismo sistema de referencia que el de las coordenadas absolutas x_a , ya del vehículo 7. Los puntos singulares pueden dar posiciones de cruces, de curvas, de entradas en zona de velocidad limitada u otras, tal como podemos encontrar generalmente en los mapas de carreteras o los planos de zonas privadas.

35 El módulo 9 elabora a instantes regulares una trayectoria local de referencia $\{X_r, Y_r\}$ que parte del vehículo y finaliza a una cierta distancia por delante del vehículo, al objeto de seguir lo mejor posible la trayectoria global de referencia Tg^* a largo plazo.

40 La trayectoria local de referencia $\{X_r, Y_r\}$ expresada en un sistema de referencia relativo x , y ligado al vehículo se calcula de manera conocida por otro lado fuera del ámbito de la invención (documento WO 2013/087514 u otros).

45 La trayectoria local de referencia, señalada con 6 en las figuras 2 a 4, comprende un número dado $RTajL$ de puntos discretos 1, 2, 3, 4, 5 de respectivas ordenadas $y_1 = 0, y_2, y_3, y_4, y_5$, medidas paralelamente al eje posterior del vehículo 7 a partir de su centro, y de respectivas abscisas x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 , medidas a partir del medio del eje posterior del vehículo 7 según un eje que junta el medio del eje posterior con el medio del eje anterior del vehículo 7. Las abscisas y las ordenadas de los puntos discretos que no son referencias, sino valores, no están recogidas en las figuras para no recargar innecesariamente los dibujos.

50 En la figura 2, la trayectoria local de referencia señalada con 6 se superpone a un tramo de la trayectoria global de referencia Tg^* en la parte delantera del vehículo, cosa que ocurre con la mayor generalidad. El cálculo de las coordenadas absolutas de los puntos 1 a 5 simplemente consiste en discretizar la porción de trayectoria global por delante del vehículo. El cálculo de las coordenadas relativas de los puntos 1 a 5 simplemente consiste en un cálculo de cambio de sistema de referencia cartesiano sobradamente enseñado en la escuela dentro del campo técnico de interés.

55 En la figura 3, la trayectoria local de referencia señalada con 6 se desvía de la trayectoria global de referencia Tg^* en la parte delantera del vehículo, cosa que ocurre, por ejemplo, para evitar un obstáculo 29 detectado por uno o varios sensores instalados sobre el vehículo 7 o fijos a lo largo del recorrido, como por ejemplo cámaras de vídeo. Al no poder necesariamente capturar los sensores el estado de recorrido sobre la trayectoria global de referencia aguas

5 abajo del obstáculo 29, no necesariamente se calcula su totalidad desde la misma detección. La parte en líneas discontinuas corresponde a una porción de trayectoria 6 que da comienzo en el momento en que el vehículo 7 inicia una salida de la trayectoria global para evitar el obstáculo 29. Los puntos 1 a 5 pertenecen a la trayectoria 6 tal como se calcula en el momento en que el vehículo pasa el obstáculo 29 tal como se representa de manera amplificada en la figura 4.

10 Pueden corresponderse otros casos con una trayectoria local que se aleja sensiblemente del tramo de trayectoria global por delante del vehículo, por ejemplo cuando la trayectoria global señalada en una cartografía no se superpone perfectamente a una línea mediana de la vía de circulación, a consecuencia, por ejemplo, de una modificación reciente de la calzada. Entonces, unos sensores del vehículo adaptados para detectar el marcaje en el suelo permiten, en conexión con el módulo de navegación local 9, reconducir la trayectoria local para hacerla coincidir con la línea mediana de la vía de circulación atribuida al vehículo.

El módulo de pilotaje automático 10 ejecuta un procedimiento con diferentes puestas en práctica posibles cuyas etapas esenciales se explican ahora con referencia a las figuras 5, 5a, 5b y 6.

15 El procedimiento que a continuación se expone permite hacer seguir al vehículo 7 la trayectoria local de referencia 6 generando una consigna automática de ángulo de giro δ_{car} y una consigna automática de velocidad v_r a partir de la cual se pueden generar consignas automáticas de par de frenado C_f y de par de aceleración C_a .

20 La consigna automática de ángulo de giro δ_{car} se calcula en una etapa 120 en función, por una parte, de la longitud L entre el centro del eje de rueda anterior y el centro del eje de rueda posterior y, por otra, de una distancia de mira l_d que separa el centro del eje de rueda posterior de un punto 4 en la intersección de la trayectoria local 6 y de un arco de círculo 12 que recorre el vehículo 7 cuando se aplica el ángulo de giro δ_{car} a sus ruedas motrices tal y como se representa en la figura 4.

25 La distancia de mira l_d se calcula en la etapa 120 como igual al producto de una velocidad potencial v del vehículo por una constante T previamente determinada. Se comprueba que la constante T es homogénea a un tiempo que representa una duración necesaria para que el vehículo 7 alcance la trayectoria local 6 siguiendo la cuerda del arco de círculo 12 antes mencionado. El valor de la constante T no se aleja mucho de una duración efectiva necesaria para que el vehículo 7 llegue al punto 4 de la trayectoria cuando la longitud del arco de círculo 12 es pequeña ante su radio de curvatura R . Fácilmente se comprende que si el valor de la constante T es demasiado grande, el vehículo tendrá tendencia a permanecer demasiado tiempo fuera de la trayectoria antes de alcanzarla, y que un valor demasiado bajo es fuente de inestabilidad. De este modo, el valor de la constante T se determina durante la puesta a punto del vehículo, por ejemplo procurando, mediante sucesivos ensayos, reducir la constante T al límite de apariciones de inestabilidades y luego volver a aumentarla ligeramente con un margen de seguridad antes de almacenarla en la memoria de la electrónica de mando del vehículo. No existe un valor universal de la constante T que esté ligado a la morfología del vehículo y que pueda, por tanto, ser diferente entre distintos vehículos.

35 La velocidad potencial v es inicializada en una etapa 100 a un valor máximo posible v^{max} de velocidad. El valor máximo posible v^{max} de velocidad puede resultar de una limitación de velocidad autorizada en el tramo de carretera recorrido por el vehículo, de una consigna de velocidad impuesta por el usuario del vehículo, de una regulación de espaciado con un vehículo precedente que circula a una velocidad de valor comparable al valor máximo posible v^{max} de velocidad, o de otras condiciones de circulación del vehículo. El valor máximo posible v^{max} de velocidad así como un valor mínimo posible v^{min} de velocidad preferentemente se sondan periódicamente en la etapa 100, al objeto de tener en cuenta las evoluciones de condiciones de circulación del vehículo. El valor mínimo posible v^{min} de velocidad puede resultar de una imposición legal en el tramo de carretera recorrido por el vehículo, de una consigna de velocidad mínima impuesta por el usuario del vehículo, de una desaceleración longitudinal máxima aceptable para cumplir con un confort de los pasajeros, de una regulación de cumplimiento de plazo de llegada, o de otras condiciones de circulación del vehículo.

45 La consigna automática de ángulo de giro δ_{car} se calcula en la etapa 120 ejecutando el algoritmo que a continuación se explica.

Las coordenadas relativas x_c , y_c del punto de intersección 4 en el sistema de referencia local ligado al vehículo se determinan como aquellas del punto de la trayectoria local 6 que cumple lo mejor posible la condición de distancia de mira l_d .

50 La trayectoria local 6 viene dada en la etapa 100 en forma de una función cartesiana continua o en forma de un conjunto discreto de puntos de coordenadas especificadas por unos vectores X_r , Y_r .

Si existe un punto de la trayectoria local 6 cuyas coordenadas verifican la ecuación:

(i)
$$\sqrt{x_c^2 + y_c^2} = l_d$$
, se selecciona este punto.

55 Este punto no necesariamente existe, especialmente cuando la trayectoria local 6 viene expresada de manera discreta por medio de un par de vectores X_r , Y_r que definen un número discreto R_{TrajL} de puntos 1, 2, 3, 4, 5 de

coordenadas relativas x_r , y_r en el sistema de referencia ligado al vehículo.

Una manera elegante en este caso concreto de averiguar las coordenadas x_c , y_c del punto de intersección 4 es generar un vector $Dist$ de dimensión cardinal R_{TrajL} igual a la de los vectores X_r , Y_r , y del cual cada coordenada l_r asociada a un punto 1, 2, 3, 4, 5 de la trayectoria 6 viene dada por la fórmula:

5 (ii)
$$l_r := \sqrt{x_r^2 + y_r^2}$$

Es posible efectuar el cálculo del vector $Dist$ en la etapa 100.

Encontramos entonces, en la etapa 120, la ejecución de un subprograma denominado, por ejemplo, $Get-Index$, que permite obtener el valor índice $Index$ del rango de la coordenada l_r del vector $Dist$ que tiene el valor más próximo al de la distancia de mira l_d .

- 10 Una manera simple de realizar el subprograma $Get-Index$ es, por ejemplo, programar instrucciones consistentes en recorrer las coordenadas l_r del vector $Dist$ y en seleccionar el valor $Index$ del valor l_{ri} más grande inferior a l_d . Si el número de valores inferiores a l_d es inferior a R_{TrajL} , consisten unas instrucciones en seleccionar el valor l_{rs} más pequeño superior a l_d y, luego, otras instrucciones consisten en sustituir el valor $Index$ del valor l_{ri} más grande por el valor $Index$ del valor l_{rs} más pequeño si el valor l_{rs} más pequeño está más próximo al de la distancia de mira l_d de lo que está el valor l_{ri} más grande.
- 15

El punto 4 seleccionado es entonces aquel cuyas coordenadas relativas x_c , y_c son respectivamente iguales a las coordenadas $X_r(Index)$, $Y_r(Index)$ de rango $Index$ en los vectores X_r , Y_r .

La distancia de mira $Dist(Index)$ sobre el eje de mira del punto 4 a partir del centro del cubo posterior del vehículo 7 puede ser entonces sensiblemente inferior o sensiblemente superior a la distancia de mira l_d prevista.

- 20 Un ángulo α entre el eje de mira del punto 4 y el eje medio del vehículo tiene como seno $\sin \alpha$, dado por la fórmula:

(iii)
$$\sin \alpha = Y_r(Index) / Dist(Index)$$

Cuando el vehículo 7 sigue el arco de círculo 12, su eje medio es constantemente tangente al arco de círculo 12. Unos conocimientos elementales en geometría demuestran que el ángulo en el centro del arco de círculo 12 es igual al doble del ángulo α .

- 25 El cálculo de la consigna automática de ángulo de giro δ_{car} en la etapa 120 se realiza, por ejemplo, por medio de un subprograma $CStCom$ que utiliza la fórmula:

(iv)
$$\delta_{car} := \text{sat}(\text{Arctan}(2 \cdot L \cdot Y_r(Index) / Dist^2(Index)), \delta_{max})$$

- 30 La citada fórmula expresa que la consigna automática de ángulo de giro δ_{car} es igual al primer término de una función de saturación, limitado a un margen de valores comprendido entre dos extremos de signos opuestos iguales en valor absoluto a un ángulo de giro máximo δ_{max} permitido por el vehículo.

También se calcula una aceleración lateral potencial a_{ykin} en la etapa 120 en función, por una parte, de la longitud L entre el centro del eje de rueda anterior y el centro del eje de rueda posterior y, por otra, de la velocidad potencial v y de la consigna automática de ángulo de giro δ_{car} por medio de la siguiente fórmula:

(v)
$$a_{ykin} := v^2 \cdot \tan(\delta_{car}) / L$$

- 35 En el caso particular antes reseñado en el que la trayectoria local 6 se especifica de manera discreta, la aceleración lateral potencial a_{ykin} también se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

(vi)
$$a_{ykin} := \text{sat}(2 \cdot v^2 \cdot Y_r(Index) / Dist^2(Index), \tan(\delta_{max}))$$

(vii)
$$a_{ykin} \approx \text{sat}(2 \cdot Y_r(Index) / T^2, \tan(\delta_{max}))$$

- 40 La consigna automática de velocidad v_r se posiciona, en una etapa 129, en un valor igual al del valor potencial de velocidad v utilizado en la etapa 120.

- Una etapa de prueba 150 consiste en detectar si la aceleración lateral potencial a_{ykin} sobrepasa en valor absoluto un valor máximo permitido de aceleración lateral a_y^{max} . El valor máximo permitido de aceleración lateral a_y^{max} está predeterminado en función de diversos criterios, tales como la adherencia de las ruedas a la calzada, un umbral clínicamente tolerable para un ser humano, un modo de conducción de orientación más deportiva o más confortable u otros criterios.
- 45

El valor reconocido generalmente como umbral de confort de pasajero es 0,4 g, dicho de otro modo, algo menos de la mitad de la aceleración terrestre $g = 9,881 \text{ m/s}^2$. Más generalmente, el vehículo debe tener un comportamiento

que tampoco infunda miedo a los peatones. Por otra parte, la combinación de la aceleración lateral y de la aceleración longitudinal no debe exceder de la elipse de fricción que es propia del vehículo de interés. En caso de necesidad de una intensa frenada o de una intensa aceleración, la aceleración lateral se debe reducir aún más.

5 Una etapa 181 es activada cuando la aceleración lateral potencial a_{ykin} no sobrepasa en valor absoluto el valor máximo permitido de aceleración lateral a_y^{max} . Las consignas automáticas de ángulo de giro δ_{car} y de velocidad v_r se toman entonces iguales, respectivamente, a la calculada en la ejecución inmediatamente anterior de la etapa 120 y a la posicionada en la ejecución inmediatamente anterior de la etapa 129.

10 Una etapa de ajuste 167 es activada cuando la aceleración lateral potencial a_{ykin} sobrepasa en valor absoluto el valor máximo permitido de aceleración lateral a_y^{max} al objeto de reducir el valor v de velocidad potencial, por ejemplo descontándole un valor prefijado DecSpeed.

El valor DecSpeed puede ser fijo, del orden de por ejemplo 0,5 m/s, o posicionado en un porcentaje, por ejemplo del orden del 5 % de la velocidad corriente. El valor DecSpeed también puede venir dado por cartografías en función de la velocidad y de la aceleración lateral máxima admitida para el vehículo.

15 Se pueden utilizar otros medios distintos al de descontar un valor prefijado para reducir el valor v de velocidad potencial, como por ejemplo el consistente en multiplicar el valor v de velocidad potencial por un coeficiente inferior a la unidad.

A continuación de la etapa 167, una etapa de prueba 176 consiste en detectar si el nuevo valor potencial de velocidad v así reducido es inferior al valor mínimo posible v^{min} de velocidad.

20 Una etapa 182 es activada cuando el valor potencial de velocidad v reducido es inferior al valor mínimo posible v^{min} de velocidad. Las consignas automáticas de ángulo de giro δ_{car} y de velocidad v_r se toman entonces iguales, respectivamente, a la calculada en la ejecución inmediatamente anterior de la etapa 120 y a la posicionada en la ejecución inmediatamente anterior de la etapa 129.

Las etapas 120 y siguientes se reactivan cuando el valor potencial de velocidad v reducido no es inferior al valor mínimo posible v^{min} de velocidad.

25 En la forma de realización que acabamos de describir con referencia a la figura 5, el nuevo valor potencial de velocidad v así reducido en la etapa 167 tiene como efecto el de reducir la distancia de mira l_d en la nueva ejecución de la etapa 120 y, en consecuencia, generalmente reducir la distancia que separa el punto de intersección del arco de círculo 12 respecto a la trayectoria local 6. A valor fijado de la constante T , se puede observar una disminución de la aceleración lateral sensiblemente proporcional a la reducción de velocidad potencial según se ha indicado mediante la citada fórmula (vii). Esto puede explicarse por el hecho de que una disminución de la velocidad tiene como efecto, en este punto, el de tender a aumentar el ángulo de giro para recuperar la trayectoria al expirar un tiempo determinado por la constante T .

30

En la forma de realización que pasamos a describir ahora con referencia a la figura 5a, nos encontramos con las etapas 100, 129, 150, 167, 176, 181, 182 de la forma de realización de la figura 5.

35 La etapa 120 de la figura 5 se sustituye por una etapa 121 en la que la consigna automática de ángulo de giro δ_{car} se calcula en este punto, al igual que en la etapa 120, en función, por una parte, de la longitud L entre el centro del eje de rueda anterior y el centro del eje de rueda posterior y, por otra, de una distancia de mira l_d que separa el centro del eje de rueda posterior del punto 4 en la intersección de la trayectoria local 6 y del arco de círculo 12 que recorre el vehículo 7 cuando se aplica el ángulo de giro δ_{car} a sus ruedas motrices tal y como se representa en la figura 4.

40

La distancia de mira l_d que se calcula en la etapa 121 es igual al producto de la velocidad potencial v del vehículo por la constante T previamente determinada y por una ganancia variable g_{var} . La ganancia variable g_{var} es inicializada en un valor unitario en una etapa 110 que precede a la etapa 121 de modo que la distancia de mira l_d que se calcula con cada primera ejecución de la etapa 121 que sucede a una ejecución de la etapa 110 es idéntica a la calculada en la etapa 120 de la anterior forma de realización.

45

La aceleración lateral potencial a_{ykin} se calcula en la etapa 121 de manera idéntica a la de la etapa 120.

La etapa 121 consiste además en calcular un valor E_{car} de desviación máxima entre la trayectoria local 6 y el arco de círculo 12.

50 El valor E_{car} de desviación máxima se calcula, por ejemplo, por medio de un subprograma CE_{car} que toma como argumento el ángulo de giro δ_{car} , la trayectoria local de referencia $\{X_r, Y_r\}$ y las coordenadas x_c, y_c del punto de mira 4 de la trayectoria local.

El ángulo de giro δ_{car} da el radio de curvatura R mediante la fórmula:

(viii) $R := L / \tan(\delta_{car})$

La trayectoria local de referencia $\{Xr, Yr\}$ da las coordenadas xri, yri de un punto de índice i creciente de la trayectoria local para calcular una distancia di del punto considerado con respecto al centro del círculo que pasa por el arco de círculo 12 mediante la fórmula:

5 (ix) $di := \sqrt{(R - yri)^2 + xri^2}$

La distancia di permite calcular una desviación $Ecar_i$ entre el punto de índice i de la trayectoria local y el punto más próximo al arco de círculo 12 mediante la fórmula:

(x) $Ecar_i := R - di$

10 Las coordenadas xc, yc del punto de mira 4 de la trayectoria local permiten detener los cálculos de desviación $Ecar_i$ para el índice i del punto de mira.

El subprograma $CEcar$ devuelve entonces un valor $Ecar$ de desviación máxima observable de la trayectoria que corresponde al mayor de los valores calculados de desviación $Ecar_i$.

15 Una etapa 122 se ejecuta a continuación de la etapa 121 para posicionar una variable de desviación máxima permitida $Ecar^{max}$ en un valor igual al valor $Ecar$ de desviación máxima observable calculado en la etapa 121 multiplicado por un coeficiente $Maxecar$ de valor superior a la unidad. A título puramente ilustrativo y no limitativo, se pueden elegir valores del coeficiente $Maxecar$ dentro de un margen de valores que varía de 1,05 a 2, dicho de otro modo, dentro de un margen de valores que varía de un valor próximo a la unidad a sensiblemente el doble. Si $Ecart$ es bajo, se puede emplear el doble. El $Maxecar$ depende también entonces del valor de $Ecart$.

20 Una etapa 130 se ejecuta antes de la etapa 129 anteriormente explicada con referencia a la figura 5. En una variante de realización, la etapa 129 también se puede ejecutar directamente a continuación de la etapa 122 antes de una primera ejecución de la etapa 130.

25 La etapa 130 es una etapa de verificación de un conjunto de condiciones que comprende aquella según la cual la aceleración lateral potencial a_{ykin} sobrepasa en valor absoluto el valor máximo permitido de aceleración lateral a_y^{max} y al menos la condición según la cual el valor $Ecar$ de desviación máxima observable es inferior al valor de desviación máxima permitida $Ecar^{max}$.

La etapa 150 es activada a continuación de la etapa 129 tan pronto como una condición no cumple la verificación de la etapa 130.

Una etapa 114 es activada cuando todas las condiciones cumplen la verificación de la etapa 130.

30 La etapa 114 consiste principalmente en aumentar la ganancia variable g_{var} , por ejemplo añadiéndole un incremento $IncrG$ de valor, por ejemplo, aunque no necesariamente, constante, comprendido entre 0,1 y 0,9.

35 El nuevo valor de ganancia variable g_{var} es utilizado en una etapa 140 semejante a la etapa 121, pero ejecutada consecuentemente con un valor más grande de la distancia de mira ld que en la etapa 121. Esto tiene el efecto de aumentar el radio de curvatura y , en consecuencia, de disminuir el valor de consigna automática de ángulo de giro δ_{car} recalculado en la etapa 140. El aumento de radio de curvatura también tiene el efecto de disminuir la aceleración radial a_{ykin} . Según la índole de la trayectoria, esto puede tener el efecto de aumentar el valor $Ecar$ de desviación máxima observable que es importante controlar en una nueva ejecución de la etapa 130, comparando con la variable de desviación máxima permitida $Ecar^{max}$, posicionada en la etapa 122, el nuevo valor $Ecar$ de desviación máxima observable calculado en la etapa 140. Así, las etapas 114 y 140 están llamadas a ejecutar un bucle a la etapa 130 mientras la aceleración radial a_{ykin} sea superior o igual al valor máximo permitido de aceleración lateral a_y^{max} y el valor $Ecar$ de desviación máxima observable no sobrepase el valor $Ecar$ de desviación máxima observable inicialmente para la distancia de mira ld más pequeña calculada en la etapa 121.

45 Así, las etapas 114 y 140 permiten disminuir la aceleración radial a_{ykin} aumentando la distancia de mira ld , al objeto de mantener constante la velocidad v . El mantenimiento de la velocidad, mientras pueda hacerse, tiene la ventaja de que provee un placer de conducción añadido, al reducir las desaceleraciones longitudinales y las prolongaciones de duración del recorrido. Sin embargo, se aprecia que la índole de la trayectoria representada en la figura 3 induce un aumento de la desviación Eca entre el punto 3 de la trayectoria y el arco de círculo 13 cuando el nuevo punto de mira es el punto 13. La condición de la etapa 130 referida a la verificación del valor $Ecar$ de desviación máxima observable tiene por finalidad evitar que el vehículo se aleje demasiado de su trayectoria de referencia antes de recuperarla y, así, evitar los posibles riesgos de salida de vía, de colisión u otros.

50 Otras índoles de trayectoria, por el contrario, pueden no inducir un aumento de desviación de trayectoria o no inducir más que muy escasos aumentos, como por ejemplo ocurre en una trayectoria de referencia en línea recta.

- Una condición suplementaria de la etapa 130 que se refiere a un número máximo de iteraciones N_{iter}^{max} de las etapas 114 y 140 permite limitar el tiempo de cálculo, el cual, recuérdese, se efectúa en tiempo real, evitando repetir sobremanera la activación de las etapas 114 y 140. El número máximo de iteraciones N_{iter}^{max} se fija, por ejemplo, en memoria EEPROM en los estudios de desarrollo teniendo en cuenta los ciclos de muestreo de los sensores y la potencia de cálculo de los computadores para asegurar una generación de referencias de ángulo de giro y de velocidad en dos muestreos sucesivos. El número máximo de iteraciones N_{iter}^{max} también se puede fijar, por ejemplo, en memoria EEPROM en los estudios de desarrollo al objeto de que el no sobrepase un cierto valor, determinado, en este caso particular, en ensayos practicados sobre un vehículo de preserie para obtener un comportamiento que resulta ser el más agradable para el piloto de pruebas, e incluso para un pasajero.
- 5 En este caso, un número de iteraciones N_{iter} aumentado en una unidad con cada activación de la etapa 114 se inicializa a cero en la etapa 110. La etapa 130 consiste, entonces, en verificar que el número de iteraciones N_{iter} corriente es inferior al número máximo de iteraciones N_{iter}^{max} .
- Se pueden contemplar otras condiciones como complemento o en sustitución de la reseñada en el anterior párrafo, por ejemplo, una condición referida a una distancia de mira ld máxima u otra.
- 15 Interesa activar la etapa 140 para disminuir la aceleración lateral potencial a_{ykin} cuando ésta no es inferior al valor máximo permitido de aceleración lateral a_y^{max} . Sin embargo, puede interesar no activar la etapa 140 pese a que la aceleración lateral potencial a_{ykin} sea superior o igual al valor máximo permitido de aceleración lateral a_y^{max} . Así ocurre especialmente, como anteriormente hemos visto, cuando la desviación máxima observable E_{car} es demasiado grande.
- 20 Esta es la razón por la que la etapa 150 verifica si la aceleración lateral potencial a_{ykin} es superior o igual al valor máximo permitido de aceleración lateral a_y^{max} pese a la verificación de la etapa 130 conducente a una no ejecución o parada de ejecución de las etapas 114 y 140.
- A partir de la etapa 150, el procedimiento se prosigue pasando por la totalidad o parte de las etapas 181, 167, 176, 182 de idéntica manera a la descrita con referencia a la figura 5. En especial, mientras la aceleración lateral potencial a_{ykin} sea superior o igual al valor máximo permitido de aceleración lateral a_y^{max} y la velocidad potencial v del vehículo después de un decremento no sea inferior a la velocidad mínima v_{min} , el procedimiento ejecuta un bucle a la etapa 121.
- 25 El procedimiento puede ejecutar un bucle directamente a la etapa 121 aguas abajo de la etapa 110 para conservar el último valor de ganancia variable obtenido en la etapa 114, al objeto de ganar tiempo de cálculo mediante ahorro de activaciones de las etapas 114 y 140.
- 30 Al ejecutar un bucle aguas arriba de la etapa 110, el procedimiento reinicializa a la unidad el valor de la ganancia variable g_{var} y, así, da la posibilidad de obtener una distancia de mira más corta que la obtenida a continuación de la última ejecución de la etapa 140 si la utilización, en la etapa 121, del valor disminuido de la velocidad potencial v conduce a ella.
- 35 Así, las etapas de la forma de realización del procedimiento que se acaban de describir con referencia a la figura 5a permiten un equilibrado entre disminución de velocidad y alargamiento de distancia de mira con el propósito de satisfacer lo mejor posible el confort de los pasajeros mediante una aceleración lateral inferior, en la medida de lo posible, a un valor máximo permitido.
- 40 La forma de realización de la figura 5b es semejante a la de la figura 5a. Lo que ocurre es que, en el procedimiento de la figura 5a, la etapa 100 y, a continuación de ella, las otras etapas son activadas regularmente con cada inicio de reloj, por ejemplo cada 20 ms. En el procedimiento de la figura 5b, la etapa 100 y, a continuación de ella, las demás etapas son activadas constantemente a continuación de cada activación de una de las etapas 181 ó 182.
- Así, cada cual de las etapas 181 ó 182 ejecutadas en el módulo de pilotaje automático 10 permite generar directamente la consigna automática de ángulo de giro δ_{car} e, indirectamente, las consignas de par de frenado C_{fr} y de par de aceleración Car .
- 45 La figura 6 muestra un posible aprovechamiento de la referencia de velocidad v_r obtenida en una de las etapas 181 ó 182 para generar las consignas de par de frenado C_{fr} y de par de aceleración Car .
- Al arrancar el vehículo 7, las consignas de par de frenado C_{fr} y de par de aceleración Car son inicializadas en un valor nulo, en una etapa 190, en la puesta en marcha del motor del vehículo.
- 50 En una etapa 191 se calcula un error ϵ entre la referencia de velocidad v_r y una velocidad medida v_m del vehículo 7.
- El error ϵ se añade, con una exactitud del orden de un coeficiente multiplicador, al valor corriente de la referencia de par de aceleración Car para obtener una necesidad de par Acc en una etapa 192.
- Una etapa de prueba 193 consiste en verificar un conjunto de condiciones para determinar, de entre el par de

aceleración C_{ar} y el par de frenado C_{fr} , aquel que interesa para satisfacer lo mejor posible la necesidad de par Acc obtenida en la etapa 192, en orden a activar una etapa 194 si interesa el par de frenado C_{fr} y a activar una etapa 195 si interesa el par de aceleración C_{ar} .

5 Una primera condición para activar la etapa 195 se verifica positiva cuando la necesidad de par Acc es superior o igual a cero, que corresponde a una necesidad de vencer o compensar fuerzas dinámicas y disipativas para acelerar el vehículo, mantener su velocidad o desacelerarlo moderadamente, por ejemplo para alinearse a una referencia de velocidad más baja.

Una segunda condición para activar la etapa 195 se verifica positiva cuando la consigna de par de frenado C_{fr} es nula.

10 Se pueden verificar, en la etapa 193, otras condiciones distintas de las antes expuestas, como por ejemplo la relativa a un error ε de velocidad inferior a un umbral negativo que activa inmediatamente la etapa 194 aun si la necesidad de par Acc es superior o igual a cero. Esta condición subsana los inconvenientes del tiempo de respuesta generalmente no nulo de la regulación integral puesta en práctica en la etapa 195.

15 Cuando se verifican positivas todas las condiciones de la etapa 193, la etapa 195 es activada, en orden a poner en práctica una regulación integral de par con el propósito de funcionar a error ε nulo de velocidad.

En la etapa 195, el error ε de velocidad se multiplica por una ganancia de aceleración G_a integral cuyo producto se añade a un valor anterior de consigna de par de aceleración C_{ar} para obtener un nuevo valor de consigna de par de aceleración C_{ar} .

20 En cuanto se verifica negativa una de las condiciones de la etapa 193, la etapa 194 es activada en orden a poner en práctica una regulación proporcional saturada de par con el propósito de funcionar a corto plazo.

25 En la etapa 194, el error ε de velocidad se multiplica por una ganancia de frenado G_f proporcional para obtener un valor inverso de consigna de par de frenado C_{fr} , al objeto de generar una consigna de par de frenado C_{fr} positiva cuando el error ε de velocidad es negativo y una consigna de par de frenado C_{fr} nula cuando el error ε de velocidad es positivo. La consigna de par de aceleración C_{ar} es puesta a cero para no demandar par innecesariamente al motor durante una fase de frenado.

Aquella de las etapas 194 ó 195 que es activada ejecuta a continuación un bucle a la etapa 191, al objeto de elaborar la consigna de par que interesa en función del error ε de velocidad medida v_m con respecto a la consigna automática de velocidad v_r dada por una de las etapas 181, 182.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de pilotaje automático de un vehículo, que comprende:
 - una etapa (100) inicial en la que son dadas una trayectoria local de referencia (6) y una velocidad potencial (v) del vehículo;
 - 5 - una etapa de cálculo (120, 121, 140) de una consigna automática de ángulo de giro (δ_{car}) que hace describir al vehículo un arco de círculo (12, 13) que incluye un punto de intersección con dicha trayectoria local de referencia (6) a una distancia (ld) del vehículo, en la que se calcula una aceleración lateral (a_{ykin}) proporcional al cuadrado de la velocidad potencial (v) del vehículo que describe dicho arco de círculo (12);
 - 10 - una etapa de comparación (150) de dicha aceleración lateral (a_{ykin}) calculada con un valor máximo permitido de aceleración lateral (a_y^{max});
 - una etapa de generación (181) de una consigna de velocidad (vr) posicionada en un valor igual al de la velocidad potencial (v) cuando dicha aceleración lateral (a_{ykin}) tiene un valor inferior a dicho valor máximo permitido de aceleración lateral (a_y^{max});
 - 15 - una etapa de ajuste (167) en la que se disminuye el valor de la velocidad potencial (v) cuando dicha aceleración lateral (a_{ykin}) tiene un valor superior o igual a dicho valor máximo permitido de aceleración lateral (a_y^{max}), al objeto de calcular una aceleración lateral (a_{ykin}) disminuida reiterando dicha etapa de cálculo (120, 121, 140).
2. Procedimiento de pilotaje automático según la reivindicación 1, caracterizado por que la distancia (ld) que separa el vehículo de dicho punto de intersección con la trayectoria se calcula en dicha etapa de cálculo (120, 121, 140), proporcionalmente a la velocidad potencial (v) del vehículo.
3. Procedimiento de pilotaje automático según una de las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado por que la distancia (ld) que separa el vehículo de dicho punto de intersección con la trayectoria se calcula en dicha etapa de cálculo (120, 121, 140), multiplicando la velocidad potencial (v) del vehículo por un coeficiente variable creciente mientras dicha aceleración lateral (a_{ykin}) tenga un valor superior o igual a dicho valor máximo permitido de aceleración lateral (a_y^{max}) y una desviación (Ecar) entre dicho arco de círculo (12, 13) y la trayectoria local de referencia (6) sea inferior en valor absoluto a un máximo permitido de desviación ($Ecar^{max}$).
4. Procedimiento de pilotaje automático según la reivindicación 3, caracterizado por que dicha desviación (Ecar) se calcula igual a la mayor de las desviaciones medibles entre un punto del arco de círculo (12, 13) y un punto (2, 3, 4) de la trayectoria (6) que se encuentran en un mismo radio del arco de círculo (12, 13).
- 30 5. Procedimiento de pilotaje automático según la reivindicación 4, caracterizado por que dicho máximo permitido de desviación ($Ecar^{max}$) se calcula, en una etapa (122), igual a una sobreestimación del valor absoluto de la desviación (Ecar) calculada en la anterior ejecución de etapa de cálculo (121).
6. Procedimiento de pilotaje automático según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que comprende una etapa de generación (182) de una consigna de velocidad (vr) posicionada en un valor igual al de la velocidad potencial (v) previo a la disminución cuando el valor de la velocidad potencial (v) tras la disminución es inferior a un valor mínimo permitido de velocidad potencial.
- 35 7. Programa de ordenador que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución de las etapas del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6 cuando dicho programa se ejecuta en uno o varios ordenadores.
- 40 8. Dispositivo de pilotaje automático (40) de un vehículo, que comprende:
 - un módulo de pilotaje automático (10) que recibe como entrada una descripción ($\{Xr, Yr\}$) de trayectoria local de referencia (6), incluyendo en memoria dicho módulo (10) un programa de ordenador según la reivindicación 7 para generar una consigna automática de ángulo de giro (δ_{car}), al objeto de mantener una aceleración lateral (a_{ykin}) calculada por debajo de un valor máximo permitido de aceleración lateral (a_y^{max}).
- 45 9. Dispositivo de pilotaje automático (40) según la reivindicación 8, caracterizado por que recibe como entrada una velocidad realimentada medida (vm) al objeto de generar una consigna automática de par (Cfr, Car) de frenado y/o de aceleración que mantiene dicha aceleración lateral (a_{ykin}) por debajo de un valor máximo permitido de aceleración lateral (a_y^{max}).
- 50 10. Vehículo automóvil que comprende un dispositivo de pilotaje automático (40) según una de las reivindicaciones 8 ó 9 para funcionar en modo autónomo.

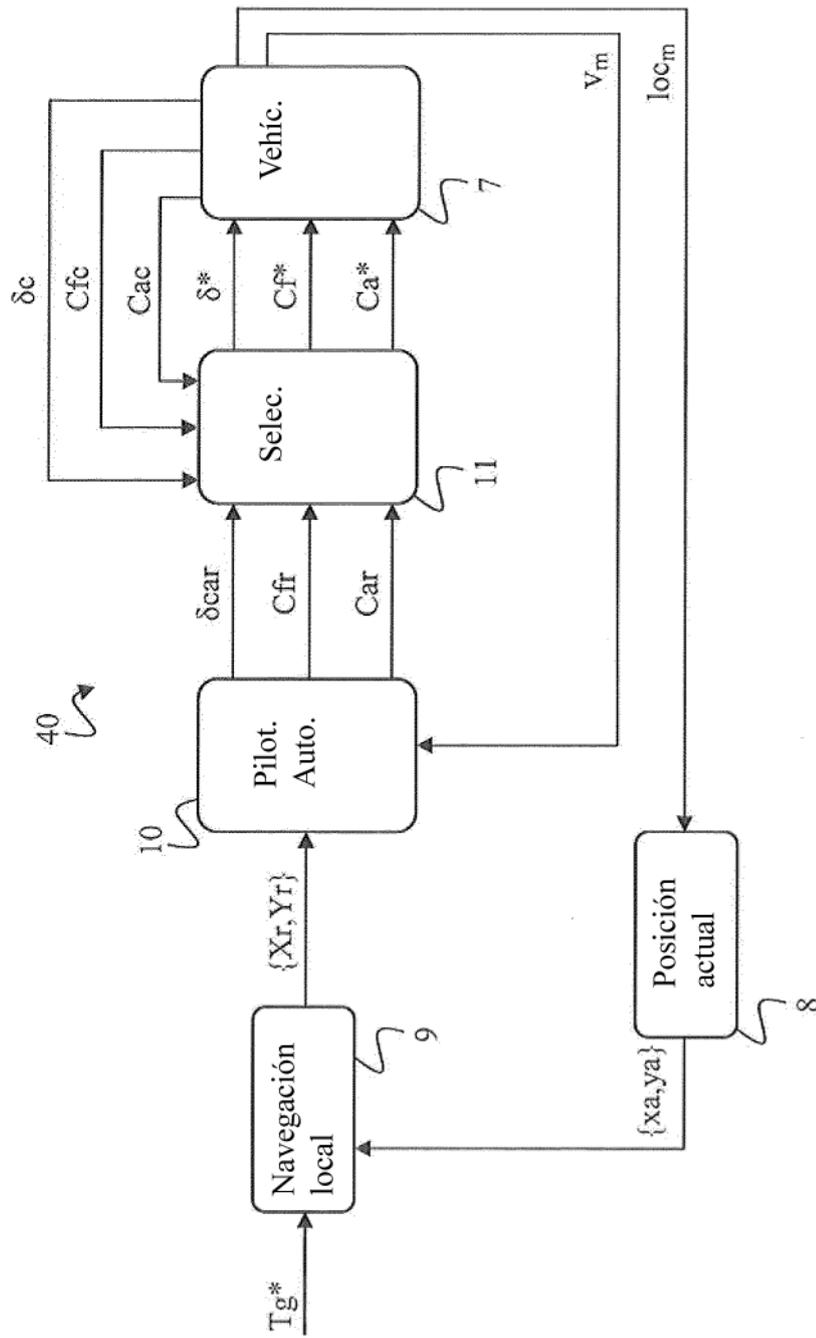


Fig. 1

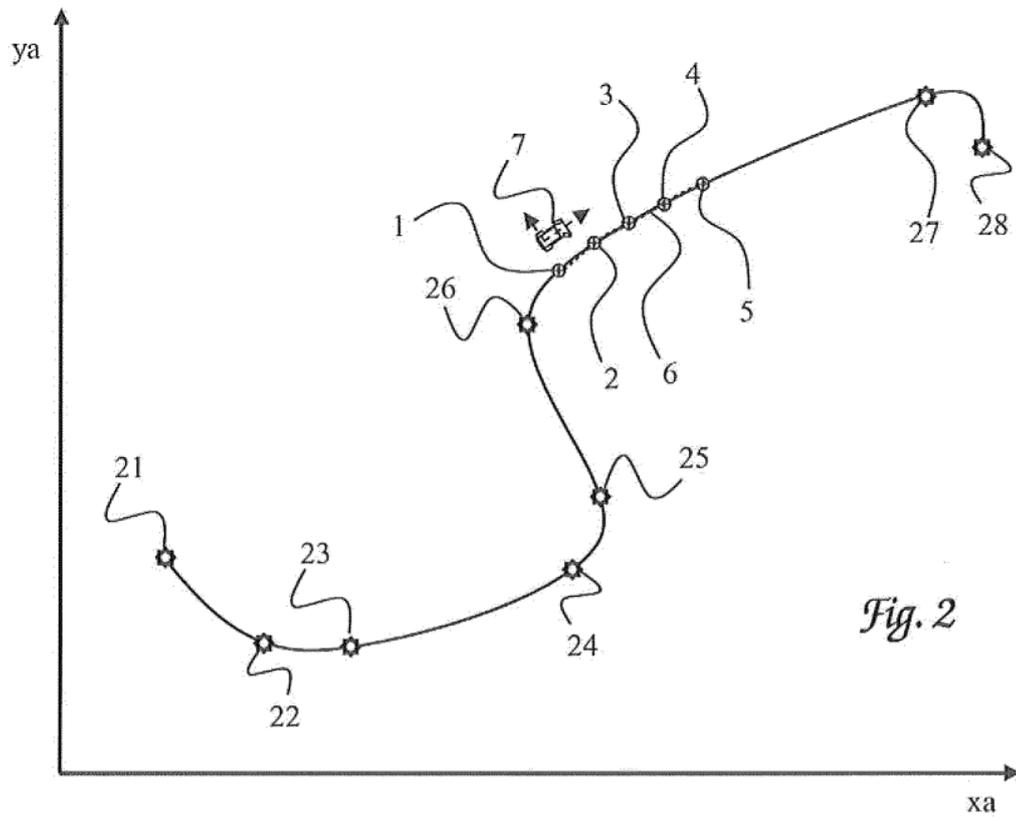


Fig. 2

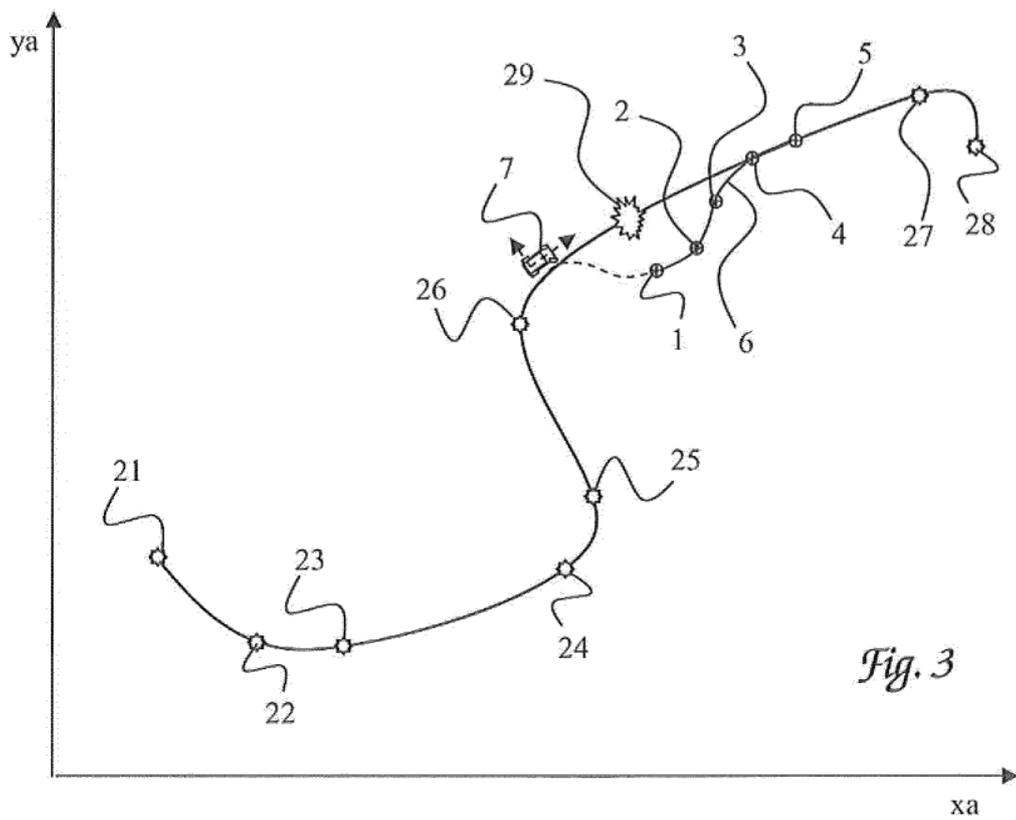


Fig. 3

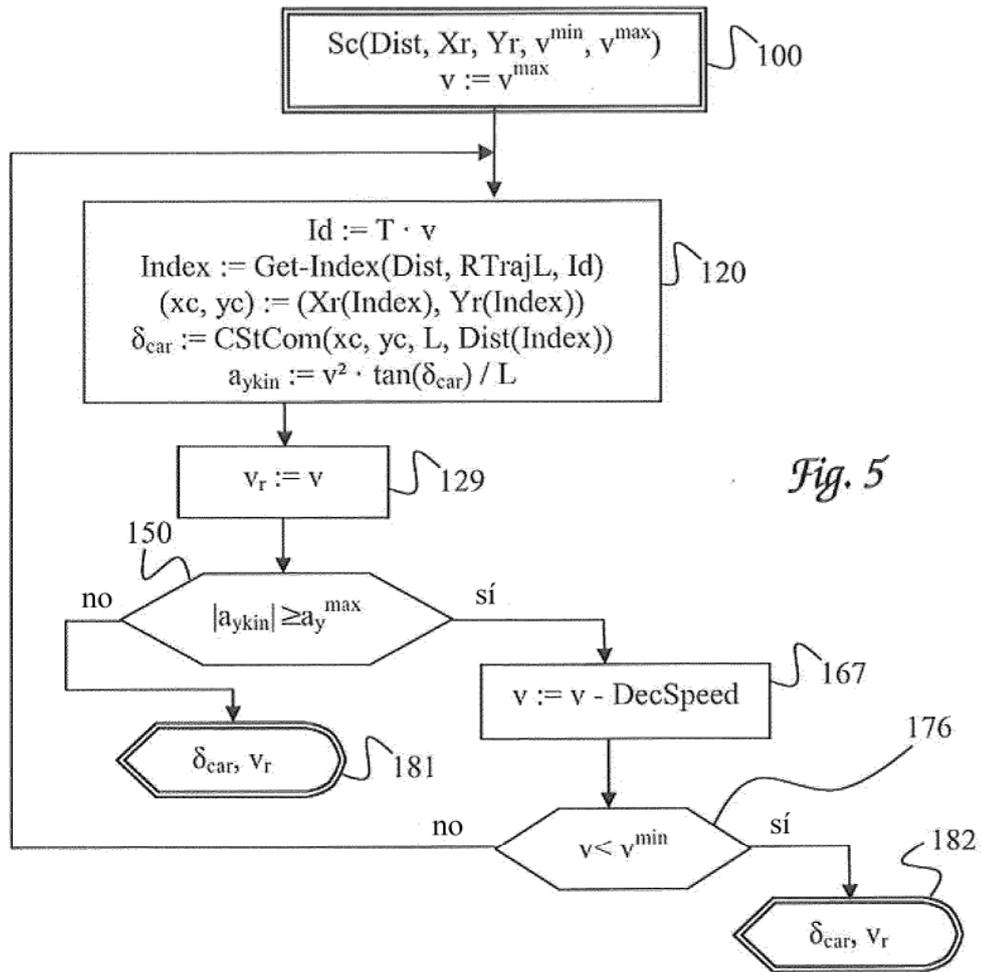


Fig. 5

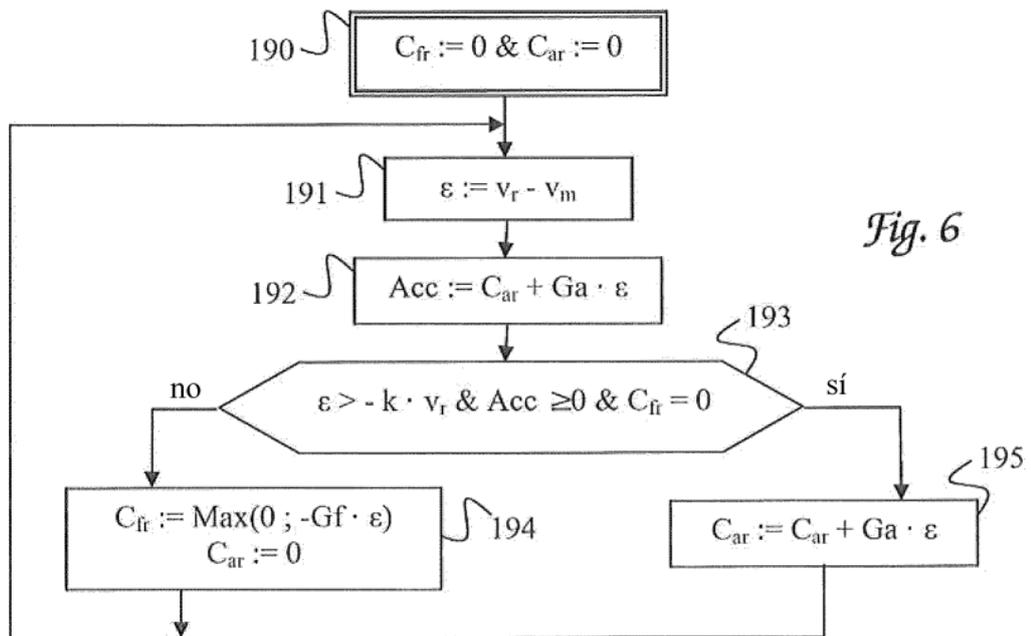


Fig. 6

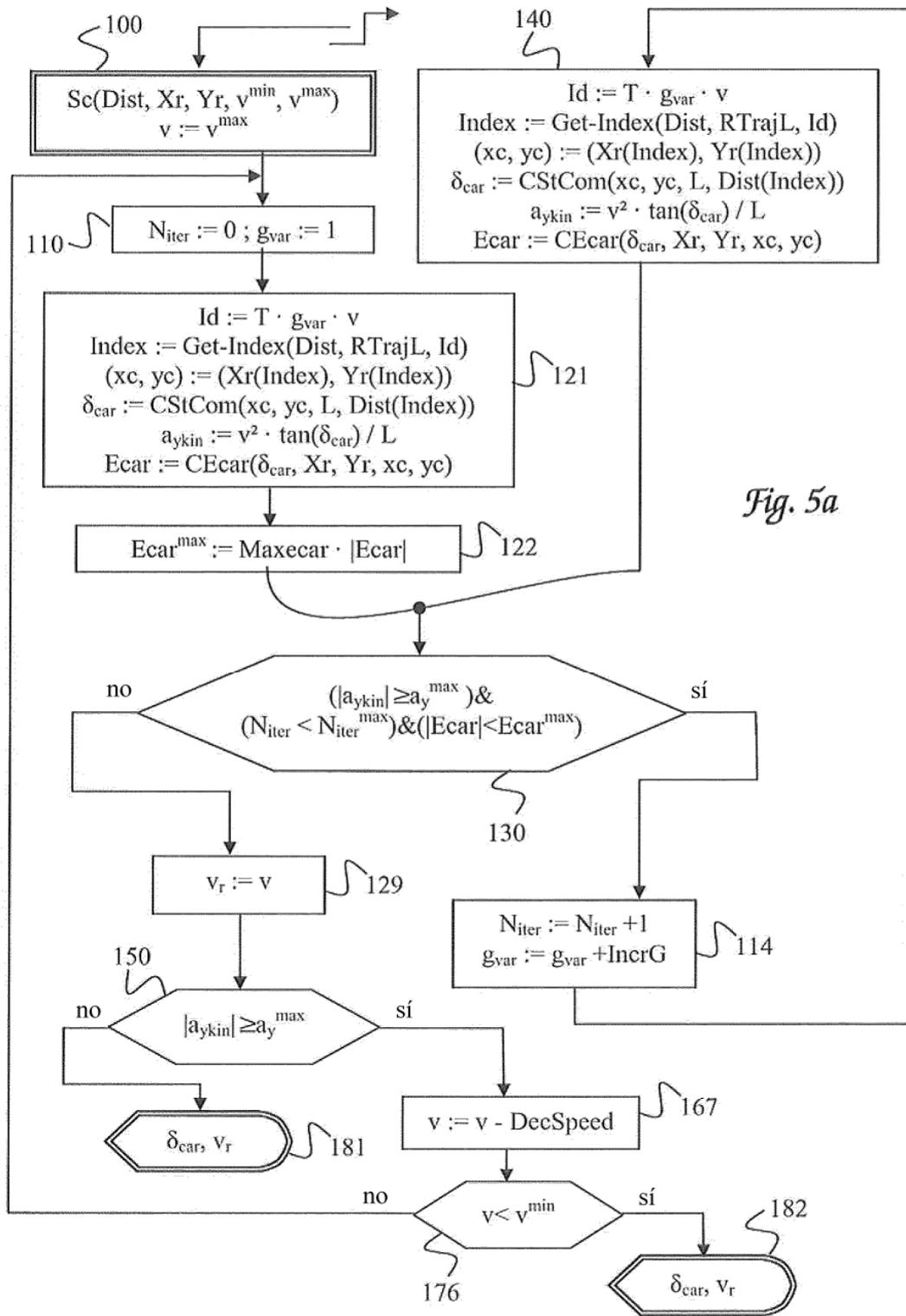


Fig. 5a

Fig. 5b

