

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 636**

51 Int. Cl.:

**G01S 13/93** (2006.01)

**G08G 1/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.11.2013 PCT/NL2013/050806**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.05.2014 WO14073968**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2013 E 13801881 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.03.2018 EP 2917760**

54 Título: **Control de separación del vehículo**

30 Prioridad:

**09.11.2012 EP 12192083**

**31.01.2013 EP 13153450**

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

**07.06.2018**

73 Titular/es:

**NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR  
TOEGEPAST- NATUURWETENSCHAPPELIJK  
ONDERZOEK TNO (100.0%)**

**Anna van Buerenplein 1  
2595 DA 's-Gravenhage, NL**

72 Inventor/es:

**VAN NUNEN, ELLEN;  
KESTER, LEONARDUS JOHANNES HUBERTUS  
MARIA y  
PLOEG, JEROEN**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

**ES 2 671 636 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

Control de separación del vehículo

Campo de la invención

5 La presente invención se relaciona con sistemas de control de vehículos, un método para determinar una política de separación segura para vehículos y una unidad de control de velocidad.

Fondo

10 La presente invención se relaciona con un método para determinar una política de separación segura para vehículos, donde dicha política de separación incluye preferiblemente una distancia de seguridad, donde al menos un primer vehículo está provisto con una unidad de control de velocidad para controlar la velocidad del vehículo y al menos una unidad de sensor acoplada con la unidad de control de velocidad para proporcionar datos del sensor, tales como velocidad, aceleración, ubicación y/o datos de distancia. La presente invención se relaciona además con una unidad de control de velocidad para controlar la velocidad de un vehículo que está provista además con al menos una unidad de sensor acoplada con la unidad de control de velocidad para proporcionar datos de sensor. La presente invención se puede aplicar en todo tipo de vehículos, tales como barcos, trenes (incluidos subterráneos), aviones y vehículos de carretera tales como automóviles y camiones. Aunque la presente invención es particularmente útil en sistemas cooperativos de control de cruceo adaptativo (CACC) para vehículos de carretera, no está limitada y puede usarse también en otros sistemas de control de seguridad, tales como control de cruceo no adaptativo y sistemas de control de vehículos.

20 Son bien conocidos los sistemas para ayudar a los conductores de vehículos. Se hace referencia al artículo de A. Lindgren y F. Chen: "State of the art analysis: An overview of advanced driver assistance systems (ADAS) and possible human factors issues", en Human Factors and Economic Aspects on Safety, p. 38, 2006. Algunos sistemas alertan al conductor sobre situaciones potencialmente peligrosas, tal como cambios de carril (involuntarios) o frenada de vehículos por delante. Los sistemas más avanzados controlan directamente el vehículo, al menos en situaciones de emergencia, por ejemplo, al aplicar los frenos. Los sistemas CACC controlan la distancia al vehículo anterior. Si no se puede mantener la velocidad actual del vehículo, por ejemplo, debido a que el vehículo que va adelante se ralentiza, se reduce la velocidad para evitar una colisión.

30 Todos estos sistemas dependen de la entrada de datos recogidos por sensores, tales como sensores de velocidad, sensores de aceleración y/o sensores de posición (por ejemplo, usando GPS - Sistema de Posicionamiento Global). Todos estos sensores necesariamente introducen errores de medición, por pequeños que sean. Además, hay retrasos en la transmisión de las señales del sensor y en el procesamiento de estas señales del sensor por parte del sistema. Pueden introducirse otras imprecisiones y, por lo tanto, incertidumbres en los datos del sensor por errores de comunicación, tales como pérdidas de paquetes, por fallo del sensor (por ejemplo, fallo del radar o del láser), por ruido del sensor y por retrasos variables en los componentes del sistema.

35 Todos los errores de medición y retrasos y/o pérdidas de comunicación dan como resultado errores de datos: los datos de velocidad y/u otros datos usados en los cálculos de distancia no son completamente exactos o están actualizados, lo que introduce incertidumbres con respecto a los datos reales. Como resultado, cualquier separación que se determine usando estos datos será inexacto. Esto puede verse agravado por las incertidumbres en los parámetros de frenado (desaceleración) debido a la variación de las condiciones de los neumáticos y las carreteras.

40 Una solución cruda a este problema es introducir un margen de error en la distancia de seguridad: añadiendo siempre, por ejemplo 20% a la distancia de seguridad calculada, se compensará cualquier error de medición. Sin embargo, esto indica que la distancia de seguridad siempre es mayor de lo necesario, que resulta en un uso ineficiente de la carretera y un mayor consumo de combustible. El documento US 6 114 951 A divulga un aparato de prevención de colisiones que calcula una distancia de seguridad del vehículo entre el vehículo principal y el vehículo anterior teniendo en cuenta la distancia entre vehículos, la velocidad del vehículo principal, la velocidad y aceleración del vehículo anterior y un freno de emergencia predeterminado. Se agrega un margen de espacio en los cálculos.

Resumen

50 Es un objeto de la presente invención superar estos y otros problemas de la técnica anterior y proporcionar un método y dispositivo para su uso en sistemas de control de vehículos que tiene una fiabilidad mejorada y ofrece una seguridad mejorada. Por consiguiente, la presente invención proporciona un método para determinar una distancia de seguridad entre un primer vehículo y un segundo vehículo que se mueve delante del primer vehículo, donde cada vehículo tiene un estado que comprende una posición, una velocidad y una aceleración del vehículo, donde el método comprende los pasos de:

- recopilar datos de sensores relacionados con los estados de los vehículos,
- determinar, usando los datos del sensor y una descripción dependiente del tiempo del estado del segundo vehículo, un estado computado del segundo vehículo que resulta de una desaceleración máxima predeterminada de dicho segundo vehículo, la descripción dependiente del tiempo del estado del segundo vehículo relacionado con una posición, velocidad y aceleración del segundo vehículo en función del tiempo;

- determinar, usando un modelo dependiente del tiempo del comportamiento del primer vehículo y dicho estado calculado del segundo vehículo, un estado computado del primer vehículo que resulta de dicha desaceleración máxima predeterminada de dicho segundo vehículo, y

5 - determinar, usando dicho estado computado del segundo vehículo y dicho estado calculado del primer vehículo, la distancia de seguridad,

en el que dicho estado calculado del segundo vehículo y dicho estado computado del primer vehículo implica incertidumbres representadas por márgenes de error y/o funciones de densidad de probabilidad conjunta de los datos del sensor.

10 El estado de cada vehículo comprende la posición, la velocidad y la aceleración del vehículo (se observa que una aceleración puede ser positiva, cero o negativa, y que una aceleración negativa también se puede llamar desaceleración). La velocidad es la derivada en el tiempo de la posición y la aceleración es la derivada en el tiempo de la velocidad, y la posición inversa es una integral de la velocidad y la velocidad es una integral de la aceleración. Así, por ejemplo, se pueden usar los datos del sensor que representan la posición en función del tiempo para determinar los estados del vehículo. En este sentido, la posición en función del tiempo se relaciona con los estados del vehículo. De forma similar, se pueden usar los datos del sensor que representan la velocidad en función del tiempo para determinar los estados del vehículo en un cuadro de coordenadas con respecto a una posición de referencia.

15 Los valores de posición, velocidad y aceleración explícitos para el vehículo en función del tiempo describen el estado que depende explícitamente del tiempo. Pero debido a que la velocidad es la derivada en el tiempo de la posición y la aceleración es la derivada en el tiempo de la velocidad, también se puede usar la posición en función del tiempo para proporcionar una descripción dependiente del tiempo del estado. Se puede proporcionar la descripción dependiente del tiempo del estado del segundo vehículo usando una fórmula matemática que define la posición como una función del tiempo, o fórmulas explícitas equivalentes que definen la posición, la velocidad y la aceleración como una función del tiempo.

20 Un primer estado o estado normal está presente durante el funcionamiento normal del vehículo, mientras que un segundo estado de emergencia ocurre durante un freno de emergencia del segundo vehículo, durante el cual el segundo vehículo tiene una desaceleración máxima hasta el punto muerto. Para la desaceleración máxima, se usa un valor predeterminado.

25 De este modo, usando los datos del sensor y una descripción de estado dependiente del tiempo del segundo vehículo, se determina un estado de emergencia computado del segundo vehículo. Luego, usando un modelo dependiente del tiempo del comportamiento del primer vehículo y el estado de emergencia computado del segundo vehículo, se determina un estado de emergencia computado del primer vehículo. Finalmente, usando el estado de emergencia calculado del segundo vehículo y el estado de emergencia calculado del primer vehículo, se determina la distancia de seguridad.

30 Los estados del primer y segundo vehículo implican incertidumbres introducidas por los datos del sensor, en particular por imprecisiones en los datos del sensor. Al involucrar incertidumbres (que pueden expresarse como márgenes de error) en los datos del sensor al determinar la distancia de seguridad, se pueden considerar los errores de medición que puedan ser introducidos por las unidades de sensores que recopilan los datos y se obtiene una estimación mucho mejor de una distancia de seguridad. Puede decirse que el método de la presente invención determina la incertidumbre en la distancia de seguridad, con base en las incertidumbres en los datos del sensor.

35 En una realización, dicha determinación del estado calculado del segundo vehículo comprende usar la sustitución de los datos del sensor por valores de la posición, velocidad y/o aceleración que han disminuido por las incertidumbres. La posición del segundo vehículo es cada vez más positiva con el aumento de la distancia, y la velocidad y la aceleración del segundo vehículo son cada vez más positivas cuando el segundo vehículo se mueve o acelera cada vez más en la dirección de las posiciones positivas. Por lo tanto, la sustitución representa el segundo vehículo como más cercano, más lento y/o que tiene menos aceleración que el sensor.

40 Los márgenes de error, que indican los errores máximos esperados en datos particulares y por lo tanto representan las incertidumbres en esos datos, en principio se pueden establecer en un valor arbitrario, pero preferiblemente se eligen los márgenes de error para ser al menos dos veces iguales a la desviación estándar de los datos respectivos, preferiblemente tres veces. En particular, los márgenes de tres veces la desviación estándar de los datos particulares demuestran ser ventajosos ya que proporcionan un alto grado de seguridad: la probabilidad de que los datos caigan fuera del intervalo determinado por tres veces la desviación estándar es muy baja. Sin embargo, estos márgenes de error se pueden establecer en un valor adecuado, es decir, un valor que proporcione una probabilidad aceptable de error.

45 Como alternativa a, o además de los márgenes de error, las distribuciones de probabilidad conjunta se pueden usar ventajosamente para modelar las incertidumbres. Es decir, se pueden producir distribuciones de probabilidad conjuntas de los datos del sensor en cuestión, y las incertidumbres se derivan de las distribuciones de probabilidad conjuntas.

En una realización preferida, el modelo comprende un producto de convolución de una función de transferencia del

- primer vehículo y el estado del segundo vehículo. Es decir, se modela el comportamiento del primer vehículo, en respuesta a la desaceleración máxima del (segundo) vehículo adelante, como una función de transferencia dependiente del tiempo. Como es bien conocido en la técnica del control de vehículos, un producto de convolución de una función de transferencia y una función dependiente del tiempo produce una nueva función dependiente del tiempo.
- 5 La función de transferencia puede derivarse de un modelo de comportamiento del vehículo en el dominio de Laplace o cualquier otro dominio de transformación adecuado. La función dependiente del tiempo que está convolucionada con la función de transferencia puede ser una función que representa la posición del segundo vehículo como una función del tiempo, por ejemplo.
- Aunque se pueden usar solo datos de distancia junto con una desviación estándar respectiva, se prefiere que los datos comprendan datos de velocidad, datos de aceleración y datos de distancia que tengan una desviación estándar de datos de velocidad, una desviación estándar de datos de aceleración y una desviación estándar de datos de distancia respectivamente.
- 10 En una realización particularmente ventajosa, se usa la distancia de seguridad para determinar un avance seguro (también denominado tiempo de avance), cuyo tiempo de avance seguro se usa para ajustar un tiempo de avance deseado si el tiempo de avance deseado es menor que el tiempo de paso seguro. Un tiempo de avance, que puede definirse como la distancia desde la punta de un vehículo hasta la punta del siguiente detrás de él, expresado como el tiempo que le tomará al vehículo que recorre cubrir esa distancia, se usa en las políticas de separación para calcular distancias seguras y/o deseadas entre vehículos. El tiempo de avance puede determinarse para proporcionar la llamada estabilidad de cuerda, es decir, para evitar oscilaciones en la velocidad del vehículo.
- 15 En realizaciones ventajosas, se determina repetidamente la distancia de seguridad, en tiempo real. Es decir, la distancia de seguridad se puede determinar cada segundo, pero preferiblemente cada fracción de segundo, por ejemplo, cada 10 milisegundos (ms). Esto ofrece la ventaja de que la distancia de seguridad está disponible casi instantáneamente si cambian las circunstancias, como la velocidad de un vehículo.
- Aunque se puede usar la presente invención ventajosamente en sistemas cooperativos de control de cruceo adaptativo (CACC), no está tan limitada y se puede usar en otros sistemas de control de vehículo, incluyendo sistemas de control de cruceo y sistemas de seguridad.
- 25 Se proporciona una unidad de control de velocidad para controlar la velocidad de un primer vehículo en dependencia de un segundo vehículo que se mueve delante del primer vehículo, donde cada vehículo tiene un estado que comprende al menos uno de una posición, una velocidad y una aceleración,
- 30 donde la unidad de control de velocidad está dispuesta para recibir datos del sensor relativos a los estados de los vehículos desde una unidad de sensor montada en el primer vehículo,
- donde la unidad de control de velocidad comprende una memoria y un procesador para almacenar y procesar dichos datos del sensor y un modelo del comportamiento del vehículo, la unidad de control de velocidad está dispuesta para:
- recopilar datos de sensores relacionados con los estados de los vehículos,
  - 35 - determinar, usando los datos del sensor y una descripción dependiente del tiempo del estado del segundo vehículo, un estado del segundo vehículo que resulta de una desaceleración máxima predeterminada de dicho segundo vehículo, la descripción dependiente del tiempo del estado del segundo vehículo relacionado con una posición, velocidad y aceleración del segundo vehículo en función del tiempo,
  - determinar, usando un modelo dependiente del tiempo del comportamiento del primer vehículo y dicho estado del segundo vehículo, un estado del primer vehículo que resulta de dicha desaceleración máxima predeterminada de dicho segundo vehículo, y
  - 40 - determinar, usando dicho estado del segundo vehículo y dicho estado del primer vehículo, la distancia de seguridad,
- en la que dicho estado del segundo vehículo y dicho estado del primer vehículo implican incertidumbres representadas por márgenes de error y/o funciones de densidad de probabilidad conjunta de los datos del sensor
- 45 Nuevamente, al involucrar las incertidumbres introducidas por los datos del sensor en la determinación de la distancia de seguridad, se ajusta la distancia de seguridad de acuerdo con estos márgenes de error y se obtiene una distancia de seguridad más confiable. Como se discutió anteriormente, las incertidumbres introducidas por los datos del sensor pueden deberse a errores de medición, retrasos en la comunicación, fallas de comunicación y/u otros factores.
- Adicionalmente, se proporciona un producto de programa informático para llevar a cabo el método definido anteriormente. Un producto de programa informático puede comprender un conjunto de instrucciones ejecutables por ordenador almacenadas en un soporte de datos tangible, tal como un CD, un DVD o un dispositivo de memoria USB. El conjunto de instrucciones ejecutables por computadora, que permiten que una computadora programable lleve a cabo el método como se definió anteriormente, también puede estar disponible para descargar desde un servidor remoto, por ejemplo, a través de Internet.
- 50
- 55 Breve descripción del dibujo

Se describirán adicionalmente a continuación estos y otros aspectos con referencia a las realizaciones a manera de ejemplo ilustradas en los dibujos adjuntos, en los que:

La Fig. 1 muestra esquemáticamente, a modo de ejemplo, vehículos de carretera que circulan en la misma dirección.

La Fig.2 muestra esquemáticamente un sistema de control del vehículo.

5 La Fig.3 muestra esquemáticamente las incertidumbres en los datos del sensor usados en el sistema de control del vehículo de la Fig. 1.

La Fig.4 muestra esquemáticamente cómo se usa un modelo para derivar el estado del primer vehículo del estado del segundo vehículo.

Descripción de las realizaciones a manera de ejemplo

10 Los automóviles mostrados esquemáticamente en la Fig. 1 conducen en la misma dirección D. El primer vehículo (automóvil) 1, provisto con una unidad 101 de control de velocidad y una unidad 201 de sensor, está conduciendo detrás del segundo vehículo (automóvil) 2, que puede o no estar provisto con una unidad de control de velocidad. Se mide una distancia d entre el extremo frontal del primer automóvil 1 y el extremo posterior del segundo automóvil 2, mientras que el segundo automóvil 2 tiene una longitud L2. Cada automóvil tiene una posición s1 y s2 instantánea (medida, por ejemplo, en el extremo delantero de cada vehículo), velocidad (por ejemplo, v1 y v2) y aceleración (por ejemplo, a1 y a2), respectivamente. En una realización, la posición, velocidad y aceleración (y posiblemente otros factores) juntos constituyen el estado de un vehículo. A partir de la información de posición dependiente del tiempo, un estado que incluye velocidad y la aceleración sigue implícitamente, y de forma similar a una velocidad dependiente del tiempo, la aceleración y la posición relativa a una referencia siguen implícitamente, etc. Cada vehículo puede frenar; la distancia mínima requerida para detenerse es la distancia de frenado respectiva, que puede diferir entre los vehículos.

15 Se entenderá que más automóviles pueden estar conduciendo en la misma dirección, o incluso en direcciones opuestas, pero en aras de la claridad se dará una explicación con referencia al ejemplo de dos vehículos de la Fig. 1. También se deberá entender que en lugar de automóviles que conducen en una carretera, los trenes u otros vehículos ferroviarios que conducen en una pista e incluso los dispositivos de transporte aéreo se beneficiarán de la presente invención.

20 La unidad 201 de sensor montada en el primer vehículo 1 está configurada para recolectar datos relacionados con los estados del primer vehículo 1 y el segundo vehículo 2 y enviar esos datos del sensor a la unidad 101 de control de velocidad. Más en particular, los datos recopilados por la unidad 201 de sensor pueden incluir datos de velocidad producidos por un velocímetro (por ejemplo, vinculados a la transmisión del vehículo), datos de aceleración producidos por sensores de aceleración, datos de distancia producidos por una unidad de radar y datos de localización producidos por una unidad GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Una unidad de radar también puede proporcionar datos relacionados con la velocidad relativa de los vehículos. Las diversas unidades de producción de datos no están necesariamente acomodadas en la carcasa de la unidad 201 de sensor.

25 Todas las fuentes de datos son propensas a errores. Estos errores incluyen errores de medición, que son causados por la falta de precisión. Se pueden introducir otros errores mediante la transmisión de datos de una unidad a otra, por ejemplo mediante Wi-Fi, es decir, mediante una red de área local inalámbrica (WLAN). Cuando se usa Wi-Fi, los datos se transmiten en paquetes de datos que a veces se pierden, lo que resulta en una pérdida de datos y un retraso en la llegada de los datos nuevos. Este retraso de transmisión puede ser crucial en casos de emergencia, por ejemplo, cuando los vehículos están frenando con fuerza. Es un objetivo tener en cuenta la pérdida de datos y/o errores de datos.

30 El sistema 10 de control de vehículo mostrado meramente a modo de ejemplo no limitante en la Fig. 2 comprende una unidad 101 de control de velocidad, unidades 201 a 211 de sensor (S), una unidad 230 de determinación de posición (GPS) y una unidad 240 de comunicación (Com.). La unidad 101 de control de velocidad comprende una unidad 111 de procesador (P), una unidad 121 de memoria (M) y una unidad 131 de entrada/salida (I/O). Como se puede configurar la unidad 101 de control de velocidad para otras tareas, además del control de velocidad, también puede denominarse unidad de control del vehículo.

35 Las unidades 201 a 211 de sensor están acopladas a la unidad 131 de I/O de la unidad 101 de control de velocidad mediante conexiones alámbricas o inalámbricas. La unidad 201 de sensor puede comprender un sensor de distancia, por ejemplo un sensor de distancia que usa un radar. Un sensor de distancia con base en radar también puede determinar una velocidad relativa: la velocidad del primer vehículo 1 con relación al segundo vehículo 2. La unidad 211 de sensor puede comprender un sensor de velocidad, por ejemplo un sensor de velocidad acoplado a una rueda del vehículo. Se pueden proporcionar sensores y/o unidades de sensores adicionales, por ejemplo sensores de aceleración, sensores de localización con base en redes telefónicas móviles (es decir, celulares) y otros sensores.

40 La unidad de determinación de posición 230 puede basarse en un GPS (Sistema de Posicionamiento Global), proporcionando la ubicación del vehículo como una función del tiempo. La unidad de vehículo 101 puede estar dispuesta para derivar la velocidad del vehículo desde la ubicación dependiente del tiempo proporcionada por la unidad

de determinación de posición 230.

La unidad 240 de comunicación está dispuesta preferiblemente para la comunicación con otros vehículos con el fin de transmitir y recibir datos del vehículo que incluyen, por ejemplo, la velocidad y/o la aceleración del vehículo.

- 5 La unidad 111 procesadora está, en combinación con la unidad 121 de memoria, configurada para usar una descripción dependiente del tiempo de la posición  $s_2$  del segundo vehículo 2 (véase la Fig. 1). Más en particular, esta descripción describe la posición del segundo vehículo en una situación de peor caso: un freno de emergencia. Expresado matemáticamente, tal descripción puede estar dada por:

$$s_2 = s_{t0} + v_{t0}.t + \frac{1}{2}.a_{t0}.t^2 - \tau(a_{m\acute{a}x} - a_{t0}) + (\frac{1}{2}.t^2 - \tau \cdot \exp(-t/\tau)).(a_{m\acute{a}x} - a_{t0}) \quad (I)$$

donde:

- 10  $s_{t0}$  = la ubicación del segundo vehículo en,  
 $v_{t0}$  = la velocidad del segundo vehículo en,  
 $a_{t0}$  = la aceleración del segundo vehículo en,  
 $t_0$  = el punto de referencia en el tiempo ( $t = 0$ ),  
 $\tau (= \tau)$  = la constante de tiempo del segundo vehículo,  
 15  $a_{m\acute{a}x}$  = la aceleración/desaceleración máxima del segundo vehículo.

La desaceleración máxima es un valor que expresa la desaceleración en el caso del freno de emergencia, es decir, la peor situación posible. Como la peor situación posible es un caso hipotético, se puede usar un valor predeterminado. El método y el sistema funcionarán con cualquier valor, pero para garantizar la seguridad cuando se usan el método y el sistema, se puede seleccionar un valor predeterminado que represente una desaceleración esperada de un vehículo representativo durante el freno de emergencia, o un máximo de valores de desaceleración para diferentes vehículos representativos durante el freno de emergencia.

- 20 Esta descripción proporciona la posición  $s_2$  del segundo vehículo 2 como una función del tiempo "t" y está determinada por los parámetros mencionados anteriormente, algunos de los cuales (tales como  $s_{t0}$ ,  $v_{t0}$  y  $a_{t0}$ ) son proporcionados por los datos del sensor y necesariamente incluirá errores.

- 25 Se tienen en cuenta los márgenes de error de los datos del sensor. Es decir, en la ecuación (I) se realizan las siguientes sustituciones:

$s_{t0} \rightarrow d_0 - e_d$ , donde  $e_d$  es el margen de error de distancia;  
 $v_{t0} \rightarrow v_{t0} - e_v$ , donde  $e_v$  es el margen de error de velocidad; y  
 $a_{t0} \rightarrow a_{t0} - e_a$ , donde  $e_a$  es el margen de error de aceleración.

- 30 Se observa que la posición inicial  $s_{t0}$  del segundo vehículo ahora se sustituye con la distancia inicial ( $d_0 - e_d$ ) entre los dos vehículos, donde la posición inicial del primer vehículo se escoge para que sea igual a cero por razones de conveniencia. Aunque preferiblemente todas las posiciones detectadas, velocidad y aceleración están sustituidas, debe observarse que la sustitución de solo una o dos de posición, velocidad y aceleración puede producir sustancialmente el mismo resultado si el margen de error en el otro u otros es insignificante. Además, se consigue una  
 35 mejora en cualquier caso cuando se sustituye al menos una posición, velocidad y aceleración detectadas.

Mediante el uso de un parámetro, tal como una velocidad inicial, a partir de la cual se resta el margen de error, se reduce significativamente la probabilidad de errores de medición, que resulta en un valor de la distancia de seguridad que es muy pequeño, y que puede dar como resultado una colisión.

- 40 En lugar de, o además de la forma anterior de involucrar incertidumbres en los cálculos de la distancia de seguridad, se pueden usar funciones de densidad de probabilidad conjunta. Las funciones de densidad de probabilidad conjunta expresan la densidad de probabilidad de los valores de estado, es decir, para cualquier intervalo de valores de estado, define la probabilidad de que el valor de estado real esté en ese intervalo. Se puede usar una función de densidad de probabilidad dependiente del tiempo que exprese dicha densidad de probabilidad para una pluralidad de puntos de tiempo.

- 45 Se pueden usar funciones de densidad de probabilidad conjunta que representan la densidad de probabilidad de una posición actual, velocidad y/o aceleración dados los datos del sensor, la densidad de probabilidad que representa la probabilidad de la posición actual, velocidad y/o aceleración diferente dados los datos del sensor. En una realización, las funciones de densidad de probabilidad para el tiempo de captura de los datos del sensor pueden ser gaussianas,

donde las funciones gaussianas se centran en valores determinados a partir de los datos del sensor y la función gaussiana tiene una varianza de acuerdo con los márgenes de error. Cuando se determina más de uno de la posición actual, velocidad y/o aceleración con base en los mismos datos del sensor, puede surgir una correlación entre los errores. En este caso, se puede usar una función de densidad de probabilidad para los datos del sensor, y se puede obtener una densidad de probabilidad para la posición, velocidad y/o aceleración mediante técnicas Bayesianas, que usa una expresión para la probabilidad condicional de valores de datos del sensor dada la posición, velocidad y/o aceleración, es decir, insertando efectivamente expresiones invertidas para los datos del sensor como una función de la posición, velocidad y/o aceleración en la función de densidad de probabilidad para los datos del sensor.

Por supuesto, se reduce aún más la probabilidad de errores a medida que aumentan los márgenes de error. Sin embargo, elegir márgenes de error que son demasiado grandes dará como resultado distancias innecesariamente grandes entre los vehículos, y por lo tanto un uso ineficiente de la carretera y posiblemente un mayor consumo de combustible. De acuerdo con otro aspecto, sin embargo, se elige el margen de error máximo para que sea tres veces la desviación estándar del parámetro particular, como se ilustra en la Fig. 3, donde se muestra la probabilidad P (v<sub>1</sub>) de la velocidad que tiene el valor v<sub>1</sub>. Entonces en la ecuación (I) se pueden usar los siguientes parámetros:

s<sub>t0</sub> → d<sub>0</sub> - 3. sigma<sub>d</sub>, donde sigma<sub>d</sub> (σ<sub>d</sub>) es la variación estándar de la distancia;

v<sub>t0</sub> → v<sub>t0</sub> - 3. sigma<sub>v</sub>, donde sigma<sub>v</sub> (σ<sub>v</sub>) es la variación estándar de la velocidad; y

a<sub>t0</sub> → a<sub>t0</sub> - 3. sigma<sub>a</sub>, donde sigma<sub>a</sub> (σ<sub>a</sub>) es la variación estándar de la aceleración.

Usando estos parámetros, la ecuación (I) ahora describe la posición del segundo vehículo 2 en caso de una situación de frenado de emergencia mientras tiene en cuenta los errores de datos del sensor. Como resultado, la posición calculada del segundo vehículo estará más cerca del primer vehículo que sin estas sustituciones, reduciendo así la distancia de seguridad. El valor s<sub>2</sub> resultante se puede usar para determinar una distancia h de avance desde el primer vehículo hasta el segundo vehículo.

Se observa que en lugar de, o además de la desviación estándar usada anteriormente, se pueden usar las distribuciones de probabilidad conjunta de los parámetros (por ejemplo, s, v y a). En ese caso, por ejemplo, un valor s<sub>2</sub> de posición para el segundo vehículo cuando se puede derivar el frenado de emergencia a partir de la distribución de probabilidad conjunta. Por ejemplo, se puede usar un valor s<sub>2</sub> de posición para un tiempo "t" para el cual la función de densidad de probabilidad predice que la probabilidad de cualquier valor peor está por debajo de un umbral predeterminado P<sub>min</sub>. Por ejemplo, cuando se usa una función P de densidad de probabilidad conjunta que representa la densidad de probabilidad de la posición real, velocidad y/o aceleración dados los datos del sensor en un tiempo futuro "t", se puede determinar el valor "s<sub>2</sub>" de posición como un valor de argumento de posición s = s<sub>2</sub> de la función de densidad de probabilidad P (s, ..., t) del segundo vehículo a distancia más cercana al primer vehículo para el que es verdadero que para el tiempo "t" la densidad de probabilidad acumulada w (s) < s<sub>2</sub> (una integral de la densidad de probabilidad) de las posiciones "s" del segundo vehículo más cercano al primer vehículo que ese valor s<sub>2</sub> de posición no es más alto que un umbral predeterminado P<sub>min</sub>: w (s < s<sub>2</sub>) ≤ P<sub>min</sub>. El s<sub>2</sub> resultante puede usarse para determinar una distancia h de avance desde el primer vehículo hasta el segundo vehículo.

Se puede calcular al menos la posición dependiente de la función de densidad de probabilidad conjunta en un tiempo futuro a partir de las funciones de densidad de probabilidad conjunta en el momento de capturar los datos del sensor ("el tiempo inicial") usando la expresión para el estado en el tiempo futuro como una función del estado en el momento inicial. Esto se puede hacer, por ejemplo, mediante técnicas bayesianas, que usan una expresión para la probabilidad condicional de un estado en un momento futuro dado el estado en el momento actual. Efectivamente, se inserta una expresión inversa para el estado en el momento inicial como una función del estado (por ejemplo, posición) en el tiempo futuro, en la función de densidad de probabilidad para el tiempo actual. Alternativamente, se pueden calcular las funciones de densidad de probabilidad conjunta en el tiempo futuro mediante métodos de Monte Carlo, muestreando estados con una probabilidad de acuerdo con la función de densidad de probabilidad en el tiempo inicial y calculando los estados correspondientes para el tiempo futuro.

Para determinar la distancia de seguridad real, debe tenerse en cuenta el comportamiento del primer vehículo (1 en la Fig. 1). Se usa un modelo que involucra tanto el comportamiento del primer vehículo como el comportamiento de la unidad de control de velocidad, que incluye un retraso de comunicación. Se prefiere que se modele este comportamiento combinado en el dominio de Laplace, usando así una técnica de ingeniería bien conocida. Se ha encontrado que una función adecuada de transferencia de dominio de Laplace que representa un modelo realista viene dada por:

$$Z(s) = \exp(-\theta s)/(hs + 1) \quad (II),$$

donde theta (θ) es un retraso de tiempo, h es el tiempo de avance (actual) y s la variable de dominio de Laplace. Transformado al dominio del tiempo, este modelo se puede expresar como:

$$Z(t) = (1/h).\exp(-(t-\theta)/h) \quad (III)$$

La posición  $s_1$  del primer vehículo 1 ahora se puede expresar como:

$$s_1(t) = Z(t) * s_2(t) \tag{IV}$$

donde "\*" denota la operación de convolución. Como se puede observar, esta fórmula expresa la posición  $s_1$  del primer vehículo en términos de la posición  $s_2$  dependiente del tiempo del segundo vehículo. Aquí se puede usar la descripción dependiente del tiempo de la posición  $s_2$  de fórmula I.

La distancia de seguridad  $d_{segura}$  entre los vehículos finalmente está dada por:

$$d_{segura} = s_2(T_2) - s_1(T_1) - L_2 \tag{V}$$

donde  $T_1$  y  $T_2$  son las veces en que el primer vehículo y el segundo vehículo respectivamente alcanzan el punto muerto, y donde  $L_2$  es nuevamente la longitud del segundo vehículo (ya que su posición se mide desde su frente).

Se puede determinar repetidamente la distancia de seguridad  $d_{segura}$ , por ejemplo al menos una vez cada segundo pero preferiblemente con más frecuencia, para verificar si la distancia real entre los vehículos es todavía al menos tan grande como la distancia de seguridad. Como se verá claramente en la explicación anterior, la distancia de seguridad depende del tiempo y además depende de varios parámetros, como la velocidad real de los vehículos.

En resumen, la unidad 101 de control de velocidad está configurada para:

- determinar, usando los datos del sensor y una descripción dependiente del tiempo del estado normal del segundo vehículo 2, un estado del segundo vehículo que resulta de una desaceleración máxima del segundo vehículo,
- determinar, usando un modelo dependiente del tiempo del comportamiento del primer vehículo 1 y el estado normal del segundo vehículo, un estado del primer vehículo que resulta de dicha desaceleración máxima de dicho segundo vehículo, y
- determinar, usando el estado de desaceleración máxima del segundo vehículo y el estado de desaceleración máxima del primer vehículo, la distancia de seguridad, mientras que usa los márgenes de error de los datos del sensor para determinar la distancia de seguridad.

Una política de separación está diseñada para alcanzar y/o mantener un cierto valor de referencia, tal como una distancia deseada. Dicha distancia deseada  $d_{deseada}$  con respecto a un vehículo anterior (el segundo vehículo 2 en la figura 1) se puede expresar como:

$$d_{deseada} = r + h \cdot v_1 \tag{VI}$$

donde  $r$  es la distancia entre los vehículos en punto muerto,  $h$  es el tiempo de avance deseado determinado por la política de separación (que establece una separación adecuada entre vehículos) y  $v_1$  es la velocidad del vehículo en cuestión (el primer vehículo 1 en la Fig. 1) Se observa que  $d_o = r + h \cdot v_1 + n$ , donde  $n$  es un componente de ruido.

Se puede usar la distancia de seguridad  $d_{segura}$  ventajosamente para determinar un tiempo de avance seguro  $h_{seguro}$ :

$$h_{seguro} = (d_{deseada} - r) / v_1 \tag{VII}$$

Esto implica la idea de que los datos de entrada producidos por los sensores, tales como datos de velocidad y datos de aceleración, necesariamente contienen errores de medición, lo que da como resultado incertidumbres. Al tomar en cuenta estos errores de medición y del sistema (por ejemplo, retrasos), se puede determinar una distancia de seguridad del vehículo mucho más confiable (y por lo tanto un tiempo de avance seguro). Otra idea es que una imprecisión modelada por, por ejemplo tres veces la desviación estándar proporciona una estimación muy confiable del error y, por lo tanto, de la distancia de seguridad. Sin embargo, también son ventajosas las distribuciones de probabilidad conjuntas cuando se modelan las incertidumbres.

Se observa que los términos usados aquí no deben interpretarse de manera que limiten el alcance de la presente invención. En particular, las palabras "comprende(n)" y "que comprende" no pretenden excluir ningún elemento no expresado específicamente. Los elementos individuales pueden ser sustituidos por elementos múltiples o con sus equivalentes. Aunque la invención se ha descrito con referencia a los sistemas de control de vehículo a bordo, la invención no está tan limitada y también se puede aplicar en el sistema de control remoto del vehículo. Como se indicó anteriormente, el término vehículos no se limita a vehículos de carretera como automóviles y camiones, sino que también incluye barcos, vehículos ferroviarios, aviones, helicópteros y otros medios de transporte. El término aceleración no se limita a la aceleración positiva sino que también puede referirse a la aceleración negativa, es decir, a la desaceleración. Los términos rapidez y velocidad son intercambiables. De manera similar, en la mayoría de los casos, los términos ubicación y posición son intercambiables.



**REIVINDICACIONES**

1. Un método para determinar una distancia de seguridad ( $d_{segura}$ ) entre un primer vehículo (1) y un segundo vehículo (2) que se mueve delante del primer vehículo, donde cada vehículo tiene un estado que comprende una posición ( $s_1, s_2$ ), una velocidad ( $v_1, v_2$ ) y una aceleración ( $a_1, a_2$ ) del vehículo, donde el método comprende los pasos de:
- 5 - recopilar datos del sensor relativos a los estados de los vehículos (1, 2), donde el estado de cada vehículo representa la posición, la velocidad y la aceleración de dicho vehículo,
- determinar, usando los datos del sensor y una descripción dependiente del tiempo del estado del segundo vehículo (2), un estado calculado del segundo vehículo (2) que resulta del uso de un valor de desaceleración máximo predeterminado para dicho segundo vehículo, la descripción dependiente del tiempo del estado del segundo vehículo (2) que se relaciona con una posición, velocidad y aceleración del segundo vehículo (2) en función del tiempo;
- 10 - determinar, usando un modelo dependiente del tiempo del comportamiento del primer vehículo (1) y dicho estado calculado del segundo vehículo (2), un estado calculado del primer vehículo (1) que resulta del uso de dicho valor máximo de desaceleración predeterminado para dicho segundo vehículo (2), y
- determinar, usando dicho estado calculado del segundo vehículo (2) y dicho estado calculado del primer vehículo (1), la distancia de seguridad ( $d_{segura}$ ),
- 15 en la que dicho estado calculado del segundo vehículo (2) y dicho estado calculado del primer vehículo (1) implican incertidumbres representadas por márgenes de error de los datos del sensor y/o modelado que usa funciones de densidad de probabilidad conjunta de los datos del sensor.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que se modelan las incertidumbres mediante la desviación estándar (sigma) de los datos respectivos.
- 20 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que se sustituyen los datos del sensor para la posición, velocidad y/o aceleración reducidos por las incertidumbres en dicha determinación del estado calculado del segundo vehículo.
4. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el modelo dependiente del tiempo del primer vehículo (1) comprende un producto de convolución temporal de una función de transferencia temporal del primer vehículo (1) y el estado calculado del segundo vehículo (2) en función del tiempo.
- 25 5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los datos del sensor comprenden datos de velocidad, datos de aceleración y datos de distancia.
6. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se usa la distancia de seguridad ( $d_{segura}$ ) para determinar un valor seguro del tiempo de avance ( $h_{seguro}$ ), donde el tiempo de avance se define como el tiempo que le tomará al segundo vehículo cubrir una distancia desde la punta del segundo vehículo hasta la punta del primer vehículo, cuyo valor seguro del tiempo de avance se usa para ajustar un tiempo de avance deseado ( $h_{des}$ ) si el tiempo de avance deseado es mayor que el valor seguro del avance hora.
- 30 7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se determina repetidamente la distancia de seguridad ( $d_{segura}$ ).
8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se ajusta la distancia real entre los vehículos (1, 2) en función de la distancia de seguridad ( $d_{segura}$ ) si la distancia de seguridad es menor que la distancia real.
9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, usado en un sistema cooperativo de control de cruceo adaptativo.
- 40 10. Un producto de programa informático que comprende instrucciones que, cuando se ejecuta el programa por un ordenador, hace que la computadora lleve a cabo los pasos del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
11. Una unidad (101) de control de velocidad para controlar la velocidad de un primer vehículo (1) en dependencia de un segundo vehículo (2) que se mueve delante del primer vehículo, donde cada vehículo tiene un estado que comprende una posición ( $s_1, s_2$ ), una velocidad y una aceleración del vehículo,
- 45 donde la unidad de control de velocidad (101) está dispuesta para recibir datos del sensor relativos a los estados de los vehículos (1, 2) desde una unidad (201) de sensor montada en el primer vehículo (1),
- donde la unidad (101) de control de velocidad comprende una memoria y un procesador para almacenar y procesar dichos datos de sensor y un modelo del comportamiento del vehículo, donde la unidad de control de velocidad está dispuesta para:
- 50 - determinar, usando los datos del sensor y una descripción dependiente del tiempo del estado del segundo vehículo

(2), un estado calculado del segundo vehículo (2) que resulta del uso de un valor de desaceleración máximo predeterminado para dicho segundo vehículo, la descripción dependiente del estado del segundo vehículo (2) en relación con una posición, velocidad y aceleración del segundo vehículo (2) en función del tiempo,

5 - determinar, usando un modelo dependiente del tiempo del comportamiento del primer vehículo (1) y dicho estado calculado del segundo vehículo (2), un estado calculado del primer vehículo (1) que resulta del uso de dicho valor máximo de desaceleración predeterminado para dicho segundo vehículo (2), y

- determinar, usando dicho estado calculado del segundo vehículo (2) y dicho estado calculado del primer vehículo (1), la distancia de seguridad ( $d_{segura}$ ),

10 en el que dicho estado calculado del segundo vehículo (2) y dicho estado calculado del primer vehículo (1) implica incertidumbres representadas por márgenes de error de los datos del sensor y/o modelado que usa funciones de densidad de probabilidad conjunta de los datos del sensor.

12. La unidad de control de velocidad de acuerdo con la reivindicación 11, en la que se modelan las incertidumbres mediante la desviación estándar (sigma) de los datos respectivos.

15 13. La unidad de control de velocidad de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, en la que se modelan las incertidumbres usando funciones de densidad de probabilidad conjunta.

14. La unidad de control de velocidad de acuerdo con la reivindicación 11, 12 o 13, cuya unidad de control de velocidad es una unidad de control de velocidad adaptable.

15. Un sistema para control de vehículo, que comprende una unidad (101) de control de velocidad de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11-14.

20

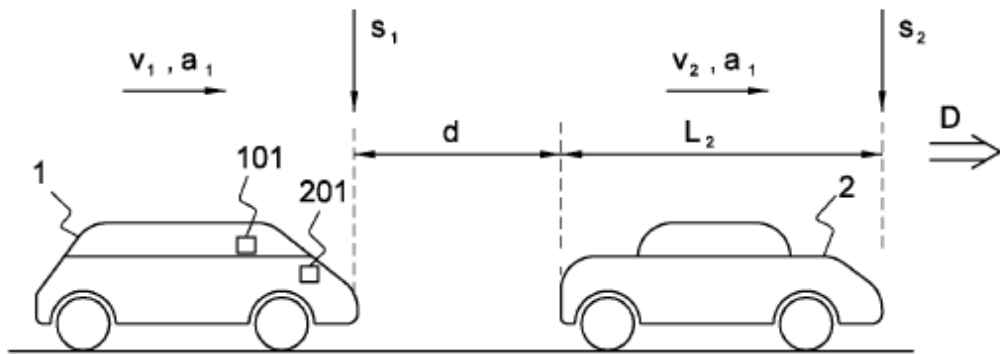


FIG. 1

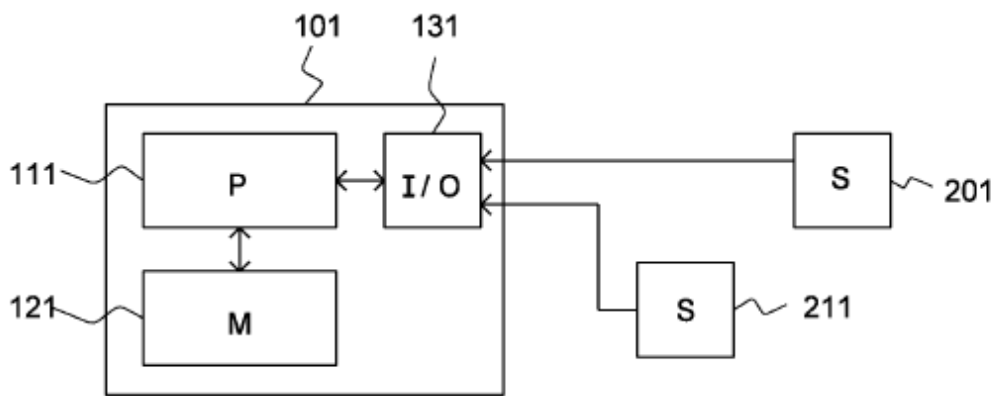


FIG. 2

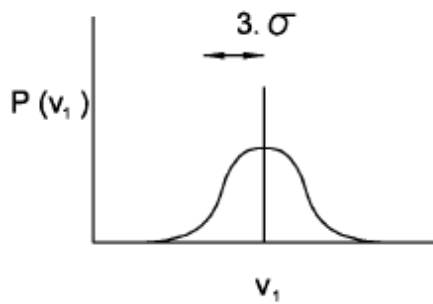


FIG. 3

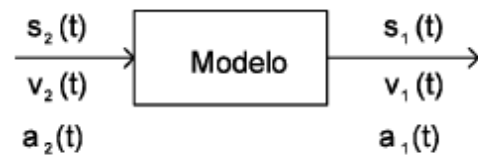


FIG. 4