

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 814 701**

51 Int. Cl.:

G05D 1/02 (2010.01)

G08G 1/16 (2006.01)

B62D 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.08.2018** **E 18382623 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020** **EP 3614223**

54 Título: **Método, sistema y dispositivo de control de emergencia para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.03.2021

73 Titular/es:

THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US

72 Inventor/es:

NEGRO VADILLO, JAIME;
KAWIECKI, GRZEGORZ y
ESTEBAN CAMPILLO, DAVID

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 814 701 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método, sistema y dispositivo de control de emergencia para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia

Campo

- 5 La presente divulgación está comprendida en el campo de la gestión de tráfico de vehículos autónomos y, en particular, la gestión de estados de tráfico de emergencia o anómalos.

Antecedentes

- 10 La mayoría de los vehículos terrestres autónomos actualmente sometidos a prueba se basan totalmente en sensores de a bordo y recursos de procesamiento de a bordo. También hay una gran cantidad de investigación sobre métodos de control de grupos de vehículos (también denominados "enjambres"). Por ejemplo, Jann *et al* [1] se centran en la planificación de trayecto para un grupo de vehículos que funcionan en un entorno dinámico, desconocido. Este estudio de muy alto nivel supone que los vehículos miembros del enjambre pueden navegar de manera independiente, pero también colaborar entre sí y pueden desarrollar un mapa del entorno. Zhao *et al* [2] describen un método de gestión de grupos de vehículos basado en un concepto de "pelotón", abordando por tanto tan solo un subconjunto estrecho de posibles problemas, en el que las posiciones de vehículo se definen en cuanto a coordenadas espaciales.

- 20 Uno de los posibles métodos de gestión de la comunicación entre miembros de enjambre de vehículos aéreos no tripulados se ha abordado en [3]. Este documento describe la aplicación y las ventajas de una red *ad hoc* móvil. Los nodos individuales se comunican entre sí usando multidifusión IP. Se mejora el conocimiento de la situación mediante la compilación de información a partir de múltiples miembros del enjambre. Sin embargo, no se explica la manera de convertir el conocimiento de la situación en manipulación de posiciones de miembros del enjambre. En [4], se da a conocer una revisión de métodos de conexión en red inalámbrica aplicados al intercambio de datos entre vehículos, junto con la posible aplicación de tales redes y, en particular, redes *ad hoc* vehiculares, para asumir el control del vehículo si se necesita. Sin embargo, no se aborda en absoluto la implementación física de ajustes de movimiento resultantes.

- 25 La predicción de movimiento en redes vehiculares se ha abordado, entre otros documentos, en [5]. El método descrito en el mismo se basa en el análisis probabilístico del movimiento actual del vehículo, para predecir la posición futura. Sin embargo, la predicción puede no lograr determinar de manera precisa la trayectoria futura de los vehículos implicados.

- 30 También se conocen métodos para mejorar la precisión de navegación, tanto cuando está disponible GPS como cuando no lo está. Según [6], una estimación de la posición usando una combinación de datos visuales, obtenidos por sistema de cámara, y datos de sistema de información geográfica, mejora significativamente la precisión de la navegación, por encima del nivel de precisión ofrecido por GPS. Sin embargo, incluso con estas medidas, la precisión de navegación puede verse comprometida por tasas de actualización insuficientes y/o corrupción de señal provocada por obstáculos, climatología adversa, deriva de sensor o sesgo de salida de sensor.

- 35 El documento de patente EP2930581-A propone codificación de trayectoria, usando parámetros dinámicos requeridos para controlar el vehículo. Sin embargo, el método se centra en la aplicación de un sistema centralizado que optimiza trayectorias en una zona fija, y no puede aplicarse cuando se altera la comunicación con un servidor remoto (la unidad de cálculo central).

- 40 El documento de patente WO2007091219 da a conocer un método para emitir por radiodifusión de manera repetida mensajes de alerta de peligro entre una pluralidad de nodos en una red *ad hoc* inalámbrica, en particular que usa comunicación entre coches, también denominada red entre vehículos, en el que coches equipados con sensor se comunican de manera cooperativa, por ejemplo, para evitar colisiones, en el que se usa un canal inalámbrico individual para emitir por radiodifusión mensajes, de tal manera que el mensaje de alerta de peligro se emitirá por radiodifusión de manera fiable en caso de baja densidad de nodos en la zona de relevancia, y en caso de alta densidad de nodos el canal compartido común se usa de manera eficaz debido a la emisión por radiodifusión distribuida del mensaje de alerta de peligro. Según este método, un coche detecta un acontecimiento por delante del coche y emite por radiodifusión un mensaje de alerta de peligro que incluye información del acontecimiento a todos los nodos dentro de su alcance de recepción. El mensaje se emite por radiodifusión de ese modo y se pasa hacia el sentido desde el que están llegando vehículos inocentes.

- 50 Una violación en la integridad de la red colaborativa establecida entre vehículos participantes puede tener consecuencias trágicas. Se ha facilitado un estudio de soluciones de seguridad de comunicaciones existentes en [7], enfatizando fuertemente la superioridad del cifrado basado en identidad como medida de seguridad preferida para redes vehiculares. Sin embargo, este método depende de la comunicación con una tercera parte de confianza lo cual limita muy gravemente su eficacia cuando se aplica a vehículos autónomos. La solución de seguridad propuesta en [8] también depende de comunicaciones con terceras partes externas (estaciones base) y se basa en una red neuronal como técnica facilitadora principal. Las redes neuronales se encuentran entre las soluciones de aprendizaje automático más difíciles de certificar.

- 55 Por tanto, existe una necesidad de resolver el problema de gestionar de manera segura y eficaz el tráfico de vehículos autónomos, particularmente en situaciones de emergencia.

Bibliografía

- [1] Jann M., Anavatti S. y Biswass S., 2017, "Path Planning for Multi-Vehicle Autonomous Swarms in Dynamic Environment", Ninth International Conference on Advanced Computational Intelligence, 4-6 de febrero, Doha, Qatar.
- [2] Zhao X., Zhao H., Chen Y.-H. y Dong F., 2017, "Collision Avoidance Adaptive Robust Control for Autonomous Vehicles: Motivated by Swarm Properties", 29th Chinese Control and Decision Conference.
- [3] Badder C. S., Zanchi M. R. y Lauf A., 2013, "Collaborative Ad hoc Aerial Reconnaissance Platform", IEEE Military Communications Conference.
- [4] Simic M. N., 2013, "Vehicular Ad hoc Networks", Proceedings of TELSIKS, 16-19 de octubre, Nis, Serbia.
- [5] Magnano A., Fei X. y Boukerche A., 2015, "Movement Prediction in Vehicular Networks".
- [6] Rae A. y Basir O., 2007, "A Framework for Visual Position Estimation for Motor Vehicles", 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, Hannover, Alemania.
- [7] Shuhaimi N. I. y Juhana, T., 2012, "Security in Vehicular Ad-Hoc Network with Identity-Based Cryptography Approach: A Survey", Proceedings of 7th International Conference on Telecommunication Systems, Services and Applications, 3 de diciembre, Bali, Indonesia.
- [8] Lin, X. y Lu, R., 2015, "Vehicular Ad hoc Network Security and Privacy", primera edición, capítulo 9 "Fast Handover Authentication Based on Mobility Prediction", Wiley&Sons.
- [9] Abumansoor, O. y Boukerche, A., 2012, "A Secure Cooperative Approach for Nonline-of-Sight Location Verification in VANET", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 61, n.º 1, enero, 2012.
- [10] Churchill S., 2013, "Cellphones Get Direct, Device-to-Device Communications", <http://www.dailywireless.org/2013/02/14/cellphones-get-direct-device-to-device-communications/>

Sumario

La presente divulgación se refiere a un método, a un sistema y a un dispositivo de control de emergencia para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia. La presente implementación del método se basa en comandos de control conocidos que ejecutará un vehículo dado para resolver la contingencia de tráfico. Conociendo estos comandos, algunos parámetros del vehículo y, opcionalmente, condiciones del entorno tales como superficie de carretera o parámetros de viento, puede predecirse la posición de cada vehículo mucho mejor que simplemente extrapolando la trayectoria o el comportamiento conocidos.

Uno de los aspectos de la presente divulgación es un método para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia. Ese método comprende:

- Emitir por radiodifusión una señal de emergencia que contiene información relacionada con emergencia, usando un dispositivo de comunicación inalámbrico, activada por la recepción de una alerta por el vehículo autónomo.
- Establecer una red *ad hoc* inalámbrica entre una pluralidad de vehículos autónomos que reciben la señal de emergencia.
- Intercambiar datos entre los vehículos autónomos en la red, incluyendo los datos intercambiados al menos datos de sensor de a bordo e intención de cada vehículo autónomo en la red.
- Usar las capacidades de cálculo de vehículos autónomos en la red para definir de manera colaborativa las instrucciones de intención necesarias para evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo.
- Distribuir estas instrucciones de intención entre los vehículos autónomos en la red.
- Ejecutar, por cada vehículo autónomo en la red, las instrucciones de intención correspondientes.

Según la realización, el cálculo colaborativo de instrucciones de intención comprende negociar modificaciones de trayectoria entre los vehículos autónomos de la red, y convertir o traducir las modificaciones de trayectoria negociadas para cada vehículo autónomo de la red en operaciones codificadas usando un lenguaje de descripción de intención. En particular, el cálculo colaborativo de instrucciones de intención puede comprender:

- Determinar, para cada vehículo autónomo en la red, un nivel de impacto del estado de tráfico anómalo sobre la intención del vehículo.
- Asignar un nivel de prioridad a cada vehículo autónomo en la red, basándose en el nivel de impacto.
- Determinar modificaciones de trayectoria iniciales para cada vehículo autónomo de la red con un nivel de prioridad igual o superior a un umbral anteriormente definido.

- Empezar con las modificaciones de trayectoria iniciales, negociar modificaciones de trayectoria entre los vehículos autónomos en la red con el fin de evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo.

En una realización, el cálculo colaborativo de instrucciones de intención comprende determinar tareas de cálculo distribuidas que van a realizarse por cada vehículo autónomo de la red. Los datos intercambiados entre los vehículos autónomos de la red pueden comprender prestaciones de cálculo y comunicaciones de cada vehículo autónomo, en el que las tareas de cálculo se distribuyen entre los vehículos autónomos de la red dependiendo de las prestaciones de cálculo y comunicaciones notificadas de cada vehículo autónomo de la red.

La etapa de establecer una red *ad hoc* inalámbrica puede comprender autenticar los vehículos autónomos que reciben la señal de emergencia. La etapa de establecer una red *ad hoc* inalámbrica puede comprender además determinar, entre los vehículos autónomos autenticados, vehículos autónomos validados que pueden contribuir al cálculo colaborativo para evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo; en el que los vehículos autónomos que forman la red *ad hoc* inalámbrica son los vehículos autónomos validados. Según una realización, la autenticación de cada vehículo autónomo comprende:

- Identificar al menos un componente crítico del vehículo autónomo en respuesta a una petición de autenticación.

- Recuperar información de autenticación para el componente crítico, en el que la información de autenticación comprende una pluralidad de firmas físicas y digitales esperadas como factores de autenticación para el componente crítico y al menos un componente adicional asociado con el componente crítico.

- Adquirir firmas físicas presentes mediante medición y firmas digitales para el componente crítico y el al menos un componente adicional asociado con el mismo.

- Para cada componente crítico y adicional, comprobar la validez de cada firma física y digital presente con la correspondiente firma física y digital esperada y autenticar el vehículo autónomo si las firmas físicas y digitales para cada componente son válidas.

El método también puede comprender comprobar de manera repetida la disponibilidad de todos los vehículos autónomos que constituyen la red *ad hoc* inalámbrica; y, si uno o más vehículos autónomos en la red pasan a estar temporalmente no disponibles, actualizar la red *ad hoc* inalámbrica para incluir solo los vehículos autónomos disponibles como nodos participantes de la red.

En el método, los datos intercambiados entre los vehículos autónomos de la red pueden comprender además al menos uno de los siguientes: la posición de cada vehículo autónomo, la velocidad de cada vehículo autónomo, el estado de vehículo, prestaciones de cálculo de cada vehículo autónomo, prestaciones de comunicaciones de cada vehículo autónomo, parámetros mecánicos de cada vehículo autónomo, información de entorno adquirida mediante uno o más sensores (incluyendo obstáculos detectados, vehículos detectados, visibilidad detectada y/o estado de superficie de carretera detectado), datos externos recuperados a partir de un servicio o un servidor remoto, o una combinación de los mismos.

El método puede comprender además detectar, por un vehículo autónomo, un estado de tráfico anómalo; y transmitir de manera inalámbrica, por el vehículo autónomo, una señal de emergencia que incluye información relacionada con el estado de tráfico anómalo.

Según un aspecto adicional de la presente divulgación, se proporciona un sistema para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia. El sistema comprende una pluralidad de dispositivos de control de emergencia, estando cada dispositivo adaptado para instalarse a bordo de un vehículo autónomo, en el que cada dispositivo de control de emergencia está equipado con un módulo de comunicación inalámbrico, un módulo de lenguaje de descripción de intención y una unidad de control configurada para ejecutar el método tal como se describió anteriormente.

Cada dispositivo de control de emergencia puede comprender además una unidad de detección de estado de tráfico anómalo configurada para detectar un estado de tráfico anómalo; en el que la unidad de control de cada dispositivo de control de emergencia está configurada además para transmitir de manera inalámbrica una señal de emergencia que incluye información relacionada con el estado de tráfico anómalo detectado.

Cada dispositivo de control de emergencia también puede comprender uno o más sensores configurados para adquirir información de entorno, en el que los datos intercambiados con el resto de los vehículos autónomos de la red incluyen la información de entorno adquirida.

En una realización, cada dispositivo de control de emergencia comprende además un dispositivo de autenticación configurado para autenticar el vehículo autónomo cuando se establece la red *ad hoc* inalámbrica. El dispositivo de autenticación comprende:

- Una unidad de recuperación configurada para identificar al menos un componente crítico del vehículo autónomo en respuesta a una petición de autenticación, y recuperar información de autenticación para el componente crítico, en el que la información de autenticación comprende una pluralidad de firmas físicas y digitales esperadas como factores de autenticación para el componente crítico y al menos un componente adicional asociado con el mismo.

- Una unidad de adquisición configurada para adquirir firmas físicas presentes mediante medición y firmas digitales para el componente crítico y el al menos un componente adicional.
 - Una unidad de comprobación configurada para comprobar, para cada componente crítico y adicional, la validez de cada firma física y digital presente con la correspondiente firma física y digital esperada, estando la unidad de comprobación configurada además para autenticar el vehículo autónomo si las firmas físicas y digitales para cada componente son válidas.
- Según aún un aspecto adicional de la presente divulgación, se proporciona un dispositivo de control de emergencia para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia, adaptado para instalarse a bordo de un vehículo autónomo. El dispositivo de control de emergencia comprende un módulo de comunicación inalámbrico, un módulo de lenguaje de descripción de intención y una unidad de control configurada para ejecutar las etapas del método para el vehículo autónomo correspondiente en el que está instalado el dispositivo de control de emergencia, y en particular:
- Tras la recepción de una señal de emergencia que incluye información relacionada con un estado de tráfico anómalo, emitir por radiodifusión la señal de emergencia usando el módulo de comunicación inalámbrico.
 - Establecer una red *ad hoc* inalámbrica con otros dispositivos de control de emergencia que pueden recibir la señal de emergencia.
 - Intercambiar datos con el resto de los dispositivos de control de emergencia de la red, incluyendo los datos intercambiados al menos datos de sensor de a bordo e información sobre la intención del vehículo autónomo.
 - Calcular de manera colaborativa, con el resto de dispositivos de control de emergencia de la red, instrucciones de intención para cada vehículo autónomo en la red para evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo;
 - Distribuir las instrucciones de intención calculadas al resto de dispositivos de control de emergencia de la red;
 - Tras la recepción de instrucciones de intención, decodificar dichas instrucciones usando el módulo de lenguaje de descripción de intención.
 - Ejecutar las instrucciones de intención decodificadas.
- Esta presente divulgación resuelve el problema de organización segura y eficaz de tráfico de vehículos autónomos, particularmente en situaciones de emergencia. El sistema está diseñado para coordinar el tráfico autónomo dentro del alcance de dispositivos de comunicación de a bordo. El método se basa en establecer redes de comunicación *ad hoc* locales y por tanto es particularmente adecuado para abordar contingencias en situaciones sin GPS (por ejemplo, en túneles o zonas de desastres) o escasa visibilidad (acontecimientos climatológicos extremos).
- La presente divulgación mejora de manera muy significativa la eficacia de operaciones de mitigación de la contingencia colaborativas realizadas entre elementos de una agrupación de vehículos, aumentando de manera muy significativa la seguridad y fiabilidad del tráfico de vehículos autónomos terrestres combinando:
- Una red de comunicación para intercambiar información sobre otros vehículos y obstáculos dentro del alcance de sistemas de comunicación de a bordo.
 - Un método para proporcionar la intención de obstáculos dinámicos colaboradores (principalmente otros vehículos) en cuanto a instrucciones que describen la manera de funcionar un vehículo dado. La trayectoria pretendida se codifica en cuanto a operaciones necesarias para desplazar el vehículo desde su ubicación original hasta una ubicación deseada. Esto hace posible definir con exactitud trayectorias de vehículo, intercambiar la información de intención y preparar e intercambiar instrucciones directas para sistemas de control de los vehículos.
- El sistema presentado también ayuda a combinar los recursos de vehículos autónomos que se desplazan dentro del alcance de dispositivos de comunicación de a bordo. La aplicación de más recursos, tales como unidades de cálculo o sensores distribuidos a lo largo de varios vehículos, esencialmente al mismo entorno, crea una oportunidad de mejorar la exactitud de percepción, eficacia y seguridad de vehículos autónomos de múltiples maneras, desde la precisión de navegación hasta el remedio de contingencias.
- El aumento de eficacia se logra no solo gracias a la disponibilidad de más recursos, sino también debido al hecho de que se desarrollan soluciones en cuanto a comandos directos (instrucciones de intención expresadas en un lenguaje formal) a sistemas de control de los vehículos participantes. Además, la comunicación necesaria entre vehículos participantes (es decir, nodos de red) es segura, gracias a una solución de autenticación única (autenticación de máquina a máquina) que no depende de comunicaciones con partes externas que no pertenecen a la red *ad hoc*, pero que también se extiende el concepto de autenticación al sistema completo: el vehículo, enlaces de comunicación y subsistemas críticos tales como los frenos.
- Se negocia una definición y ejecución precisas de una solución para una emergencia dada entre miembros de este grupo de vehículos *ad hoc* particular. Por ejemplo, una reparación grave realizada en el pasado en un vehículo participante (por ejemplo, sustitución de motor) puede cambiar sus características suficientemente como para que la solución sea menos

fiable. La falta de autenticación para este motor de sustitución eliminará del procedimiento de negociación de solución una fuente de error posiblemente dañina. Por ejemplo, diferentes características del motor sustituido pueden dar como resultado que el vehículo alcance una posición diferente de la esperada para una entrada dada en el motor original. Un procedimiento de autenticación especial descrito en la solicitud de patente europea n.º 17382110 , concretamente “maquinométrica”, añade aún otra capa de seguridad a la solución propuesta.

En el presente método, la red *ad hoc* se define como un conjunto de nodos de confianza que pueden contribuir al esfuerzo colaborativo para obtener la solución requerida. Se considera que un nodo es “de confianza” si se autentica satisfactoriamente. Se considera que un nodo puede contribuir si se espera que complete la comunicación requerida a tiempo (ningún impedimento tal como obstáculos que bloqueen la transmisión de línea de visión (LOS), ninguna velocidad relativa excesiva que lleve el nodo fuera del alcance de comunicaciones antes de obtenerse la solución). Si un nodo satisface ambas condiciones y se considera que es elegible para contribuir al esfuerzo de cálculo colaborativo, se considera “validado”. Incluso los nodos no validados, pero autenticados, pueden contribuir parcialmente como fuentes de datos para generar la imagen de la situación inicial.

El sistema propuesto permite una posible redefinición de red durante el procedimiento. Esta contingencia puede estar provocada, por ejemplo, por uno o más nodos que pasan a estar temporalmente no disponibles debido a bloqueo de transmisión de RF por un vehículo grande. Se han descrito métodos para mitigar problemas de integridad de red debidos a configuraciones de nodos relativos que no están en línea de visión, por ejemplo, en [9].

El uso de un lenguaje de descripción de intención, como el descrito en el documento de patente EP2930581-A, hace que sea posible definir la solución a una emergencia en cuanto a instrucciones que pueden enviarse directamente a los sistemas de control de vehículos participantes, mejorando significativamente el tiempo de reacción y proporcionando una precisión muy superior a los métodos existentes que habitualmente definen trayectorias en cuanto a puntos de ruta o mediante extrapolación de parámetros de movimiento conocidos.

Las características, funciones y ventajas que se han comentado pueden lograrse de manera independiente en diversas realizaciones o pueden combinarse en aún otras realizaciones, de las que pueden observarse detalles adicionales con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describe de manera muy resumida una serie de dibujos que ayudan a entender mejor la invención y que están expresamente relacionados con una realización de dicha invención, presentada como ejemplo no limitativo de la misma.

La figura 1 es un diagrama de flujo de un método para gestionar de manera segura y eficaz vehículos autónomos en situaciones de tráfico de emergencia.

La figura 2 es un diagrama de flujo del cálculo colaborativo realizado en el método de la figura 1.

La figura 3 es un diagrama de flujo de un método para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia.

La figura 4 es un diagrama esquemático de un sistema para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia.

Las figuras 5A a 5E representan una aplicación a modo de ejemplo del sistema y el método dados a conocer. La figura 5A muestra la configuración inicial, la figura 5B la solución negociada, la figura 5C la configuración final (es decir, la resolución de la contingencia de tráfico), la figura 5D la geometría supuesta usada para el cambio de carril del vehículo C (no a escala), la figura 5E las instrucciones de intención para cada vehículo participante producidas por el sistema dado a conocer para abordar la emergencia a modo de ejemplo.

La figura 6 es un diagrama del dispositivo de autenticación usado para establecer una comunicación segura entre los vehículos de la red.

Descripción detallada

La figura 1 representa las etapas, según una realización, de un método 100 para gestionar de manera segura y eficaz vehículos autónomos en situaciones de tráfico de emergencia.

Cuando un vehículo autónomo recibe 102 una señal de emergencia o alerta de emergencia que incluye información relacionada con emergencia, dicho vehículo autónomo emite por radiodifusión de manera inalámbrica 104 la señal de emergencia usando un dispositivo de comunicación inalámbrico instalado a bordo. La información relacionada con emergencia se refiere normalmente a información sobre un estado de tráfico anómalo, tal como un accidente de tráfico o atasco, pero también puede referirse a otra clase de alertas, tales como alertas climatológicas (por ejemplo, un tornado), que pueden provocar un estado de tráfico anómalo. Por tanto, cuando se hace referencia a “información sobre estado de tráfico anómalo”, esta información puede referirse a un estado de tráfico anómalo o a cualquier clase de emergencia que puede provocar un estado de tráfico anómalo, tal como una alerta climatológica.

Entonces, se establece 106 una red *ad hoc* inalámbrica entre una pluralidad de vehículos autónomos que reciben la señal de emergencia, permitiendo que un grupo de vehículos autónomos intercambie datos. Pueden emplearse diferentes protocolos y sistemas de comunicación conocidos para establecer una red inalámbrica, tal como una red *ad hoc* vehicular [4], una red *ad hoc* móvil [3] y/o comunicación directa de dispositivo a dispositivo [10]. Este sistema de comunicación ayuda, en este caso, a evitar o al menos mitigar de manera colaborativa una contingencia de tráfico (es decir, situación de tráfico o estado de tráfico anómalo).

Los vehículos autónomos de la red intercambian datos 108 usando la red *ad hoc* recién establecida. Los datos intercambiados incluyen al menos datos adquiridos mediante sensores de a bordo y la intención de cada vehículo autónomo de la red. Dependiendo de cada realización particular, los datos intercambiados entre los vehículos autónomos de la red pueden comprender diferentes datos, tales como la posición y/o velocidad de cada vehículo autónomo, el estado de vehículo (por ejemplo, una ambulancia que responde a una emergencia), parámetros mecánicos de cada vehículo autónomo, datos externos obtenidos a partir de un servicio externo o un servidor remoto (por ejemplo, información climatológica comercial) o una combinación de los mismos.

También puede intercambiarse información de entorno entre nodos de red (es decir, entre los vehículos autónomos que forman la red). La información de entorno se adquiere mediante uno o más sensores (por ejemplo, una o más cámaras, sensores de proximidad) y puede incluir obstáculos y/o vehículos detectados por los sensores, visibilidad actual, estado de superficie de carretera, etc.

Una vez que se han distribuido los datos, los vehículos autónomos de la red calculan de manera colaborativa 110 instrucciones de intención para cada vehículo autónomo de la red para intentar evitar o al menos mitigar el estado de tráfico anómalo. Las instrucciones de intención son operaciones que deben realizarse secuencialmente por el vehículo autónomo para seguir una determinada trayectoria, en las que las operaciones se expresan usando un lenguaje formal, un lenguaje de descripción de intención, tal como el lenguaje de descripción de intención terrestre (TIDL) dado a conocer en los documentos de patente EP2930581-A1 y US2015294564-A1, titulados "System and Method for Surface Vehicle Trajectory Description".

El cálculo colaborativo de instrucciones de intención puede comprender determinar tareas de cálculo distribuidas que van a realizarse por cada vehículo autónomo de la red para optimizar la velocidad y fiabilidad de la solución. Los datos intercambiados entre los nodos de red en la etapa 108 pueden comprender características de red relevantes, tales como prestaciones de cálculo y comunicaciones de cada vehículo autónomo de la red. Estos datos serán útiles para determinar tareas de cálculo distribuidas de cada vehículo de red, como parte del cálculo colaborativo de instrucciones de intención. Dicho de otro modo, las tareas de cálculo se distribuyen entre los vehículos autónomos de la red teniendo en cuenta las capacidades de cálculo y comunicaciones notificadas de cada vehículo autónomo de la red y la fiabilidad de solución esperada (por ejemplo, posible introducción de redundancias con el fin de aumentar la probabilidad de éxito, si el retardo en el tiempo asociado es aceptable).

Las instrucciones de intención calculadas se distribuyen 112 entre los vehículos autónomos de la red. Cada vehículo autónomo de la red decodifica (dado que se expresan usando un lenguaje formal) y ejecuta 114 las instrucciones de intención correspondientes (es decir, las instrucciones de intención calculadas para dicho vehículo).

El cálculo colaborativo de instrucciones de intención puede comprender negociar modificaciones de trayectoria entre los vehículos autónomos de la red, y traducir las modificaciones de trayectoria negociadas para cada vehículo autónomo de la red en operaciones codificadas usando un lenguaje de descripción de intención.

La figura 2 representa un diagrama de flujo de las etapas de cálculo colaborativo según una realización. En una primera etapa 202, se determina un nivel de impacto del estado de tráfico anómalo para cada vehículo autónomo de la red. Para ello, se comprueba si la intención de cada vehículo autónomo va a verse afectada, y hasta qué grado, por el estado de tráfico anómalo. Por ejemplo, si la situación de emergencia es un accidente que bloquea el carril derecho de una carretera de dos carriles, un vehículo autónomo que conduce por el carril izquierdo se verá menos afectado en comparación con un vehículo autónomo que conduce por el carril derecho, dado que este último necesitará al menos cambiar de carril (además, probablemente se indicará a ambos vehículos que reduzcan la velocidad). Algunas situaciones de tráfico pueden incluso no afectar a determinados vehículos autónomos; en ese caso, el nivel de impacto será nulo para esos vehículos.

Basándose en el nivel de impacto, se asigna un nivel de prioridad 204 a cada vehículo autónomo en la red. Se calculan modificaciones de trayectoria iniciales 206 para cada vehículo autónomo en la red con un determinado nivel de prioridad, normalmente los vehículos autónomos con el nivel de prioridad más alto (por ejemplo, en un caso en el que se han definido tres niveles de prioridad, nivel de prioridad 1, 2 y 3, los vehículos con nivel de prioridad 3) o los vehículos autónomos con un nivel de prioridad igual o superior a un umbral (por ejemplo, vehículos autónomos con nivel de prioridad igual o superior a 2).

Por tanto, las modificaciones de trayectoria iniciales calculadas solo se aplicarán a aquellos vehículos más afectados por el estado de tráfico anómalo. En el ejemplo anterior, un accidente que bloquea el carril derecho de una carretera de dos carriles, los vehículos autónomos que conducen por el carril derecho y ubicados más cerca del accidente tendrán la prioridad más alta, dado que se verán altamente afectados por la situación de emergencia. Estos vehículos necesitan cambiar rápidamente de carril. A otros vehículos que conducen por el carril derecho pero ubicados más lejos del accidente

se les puede asignar un nivel de prioridad inferior, dado que necesitan cambiar de carril pero disponen de más tiempo (y espacio) para ejecutar la maniobra. No se requiere que los vehículos que conducen por el carril izquierdo cambien de carril, y por tanto el nivel de prioridad asignado será normalmente inferior al de los vehículos que conducen por el carril derecho.

5 Empezando con las modificaciones de trayectoria iniciales ya calculadas para los vehículos con un determinado nivel de prioridad, se negocian modificaciones de trayectoria 208 entre los vehículos autónomos en la red para evitar o minimizar los efectos del estado de tráfico anómalo. Las modificaciones de trayectoria negociadas pueden realizarse de manera global, teniendo en cuenta todos los vehículos autónomos de la red (es decir, una negociación global) o en diferentes etapas teniendo en cuenta diferentes niveles de prioridad (es decir, varias negociaciones, incluyendo cada negociación 10 vehículos de un nivel de prioridad inferior). Como ejemplo para este último caso, cuando hay tres niveles de prioridad las modificaciones de trayectoria iniciales pueden corresponder a los vehículos autónomos que tienen el nivel de prioridad más alto (es decir, nivel 3) y la primera negociación puede realizarse entre vehículos autónomos con nivel de prioridad 3 y el siguiente nivel de prioridad inferior (es decir, nivel de prioridad 2). Cuando los vehículos autónomos implicados (nivel de prioridad 2 y 3) acuerdan un conjunto de modificaciones de trayectoria para dichos vehículos autónomos, la siguiente 15 etapa de las negociaciones incluirá los vehículos autónomos con el nivel de prioridad más bajo (es decir, nivel de prioridad 1).

Por tanto, se entiende que las modificaciones de trayectoria iniciales corresponderán a un ajuste grueso para las trayectorias actualizadas de los vehículos autónomos más afectados por la situación de tráfico, mientras que la negociación entre vehículos de red proporcionará un ajuste fino para dichas trayectorias actualizadas, junto con 20 modificaciones de trayectoria acordadas para los vehículos autónomos con nivel de prioridad inferior. Una vez terminada la negociación, las modificaciones de trayectoria negociadas para cada vehículo autónomo de la red se traducen 210 en operaciones o instrucciones codificadas usando un lenguaje de descripción de intención.

La figura 3 representa, en más detalle y según otra realización, un diagrama de flujo de un método 300 para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia. Después de recibirse una alerta de contingencia de tráfico 25 302, se establece una red *ad hoc* 304.

El establecimiento de una red *ad hoc* puede comprender una validación de comunicación 306 que comprende autenticar los vehículos autónomos que reciben la señal de emergencia (los elementos del sistema de autenticación se explican en detalle en la figura 6) y determinar 308, entre los vehículos autónomos autenticados, vehículos autónomos validados que pueden contribuir al cálculo colaborativo para evitar o mitigar la contingencia de tráfico. Los nodos de la red *ad hoc* 30 inalámbrica son los vehículos autónomos validados. Los nodos que no se han validado se eliminan 310 de la red. Si el número de nodos disminuye por debajo de un umbral 312, puede activarse una acción de emergencia para los nodos de red actuales 314 (por ejemplo, detener los vehículos autónomos).

En la etapa 316, se comprueba si se necesita redefinición de red. Esto se logra, por ejemplo, comprobando de manera repetida la disponibilidad de todos los vehículos autónomos que forman la red *ad hoc* inalámbrica y, si uno o más vehículos 35 autónomos de la red pasan a estar temporalmente no disponibles, actualizando la red *ad hoc* inalámbrica para incluir solo los vehículos autónomos disponibles como nodos participantes de la red.

Después se intercambian datos necesarios para la mitigación de emergencia 318 entre los nodos de red, se definen las tareas para cada nodo de red 320 y se trabaja para buscar una solución al problema 322. Se aplican las capacidades de cálculo y comunicaciones combinadas de la red para generar una imagen de la situación, estimando el tipo de peligros encontrados (por ejemplo, un coche averiado en el arcén, un vehículo que no coopera o un bache grande) y estimando el 40 nivel de prioridad para cada nodo de red, comprobando si un vehículo dado se ve directamente afectado por la situación de tráfico, por ejemplo, si tendrá que cambiar de carril.

La solución también puede depender del estado del vehículo (por ejemplo, si un vehículo es una ambulancia y está respondiendo a una llamada, la prioridad asignada al vehículo será superior). No pueden usarse nodos no validados para contribuir al esfuerzo de cálculo colaborativo, pero pueden usarse datos de sensores de vehículos que no están validados pero sí positivamente autenticados (por ejemplo, los vehículos que se mueven demasiado rápido) para generar la imagen de la situación. La solución se obtiene en cuanto a instrucciones de intención para cada uno de los nodos de red. En 324 se comprueba si se encuentra una solución al problema. Si no hay ninguna solución (por ejemplo, el procedimiento tardó demasiado tiempo, el problema altamente no lineal no tiene solución, etc.), se realiza una comprobación para intentar 50 pasar el control a una persona 326. Si no hay ninguna persona o la persona no puede obtener una solución 328, se inicia una acción de emergencia 330 (por ejemplo, ralentizarse y/o detenerse). Si se encuentra una solución, se distribuyen las instrucciones 332 a cada nodo de red y después se ejecutan 334.

La figura 4 representa una vista esquemática de un sistema para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia, según una realización. El sistema comprende una pluralidad de dispositivos (410a, 410b, 410c) de control de emergencia, estando cada dispositivo configurado para instalarse a bordo de un vehículo (400a, 400b, 400c) autónomo correspondiente. Cada dispositivo (410a, 410b, 410c) de control de emergencia está equipado con un módulo 420 de comunicación inalámbrico, un módulo 430 de lenguaje de descripción de intención y una unidad 440 de control configurada para realizar las etapas del método anteriormente descrito. Los componentes detallados de cada dispositivo de control de 55

emergencia solo se muestran para el dispositivo 410a de control de emergencia. De manera similar, los sistemas detallados a bordo de un vehículo autónomo solo se representan para el vehículo 400a autónomo.

En particular, la unidad 440 de control de cada dispositivo (410a, 410b, 410c) de control de emergencia incluye un procesador 442 y un medio 444 legible por ordenador que tiene codificadas en el mismo instrucciones 446 ejecutables por ordenador para hacer que el procesador:

- Tras la recepción de una señal de emergencia que incluye información relacionada con emergencia, emita por radiodifusión la señal de emergencia usando el módulo 420 de comunicación inalámbrico.

- Establezca una red 490 *ad hoc* inalámbrica con el resto de los dispositivos (410b, 410c) de control de emergencia que reciben la señal de emergencia.

- Intercambie datos con el resto de los dispositivos (410b, 410c) de control de emergencia de la red, incluyendo los datos intercambiados al menos datos de sensor de a bordo adquiridos mediante uno o más sensores 470 de a bordo e intención del vehículo autónomo proporcionada por un sistema 484 de navegación autónomo del vehículo 400a autónomo correspondiente.

- Calcule de manera colaborativa, con el resto de dispositivos (410b, 410c) de control de emergencia de la red, instrucciones de intención para cada vehículo autónomo para mitigar el estado de tráfico anómalo.

- Distribuya las instrucciones de intención calculadas al resto de dispositivos (410b, 410c) de control de emergencia de la red.

- Tras la recepción de instrucciones de intención para el vehículo 400a autónomo correspondiente, decodifique dichas instrucciones usando el módulo 430 de lenguaje de descripción de intención (en particular, usando un decodificador 432 de descripción de intención).

- Ejecute las instrucciones de intención decodificadas en el vehículo 400a autónomo correspondiente.

El dispositivo 410a de control de emergencia (y también el resto de dispositivos 410b, 410c de control de emergencia) está en comunicación de señal con el uno o más sensores 470 de a bordo, y uno o más sistemas 480 de vehículo mediante trayectos 402 y 404 de señal, respectivamente. Los sensores 470 de a bordo pueden incluir, entre otros, uno o más sensores 472 de movimiento, un sistema 474 de radar, una o más cámaras 476 y/o sensores 478 de proximidad. Los sistemas 480 de vehículo pueden incluir el sistema 482 de propulsión del vehículo 400a autónomo, el sistema 484 de navegación autónomo, el sistema 486 de comunicaciones, etc.

Para ejecutar las instrucciones de intención decodificadas (que incluyen operaciones de vehículo requeridas para seguir una trayectoria actualizada) en el vehículo 400a autónomo correspondiente, la unidad 440 de control envía las operaciones decodificadas a un sistema del vehículo 400a autónomo, por ejemplo, al sistema 484 de navegación autónomo o directamente al sistema 482 de propulsión.

El estado de tráfico anómalo puede detectarse por una entidad externa (por ejemplo, agentes de tráfico) y notificarse de manera inalámbrica, incorporado en una señal de emergencia, a un primer dispositivo 410a de control de emergencia usando un sistema/dispositivo electrónico. Por ejemplo, el dispositivo 410a de control de emergencia puede recibir la señal de emergencia a través del sistema 486 de comunicaciones, tal como un módulo de comunicación celular, del vehículo 400a autónomo. Alternativamente, el dispositivo 410a de control de emergencia puede recibir directamente la señal de emergencia a través del módulo 420 de comunicación inalámbrico.

En otra realización, el estado de tráfico anómalo puede detectarse por el propio dispositivo 410a de control de emergencia. Para ello, el dispositivo 410a de control de emergencia comprende además una unidad 450 de detección de estado de tráfico anómalo configurada para detectar un estado de tráfico anómalo. Por ejemplo, la unidad 450 de detección de estado de tráfico anómalo puede estar configurada para recibir y analizar los datos captados mediante sensores de a bordo (por ejemplo, la cámara 476, los sensores 478 de proximidad) para detectar una situación anómala en el tráfico (por ejemplo, un accidente, un coche averiado, un atasco) o en el propio vehículo autónomo (por ejemplo, una avería notificada por la unidad de control electrónica del vehículo autónomo). La unidad 440 de control del dispositivo 410a de control de emergencia está configurada además para transmitir de manera inalámbrica una señal de emergencia que incluye información relacionada con el estado de tráfico anómalo detectado por la unidad 450 de detección de estado de tráfico anómalo.

El dispositivo 410a de control de emergencia puede comprender además uno o más sensores (por ejemplo, cámaras, sensores de proximidad) configurados para adquirir información de entorno, tal como obstáculos detectados, vehículos detectados, visibilidad actual, estado de superficie de carretera. En ese caso, los datos intercambiados con el resto de los dispositivos (410b, 410c) de control de emergencia de la red también incluyen la información de entorno adquirida.

En las figuras 5A, 5B, 5C, 5D y 5E se presenta una aplicación a modo de ejemplo del sistema y el método dados a conocer. En el ejemplo representado en estas figuras, la emergencia de tráfico es un vehículo 502 averiado, estacionado y cooperativo (marcado como vehículo A) ubicado en una zona sin GPS (un túnel 504 con una carretera 506 de dos

carriles y un sentido). Los vehículos cooperativos son aquellos vehículos equipados con un dispositivo de control de emergencia tal como se definió anteriormente para implementar el método de la invención. Por el contrario, los vehículos no cooperativos no están equipados con el dispositivo de control de emergencia dado a conocer en la presente invención y por tanto no se tienen en cuenta cuando se establece la red *ad hoc*.

5 El vehículo 502 averiado bloquea parcialmente uno de los carriles (el carril derecho), forzando por tanto que el tráfico que llega use el otro carril (el carril izquierdo) o realice una parada de emergencia, si no puede hacerlo. Hay cuatro vehículos 508 autónomos (marcados como vehículos B, C, D y E) que se aproximan a la zona de carril bloqueado. El vehículo autónomo B ya está en el túnel 504 y recibe una señal 510 de emergencia del vehículo 502 averiado. El interior del túnel 504 no está congestionado, por tanto el vehículo autónomo B no tendrá ningún problema para ejecutar una operación de cambio de carril segura.

10 El vehículo autónomo B también retransmite la alerta de contingencia (es decir, la señal 510 de emergencia) a cualquier vehículo fuera del túnel 504, para aumentar el conocimiento de la situación de cualquier vehículo que se aproxime a la zona peligrosa y dentro del alcance de la señal. En este ejemplo particular, hay otros tres vehículos 508 autónomos (vehículos C, D y E) dentro del alcance del sistema de comunicación inalámbrico. El vehículo autónomo C necesita cambiar de carril, pero está bloqueado por otros dos vehículos de la red, el vehículo autónomo D y el vehículo autónomo E, estos últimos actualmente en el proceso de adelantar al vehículo autónomo C.

15 Los vehículos autónomos C, D y E establecen una red *ad hoc* inalámbrica (usando comunicación segura, lo cual se explicará en detalle más adelante) e intercambian información necesaria para resolver el problema. Los datos intercambiados a modo de ejemplo incluyen parámetros vehiculares (por ejemplo, intención, posición, velocidad) e información de entorno tal como condiciones de límite, obstáculos, zonas de alto riesgo, vehículos no cooperativos detectados, visibilidad y condiciones de superficie de carretera detectadas. Opcionalmente, una red de marcadores 512 de RF de infraestructura proporcionan ayuda a los vehículos, emitiendo por radiodifusión datos 514 de RF para obtener su posición actual en un entorno sin GPS, tal como la zona dentro del túnel 504.

20 Los vehículos participantes definen de manera autónoma las tareas de cálculo distribuidas y resuelven el problema en cuestión, negociando las modificaciones de trayectoria necesarias y traduciendo las modificaciones de trayectoria en instrucciones expresadas en un lenguaje de descripción de intención (tal como el lenguaje de descripción de intención terrestre, TIDL, dado a conocer en el documento de patente EP2930581-A) que se necesita ejecutar para seguir la trayectoria actualizada. Estas instrucciones se distribuyen a los sistemas de control de los vehículos/nodos participantes, que activan operaciones de control de vehículo que se espera que resuelvan esta emergencia particular.

25 Una solución a modo de ejemplo de este caso particular, obtenida mediante el sistema dado a conocer, se muestra en la figura 5B. El vehículo autónomo E necesita reducir su velocidad, con el fin de proporcionar un espacio seguro para que el vehículo autónomo C se incorpore de manera segura en el carril ocupado por el vehículo autónomo E. Por el mismo motivo, el vehículo autónomo D necesita acelerar brevemente y después frenar, para entrar en el túnel sin superar el límite de velocidad. La configuración final resultante del esfuerzo de trayectoria de superficie colaborativa se muestra en la figura 5C. Los tres vehículos autónomos C, D y E están en el carril izquierdo, libre de obstáculos, a una distancia de seguridad (ds) unos de otros, desplazándose con la velocidad máxima permitida en el túnel (es decir, a 90 km/h).

30 Esta solución se logrará mediante la aplicación de las siguientes instrucciones de lenguaje de descripción de intención terrestre (TIDL) calculadas y negociadas entre los vehículos participantes. Estas instrucciones se obtienen usando ecuaciones de movimiento de cuerpos rígidos de los vehículos participantes, para los siguientes parámetros de sistema:

35 $a_{nUMS} = 0,2 \text{ (m/s}^2\text{)}$: aceleración máxima supuesta normal con respecto a la trayectoria curva RST.

$c_{DCE} = 0,3 \text{ (non)}$: coeficiente de resistencia para los vehículos C y E.

$c_{DD} = 1,0 \text{ (non)}$: coeficiente de resistencia del vehículo D.

$ds_{UM} = l_{vUM} \text{ (m)}$: distancia de seguridad mínima supuesta entre vehículos después de la incorporación.

40 $f_{aUN[HT]} = (q_{maxUNM} \cdot HT) / r_{wUM} \text{ (N)}$: fuerza de propulsión, en cuanto al par motor transferido a las ruedas, que es una fracción $0 < HT < 1$ del par máximo q_{maxUNM} .

$h_{vUM} = 1,6 \text{ (m)}$: altura de vehículo supuesta.

$l_{vUM} = 5 \text{ (m)}$: longitud de vehículo supuesta.

$m_{vUK} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ (kg)}$: masa de vehículo supuesta.

$\rho_{oUKM} = 1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$: densidad del aire.

45 $r_{wUM} = 0,45 \text{ (m)}$: radio de rueda de vehículo.

$R_{minUM} = 6,0 \text{ (m)}$: radio de giro mínimo.

- $q_{\max UNM} = 450,0$ (Nm): par motor máximo.
- $w_{UM} = 1,0$ (m): anchura de carril supuesta.
- $wv_{UM} = 1,8$ (m): anchura de vehículo supuesta.
- 5 $v_{CUMS} = v_{t\max UMS} = 90,0/3,6$ (m/s): velocidad constante supuesta del vehículo C en el carril derecho y la velocidad máxima permitida en el túnel.
- $v_{E0UMS} = 100,0/3,6$ (m/s): velocidad inicial supuesta del vehículo E en el carril izquierdo.
- $v_{D0UMS} = 93,0/3,6$ (m/s): velocidad inicial supuesta del vehículo D en el carril izquierdo.
- $v_{\max UMS} = 120,0/3,6$ (m/s): velocidad máxima permitida en la autopista.
- $v_{t\max UMS} = 90,9/3,6$ (m/s): velocidad máxima permitida en el túnel.
- 10 $y_{Cb0} = 0$ (m): posición inicial de la parte trasera del vehículo C.
- $y_{Cb1} = 158$ (m): posición final de la parte trasera del vehículo C (después de 6,3 s).
- $y_{Ef0} = -13$ (m): posición inicial de la parte delantera del vehículo E.
- $y_{Ef1} = 153$ (m): posición final de la parte delantera del vehículo E.
- $y_{Db0} = 5$ (m): posición inicial de la parte trasera del vehículo D.
- 15 $y_{Db1} = 168$ (m): posición final de la parte trasera del vehículo D.
- $d_{dT} = 25$ (m): la distancia disponible para que el vehículo "D" desacelere hasta $v_{t\max UMS}$ (velocidad máxima en el túnel) sin superar la magnitud de desaceleración máxima.
- $d_T = 198$ (m): distancia total desde el origen del sistema de coordenadas hasta la entrada del túnel, en el instante de recepción de la alerta de contingencia.
- 20 La solución negociada entre los vehículos autónomos C, D y E define las instrucciones necesarias para realizar varias acciones requeridas para que el vehículo autónomo C se incorpore en el carril ocupado por los vehículos autónomos D y E dentro de la distancia disponible y manteniendo las distancias de seguridad requeridas de $lv_{UM} = 5$ m entre vehículos, y ajustando velocidades, de modo que todos los vehículos entren en el túnel 504 sin superar el límite de velocidad de 90 km/h.
- 25 Todos los vehículos 508 autónomos pesan $1,8 \cdot 10^3$ kg y tienen motores que pueden desarrollar un par máximo de 450 Nm. Los vehículos autónomos C y E tienen coeficientes de resistencia aerodinámica de $c_D=0,3$. El coeficiente de resistencia del aire del vehículo D es igual a 1,0. La alerta de contingencia se recibe cuando la parte delantera del vehículo autónomo C está a una distancia de 193 m desde la entrada al túnel 504. La aceleración centrífuga máxima mientras se cambia de carril no puede superar $0,8 \text{ m/s}^2$.
- 30 Cuando llega la alerta de contingencia, el vehículo autónomo C está desplazándose a una velocidad de 90 km/h y su parte trasera (que se elige que tenga la misma coordenada independiente que el centro del sistema de coordenadas) está a una distancia de 198 m desde la entrada del túnel 504. El cambio de carril necesario se ejecutará a lo largo de la trayectoria RST (véanse las figuras 5B y 5C), siguiendo las circunferencias de dos círculos 602a y 602b adyacentes, tal como se muestra en la figura 5D. Los parámetros de cambio de carril ejecutado por el vehículo autónomo C se calculan a partir de ecuaciones de movimiento de cuerpos rígidos y de trigonometría sencillas. Se necesita una fracción de 0,00018 del par disponible para mantener una velocidad constante a lo largo de la trayectoria RST. El cambio de carril requiere girar a la izquierda, siguiendo un círculo con un radio de 3125 m, mientras se desplaza aproximadamente 79 m a una velocidad constante de 90 km/h y, después, realizar un giro a la derecha correspondiente (véase la figura 5D, no a escala). La operación se ejecuta en 6,3 s. Seguir una trayectoria circular con un radio de 3125 m requiere ajustar el control de ruedas directrices a una porción de $(6/3125=0,00192)$ del ajuste máximo del sistema de direccionamiento. Después de completar el cambio de carril, el vehículo autónomo C necesita desplazarse aproximadamente 35 m a la misma velocidad constante, antes de entrar en el túnel 504.
- 35
- 40 Al recibir la alerta de contingencia, el vehículo autónomo E está desplazándose a una velocidad de 100 km/h y necesita ralentizar, con el fin de preparar espacio para que el vehículo autónomo C se incorpore. Frenar a 0,025 de la potencia de frenado disponible hace posible ralentizar hasta 90 km/h durante la operación de cambio de carril del vehículo autónomo C de 6,3 s de duración, mientras se cubren aproximadamente 166 m. Esto pondrá la parte delantera del vehículo autónomo E aproximadamente $lv_{UM} = 5$ m por detrás de la parte trasera del vehículo autónomo C, cumpliendo el requisito de distancia de seguridad.
- 45
- 50 Al mismo tiempo, el vehículo autónomo D, que se desplaza a 93 km/h, necesita acelerar con el fin de dejar espacio para el vehículo autónomo C sin superar la velocidad máxima de 120 km/h. La aplicación de una porción de 0,00065 del par

motor disponible ayuda al vehículo autónomo D a cubrir aproximadamente 167 m durante el periodo de 6,3 s, lo cual pondrá su parte trasera a una distancia de seguridad de $lv_{UM} = 5$ m desde la parte delantera del vehículo autónomo C y a una distancia de 25 m desde la entrada del túnel. La velocidad de 93,2 km/h alcanzada al final de la operación de aceleración es menor que el límite de velocidad de la autopista, pero requerirá una reducción, con el fin de cumplir con el límite de velocidad de 90 km/h en el túnel. Esto se logra con la aplicación de una porción de 0,025 de la potencia de frenado disponible durante 1 s.

Por tanto, el procedimiento de mitigación de contingencia comienza con la recepción de una alerta de contingencia y termina con la ejecución de instrucciones de control o intención enviadas directamente a los sistemas de control de los vehículos participantes. Los ejemplos de estas instrucciones de control (instrucciones de TIDL) pueden incluir, por ejemplo:

- Mantener la dirección (nD), donde "nD" es la porción de ajuste de ruedas directrices necesaria para obtener un radio de giro permitido mínimo.
- Mantener frenos (nB), donde "nB" es la porción del ajuste de frenos máximo.
- Mantener aceleración (nT), donde "nT" es la porción de ajuste de aceleración máximo.
- Activar L(nL), ejecutar la siguiente operación después de cubrir una distancia de "nL".

En el siguiente ejemplo, las operaciones se ejecutan usando un conjunto limitado de las instrucciones de TIDL disponibles: HD (mantener dirección), HT (mantener aceleración) y HB (mantener frenos).

Los vehículos autónomos C, D y E han calculado de manera colaborativa instrucciones 520 de intención de modo que cada uno del vehículo autónomo de la red puede evitar el estado de tráfico anómalo, o al menos se mitigan los efectos de dicha condición. La aplicación de estas instrucciones 520 de intención a los sistemas de control de cada uno de los vehículos participantes C, D y E, con el fin de lograr la solución negociada, se muestra en la figura 5E. En este ejemplo, las instrucciones 520 de intención para cada vehículo C, D y E se muestran en forma de una tabla, en la que cada columna se refiere a una operación y cada fila a un hilo diferente (HD, HT o HB) o una condición de activación para la operación (última fila).

Por ejemplo, la columna "OPC1" de la tabla de instrucciones 520 de intención para el vehículo C es una primera operación que contiene la instrucción de mantener la dirección a 0,0019 (una porción del ajuste máximo del sistema de volante) en un primer hilo correspondiente a HD, y mantener la aceleración a 0,00018 (una fracción de la aceleración máxima). Estas instrucciones para la primera operación, OPC1, se ejecutan según la condición de activación correspondiente en la última fila de la misma columna, en este caso durante 79 metros ($L=79$ m). Tal como se muestra en los ejemplos del documento de patente EP2930581-A, la condición de activación puede ser una longitud por la que necesita desplazarse el vehículo para terminar la operación, u otro tipo de condición, tal como un tiempo (por ejemplo, una determinada cantidad de tiempo que necesita transcurrir para terminar la operación) o una velocidad que necesita alcanzarse por el vehículo para que termine la operación.

Las operaciones se ejecutan de manera sucesiva. De esta manera, una vez cumplida la condición de activación para la primera operación (OPC1), está ejecutándose la segunda operación (siguiente columna, OPC2) y así sucesivamente hasta que se han realizado todas las operaciones.

Los vehículos autónomos que forman la red *ad hoc* inalámbrica emplean un protocolo de comunicación seguro. La seguridad de comunicación se garantiza mediante un procedimiento de autenticación en capas, tal como se da a conocer en la solicitud de patente europea n.º 17382110.9 titulada "A system and a computer-implemented method for machine to machine authentication of an apparatus", cuyo contenido se incorpora en el presente documento mediante referencia en su totalidad. Se basa en un nuevo concepto de "maquinométrica", análogo a la "biométrica", que usa características físicas seleccionadas de un componente dado (por ejemplo, parámetros de dinámica de vehículo) y/o una identificación/autenticación secuencial de sistemas de a bordo críticos, tales como equipos de comunicación. Estos elementos añaden una capa de seguridad adicional al procedimiento de autenticación.

La figura 6 muestra esquemáticamente un diagrama a modo de ejemplo de un dispositivo para autenticación de máquina a máquina (M2M) de múltiples factores (MFA) según una realización. Esta figura es equivalente a la figura 1 de la solicitud anteriormente indicada n.º 17382110.9. La autenticación de los vehículos autónomos de la red *ad hoc* es la primera etapa en la validación de la comunicación 306 de la figura 3.

Tal como se representa en el diagrama esquemático de la figura 4, cada dispositivo 410a de control de emergencia comprende un dispositivo 460 de autenticación configurado para autenticar el vehículo 400a autónomo cuando se establece la red *ad hoc* inalámbrica. El dispositivo 460 de autenticación, representado en detalle en el diagrama de la figura 6, comprende una unidad 610 de recuperación, una unidad 620 de adquisición y una unidad 630 de comprobación.

La unidad 610 de recuperación está configurada para identificar al menos un componente 602 crítico del vehículo 400a autónomo en respuesta a una petición 606 de autenticación, y recuperar a partir de una base 640 de datos de configuración información 642 de autenticación para el componente 602 crítico. La información 642 de autenticación

comprende una pluralidad de firmas físicas y digitales esperadas como factores de autenticación para el componente 602 crítico y al menos un componente 604 adicional asociado con el mismo.

- 5 La unidad 620 de adquisición está configurada para adquirir firmas físicas presentes mediante medición y firmas digitales para el componente 602 crítico y el al menos un componente 604 adicional. La unidad 630 de comprobación está configurada para comprobar, para cada componente 602 crítico y 604 adicional, la validez de cada firma física y digital presente con la correspondiente firma física y digital esperada. La unidad 630 de comprobación está configurada además para autenticar el vehículo 400a autónomo, si las firmas físicas y digitales para cada componente son válidas. La salida de la unidad 630 de comprobación es el resultado 650 de autenticación.

REIVINDICACIONES

1. Método para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia, que comprende:
 - tras la recepción (102), por un vehículo (508) autónomo, de una señal (510) de emergencia que incluye información sobre estado de tráfico anómalo, emitir por radiodifusión (104) la señal (510) de emergencia usando un dispositivo de comunicación inalámbrico;
 - establecer (106) una red *ad hoc* inalámbrica entre una pluralidad de vehículos (508) autónomos;
 - intercambiar datos (108) entre los vehículos (508) autónomos de la red, caracterizado porque la red se establece entre vehículos (508) autónomos que reciben la señal (510) de emergencia;
- en el que los datos intercambiados entre los vehículos (508) autónomos incluyen al menos datos de sensor de a bordo e intención de cada vehículo (508) autónomo de la red; en el que el método comprende además:
 - calcular de manera colaborativa (110), por los vehículos (508) autónomos de la red, instrucciones de intención para cada uno del vehículo (508) autónomo de la red para evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo;
 - distribuir (112) las instrucciones de intención entre los vehículos (508) autónomos de la red;
 - ejecutar (114), por cada vehículo (508) autónomo de la red, las instrucciones de intención correspondientes;
- y en el que el cálculo colaborativo de instrucciones de intención comprende:
 - determinar (202), para cada vehículo (508) autónomo de la red, un nivel de impacto del estado de tráfico anómalo sobre la intención del vehículo (508);
 - evaluar un nivel de prioridad (204) a cada vehículo (508) autónomo de la red basándose en el nivel de impacto;
 - determinar (206) modificaciones de trayectoria iniciales para cada vehículo (508) autónomo de la red con un nivel de prioridad igual o superior a un umbral;
 - empezar con las modificaciones de trayectoria iniciales, negociar modificaciones de trayectoria (208) entre los vehículos (508) autónomos de la red para evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo; y
 - traducir (210) las modificaciones de trayectoria negociadas para cada vehículo (508) autónomo de la red en operaciones codificadas usando un lenguaje de descripción de intención.
2. Método según la reivindicación 1, en el que el cálculo colaborativo de instrucciones de intención comprende determinar tareas de cálculo distribuidas que van a realizarse por cada vehículo (508) autónomo de la red.
3. Método según la reivindicación 2, en el que los datos intercambiados entre los vehículos (508) autónomos de la red comprenden prestaciones de cálculo y comunicaciones de cada vehículo (508) autónomo, y en el que las tareas de cálculo se distribuyen entre los vehículos (508) autónomos de la red dependiendo de las prestaciones de cálculo y comunicaciones notificadas de cada vehículo (508) autónomo de la red.
4. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa de establecer una red *ad hoc* inalámbrica comprende autenticar los vehículos (508) autónomos que reciben la señal (510) de emergencia.
5. Método según la reivindicación 4, en el que la etapa de establecer una red *ad hoc* inalámbrica comprende además determinar, entre los vehículos (508) autónomos autenticados, vehículos autónomos validados que pueden contribuir al cálculo colaborativo para evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo;
- en el que los vehículos (508) autónomos que forman la red *ad hoc* inalámbrica son los vehículos autónomos validados.
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 5, en el que la autenticación de cada vehículo (508) autónomo comprende:
 - identificar al menos un componente (602) crítico del vehículo (508) autónomo en respuesta a una petición (606) de autenticación;
 - recuperar información de autenticación para el componente (602) crítico, en el que la información de autenticación comprende una pluralidad de firmas físicas y digitales esperadas como factores de autenticación para el componente (602) crítico y al menos un componente (604) adicional asociado con el componente (602) crítico;
 - adquirir firmas físicas presentes mediante medición y firmas digitales para el componente (602) crítico y el al menos un componente (604) adicional asociado con el mismo; y

para cada componente (604) crítico y adicional, comprobar la validez de cada firma física y digital presente con la correspondiente firma física y digital esperada y autenticar el vehículo (508) autónomo si las firmas físicas y digitales para cada componente son válidas.

7. Método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además:

5 comprobar de manera repetida la disponibilidad de todos los vehículos (508) autónomos que forman la red *ad hoc* inalámbrica;

si uno o más vehículos (508) autónomos de la red pasan a estar temporalmente no disponibles, actualizar la red *ad hoc* inalámbrica para incluir solo los vehículos autónomos disponibles como nodos participantes de la red.

10 8. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que los datos intercambiados entre los vehículos (508) autónomos de la red comprenden al menos uno de los siguientes:

la posición de cada vehículo autónomo,

la velocidad de cada vehículo autónomo,

el estado de vehículo,

prestaciones de cálculo de cada vehículo autónomo,

15 prestaciones de comunicaciones de cada vehículo autónomo,

parámetros mecánicos de cada vehículo autónomo,

información de entorno adquirida mediante uno o más sensores, incluyendo obstáculos detectados, vehículos detectados, visibilidad detectada y/o estado de superficie de carretera detectado,

datos externos recuperados a partir de un servicio o un servidor remoto, o

20 una combinación de los mismos.

9. Método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además:

detectar, por un vehículo (502) autónomo, un estado de tráfico anómalo;

transmitir de manera inalámbrica, por el vehículo (502) autónomo, una señal (510) de emergencia que incluye información relacionada con el estado de tráfico anómalo.

25 10. Sistema para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia, que comprende una pluralidad de dispositivos (410a, 410b, 410c) de control de emergencia, estando cada dispositivo adaptado para instalarse a bordo de un vehículo (400a, 400b, 400c) autónomo, en el que cada dispositivo (410a, 410b, 410c) de control de emergencia está equipado con un módulo (420) de comunicación inalámbrico, un módulo (430) de lenguaje de descripción de intención y una unidad (440) de control configurada para:

30 tras la recepción (102) de una señal (510) de emergencia que incluye información relacionada con un estado de tráfico anómalo, emitir por radiodifusión (104) la señal (510) de emergencia usando el módulo (420) de comunicación inalámbrico;

establecer (106) una red *ad hoc* inalámbrica con el resto de los dispositivos de control de emergencia que reciben la señal (510) de emergencia;

35 intercambiar datos (108) con el resto de los dispositivos de control de emergencia de la red, incluyendo los datos intercambiados al menos datos de sensor de a bordo e intención del vehículo autónomo;

calcular de manera colaborativa (110), con el resto de dispositivos de control de emergencia de la red, instrucciones de intención para cada vehículo autónomo para evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo;

distribuir (112) las instrucciones de intención calculadas al resto de dispositivos de control de emergencia de la red;

40 tras la recepción de instrucciones de intención para el vehículo autónomo correspondiente, decodificar dichas instrucciones usando el módulo de lenguaje de descripción de intención; y

ejecutar (114) las instrucciones de intención decodificadas por el vehículo autónomo correspondiente;

y en el que para el cálculo colaborativo de instrucciones de intención la unidad (440) de control está configurada para:

45 determinar (202), para cada vehículo autónomo de la red, un nivel de impacto del estado de tráfico anómalo sobre la intención del vehículo;

- asignar un nivel de prioridad (204) a cada vehículo autónomo de la red basándose en el nivel de impacto;
- determinar (206) modificaciones de trayectoria iniciales para cada vehículo autónomo de la red con un nivel de prioridad igual o superior a un umbral;
- 5 empezar con las modificaciones de trayectoria iniciales, negociar modificaciones de trayectoria (208) entre los vehículos autónomos de la red para evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo; y
- traducir (210) las modificaciones de trayectoria negociadas para cada vehículo autónomo de la red en operaciones codificadas usando un lenguaje de descripción de intención.
- 10 11. Sistema según la reivindicación 10, en el que cada dispositivo (410a, 410b, 410c) de control de emergencia comprende además una unidad (450) de detección de estado de tráfico anómalo configurada para detectar un estado de tráfico anómalo;
- en el que la unidad (440) de control de cada dispositivo (410a, 410b, 410c) de control de emergencia está configurada además para transmitir de manera inalámbrica una señal (510) de emergencia que incluye información relacionada con el estado de tráfico anómalo detectado.
- 15 12. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11, en el que cada dispositivo (410a, 410b, 410c) de control de emergencia comprende además uno o más sensores configurados para adquirir información de entorno, en el que los datos intercambiados con el resto de los vehículos autónomos de la red incluyen la información de entorno adquirida.
13. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que cada dispositivo de control de emergencia comprende además un dispositivo (460) de autenticación configurado para autenticar el vehículo autónomo cuando se establece la red *ad hoc* inalámbrica, comprendiendo el dispositivo (460) de autenticación:
- 20 una unidad (610) de recuperación configurada para identificar al menos un componente (602) crítico del vehículo autónomo en respuesta a una petición (606) de autenticación, y recuperar información de autenticación para el componente (602) crítico, en el que la información de autenticación comprende una pluralidad de firmas físicas y digitales esperadas como factores de autenticación para el componente (602) crítico y al menos un componente (604) adicional asociado con el mismo;
- 25 una unidad (620) de adquisición configurada para adquirir firmas físicas presentes mediante medición y firmas digitales para el componente (602) crítico y el al menos un componente (604) adicional; y
- una unidad (630) de comprobación configurada para comprobar, para cada componente (604) crítico y adicional, la validez de cada firma física y digital presente con la correspondiente firma física y digital esperada, estando la unidad de comprobación configurada además para autenticar el vehículo autónomo si las firmas físicas y digitales para cada
- 30 componente son válidas.
14. Dispositivo de control de emergencia para gestión de tráfico de vehículos autónomos en situaciones de emergencia, adaptado para instalarse a bordo de un vehículo (400a) autónomo, comprendiendo el dispositivo (410a) de control de emergencia un módulo (420) de comunicación inalámbrico, un módulo (430) de lenguaje de descripción de intención y una unidad (440) de control configurada para:
- 35 tras la recepción (102) de una señal (510) de emergencia que incluye información relacionada con un estado de tráfico anómalo, emitir por radiodifusión (104) la señal (510) de emergencia usando el módulo (420) de comunicación inalámbrico;
- establecer (106) una red *ad hoc* inalámbrica con otros dispositivos (410b, 410c) de control de emergencia que reciben la señal (510) de emergencia;
- 40 intercambiar datos (108) con el resto de los dispositivos (410b, 410c) de control de emergencia de la red, incluyendo los datos intercambiados al menos datos de sensor de a bordo e intención del vehículo (400a) autónomo;
- calcular de manera colaborativa (110), con el resto de dispositivos (410b, 410c) de control de emergencia de la red, instrucciones de intención para cada vehículo (400a, 400b, 400c) autónomo de la red para evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo;
- 45 distribuir (112) las instrucciones de intención calculadas al resto de dispositivos (410b, 410c) de control de emergencia de la red;
- tras la recepción de instrucciones de intención, decodificar dichas instrucciones usando el módulo (430) de lenguaje de descripción de intención; y
- ejecutar (114) las instrucciones de intención decodificadas;
- 50 y en el que para el cálculo colaborativo de instrucciones de intención la unidad (440) de control está configurada para:

determinar (202), para cada vehículo autónomo de la red, un nivel de impacto del estado de tráfico anómalo sobre la intención del vehículo;

asignar un nivel de prioridad (204) a cada vehículo autónomo de la red basándose en el nivel de impacto;

5 determinar (206) modificaciones de trayectoria iniciales para cada vehículo autónomo de la red con un nivel de prioridad igual o superior a un umbral;

empezar con las modificaciones de trayectoria iniciales, negociar modificaciones de trayectoria (208) entre los vehículos autónomos de la red para evitar o mitigar el estado de tráfico anómalo; y

traducir (210) las modificaciones de trayectoria negociadas para cada vehículo autónomo de la red en operaciones codificadas usando un lenguaje de descripción de intención.

10

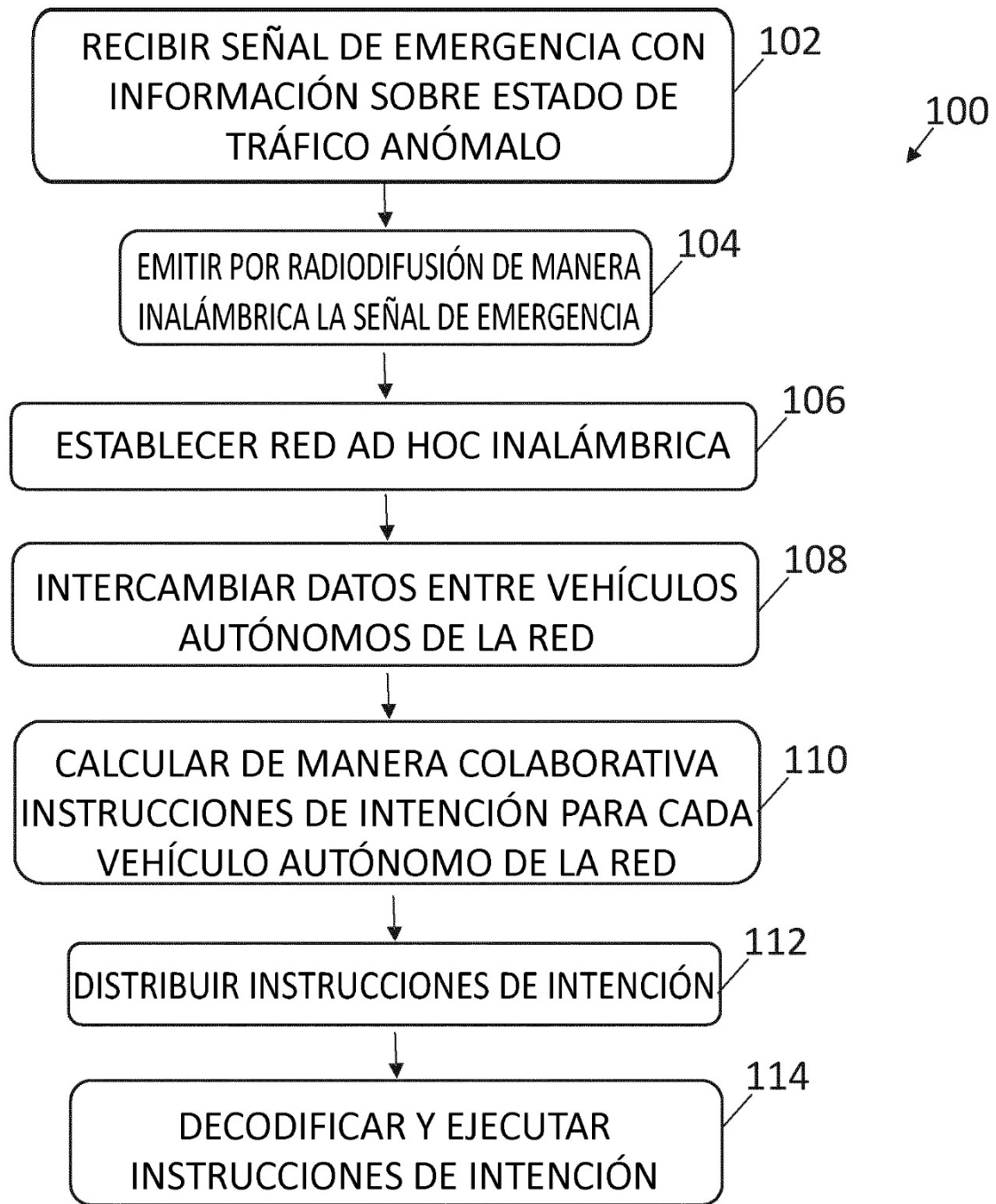


Fig. 1

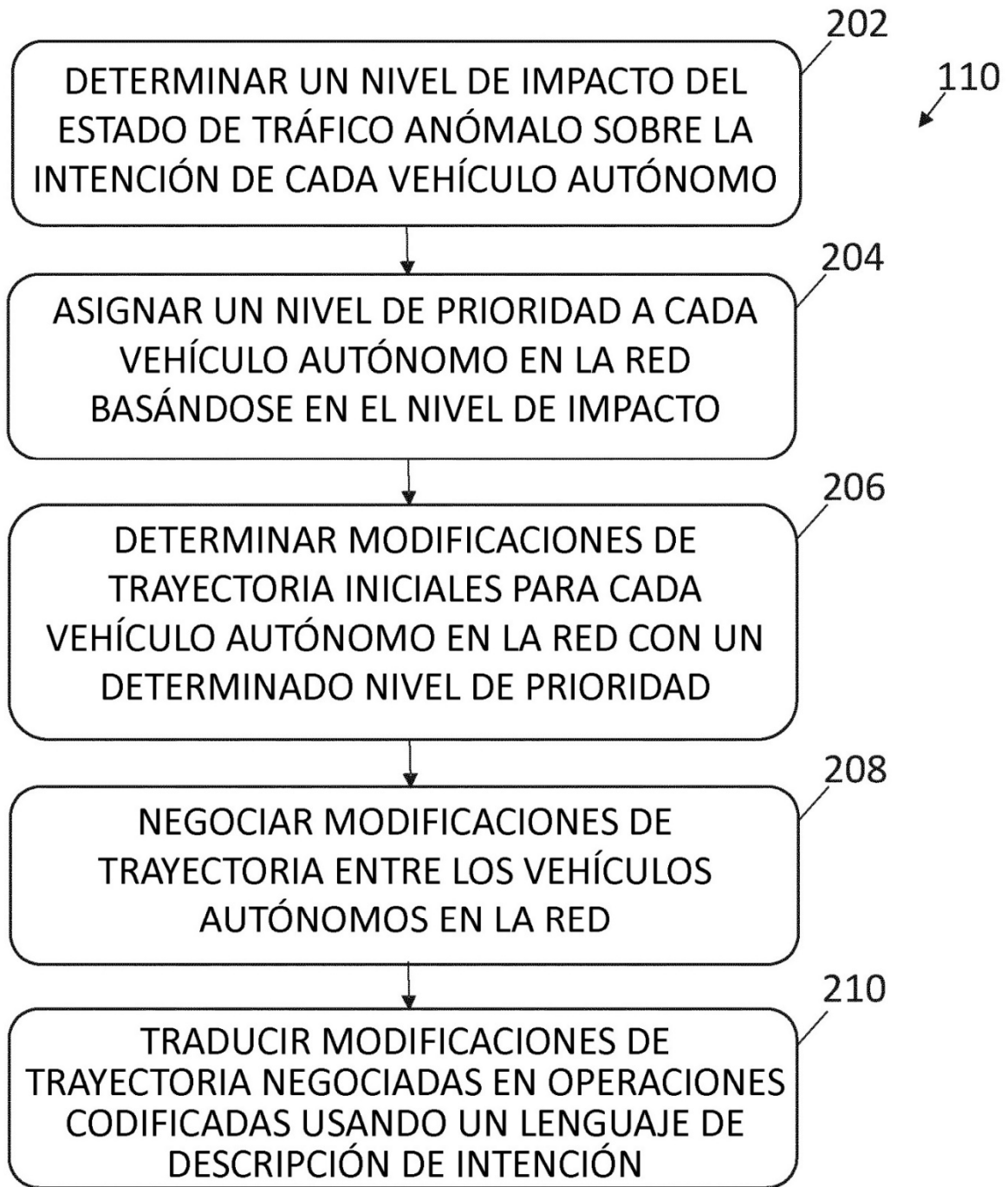


Fig. 2

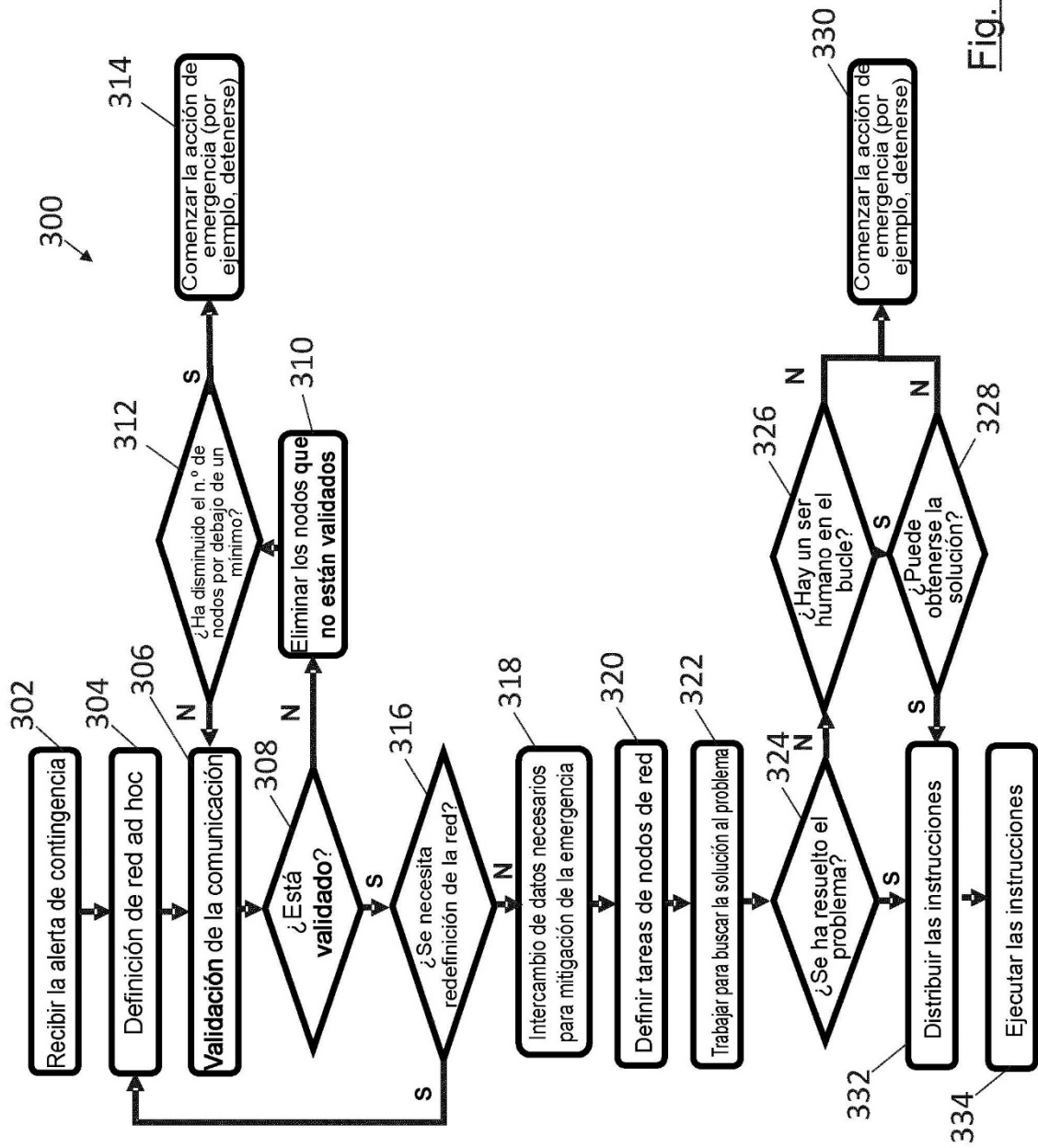


Fig. 3

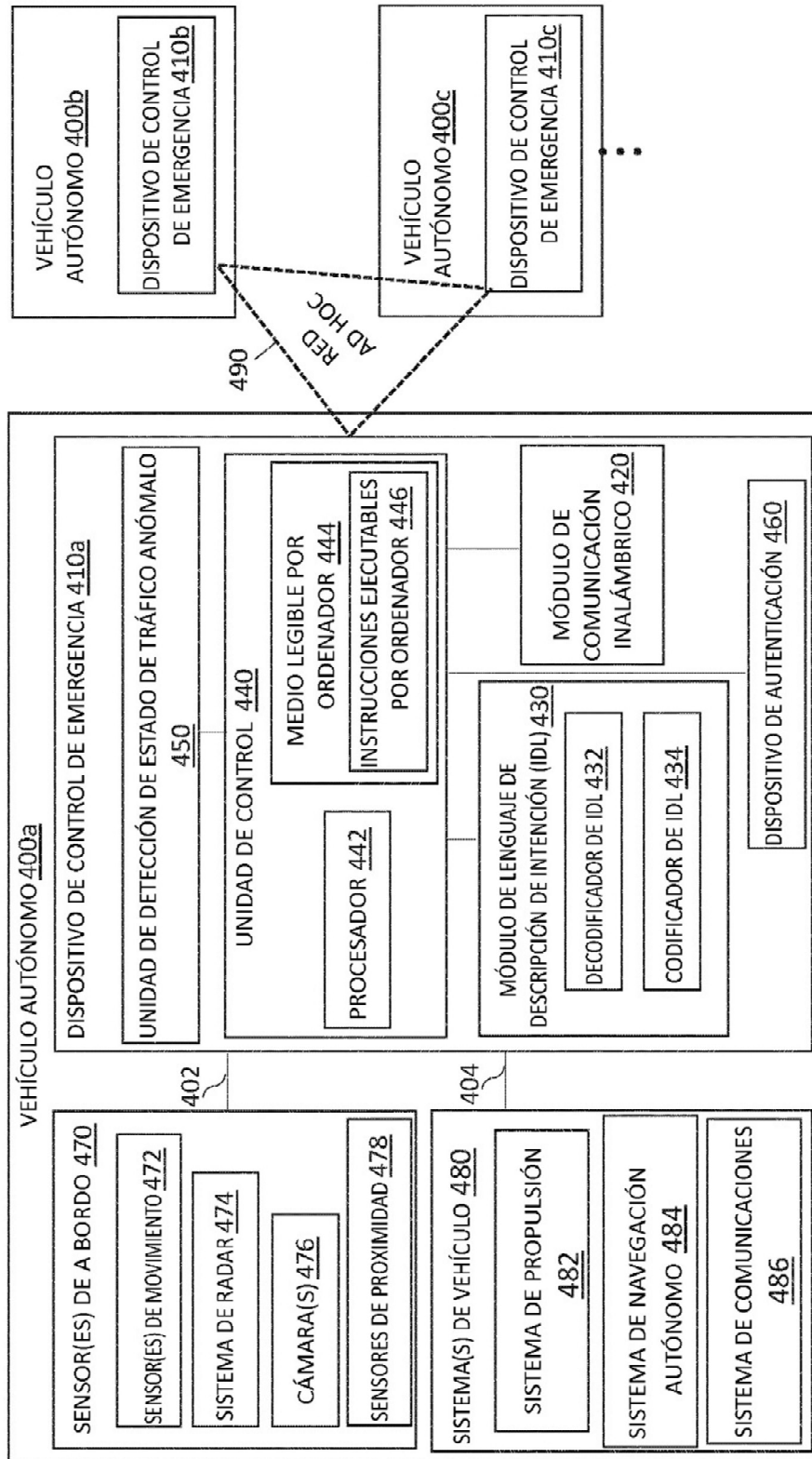


Fig. 4

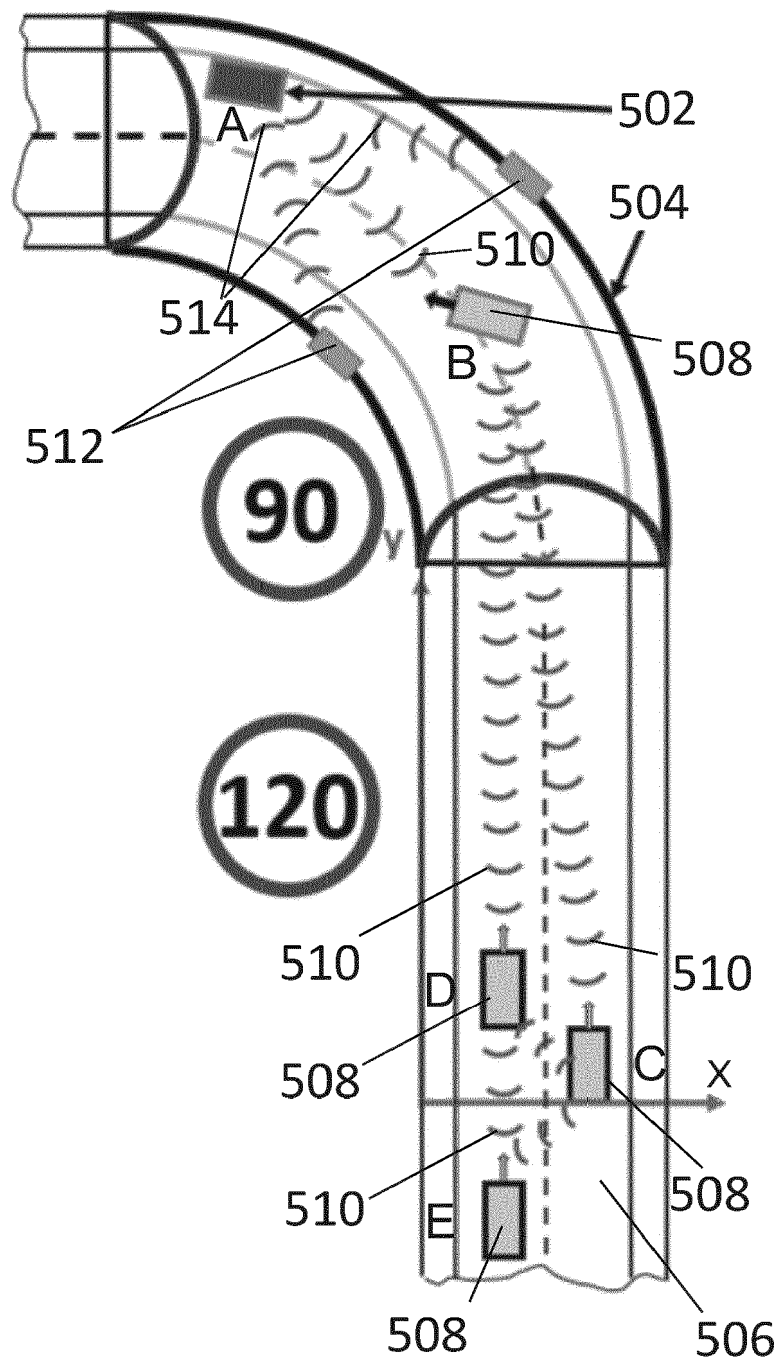


Fig. 5A

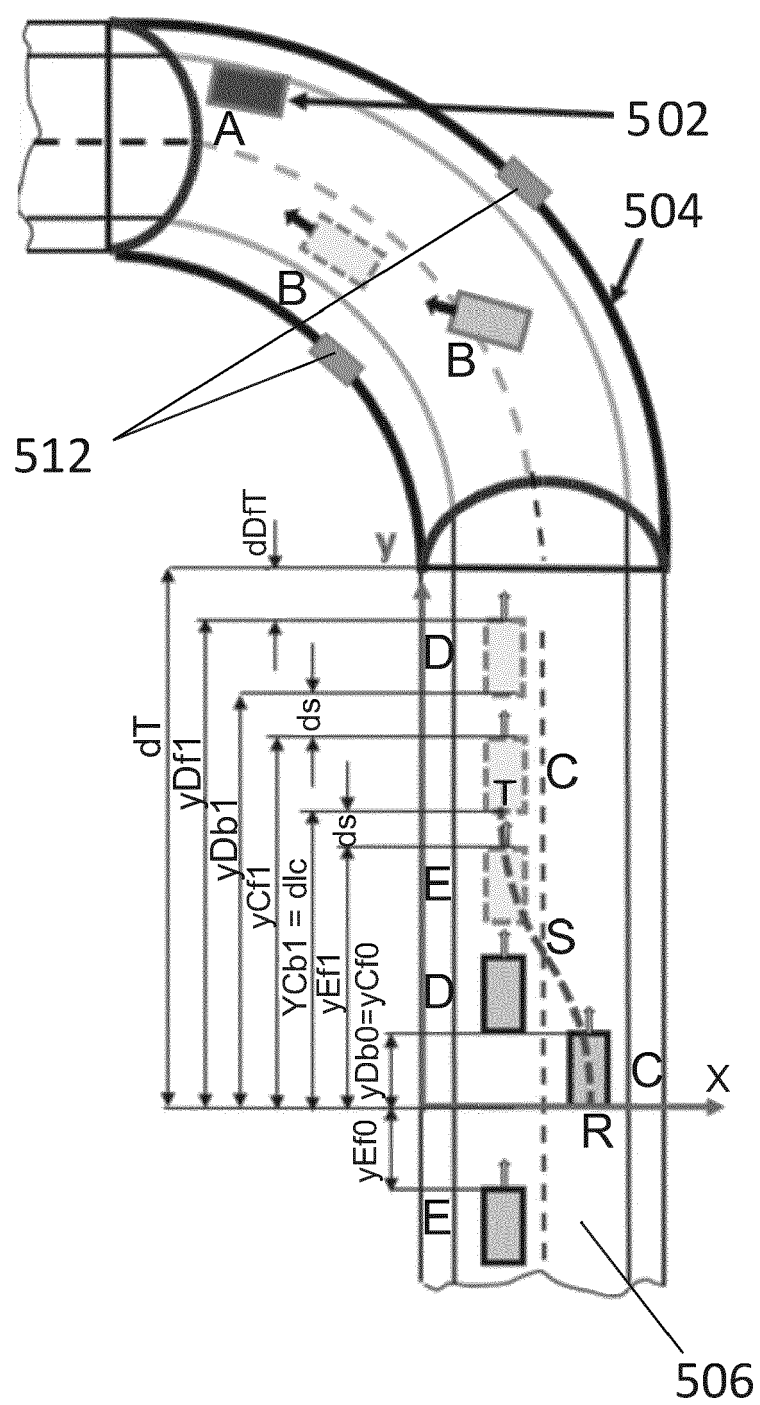


Fig. 5B

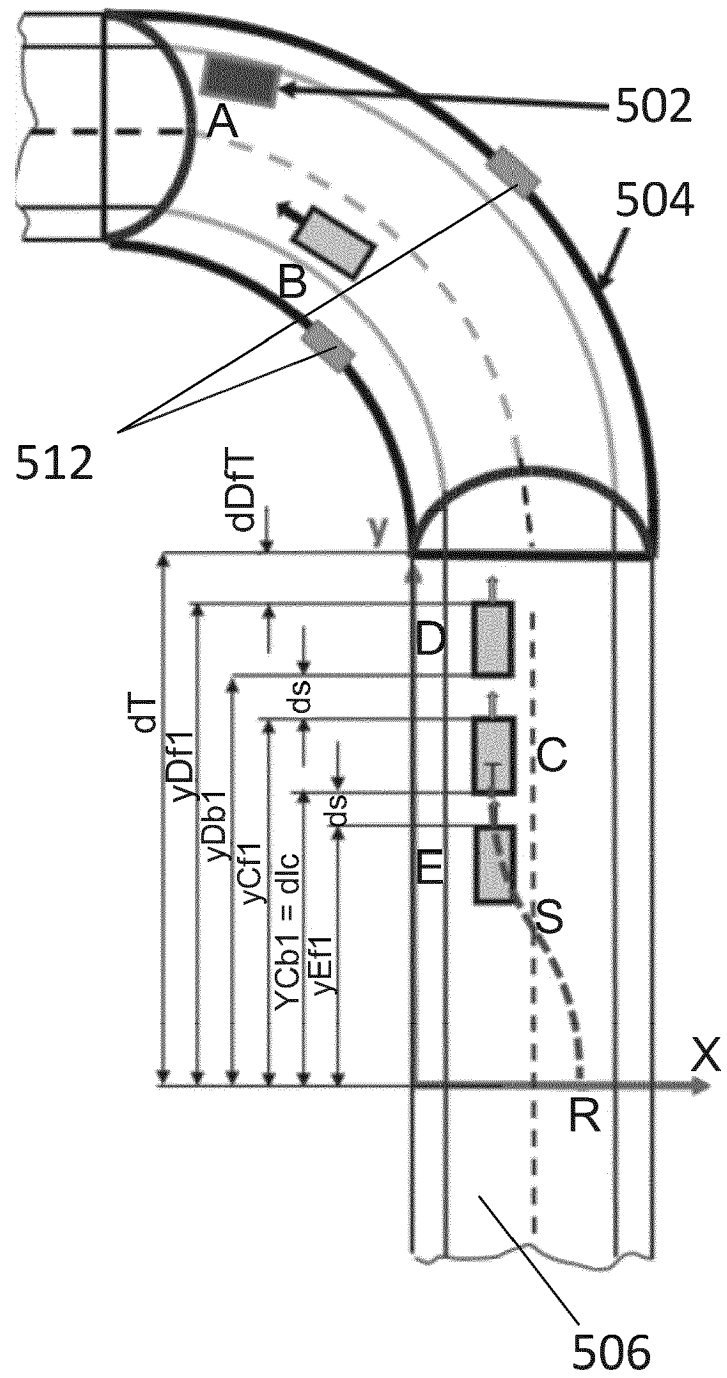


Fig. 5C

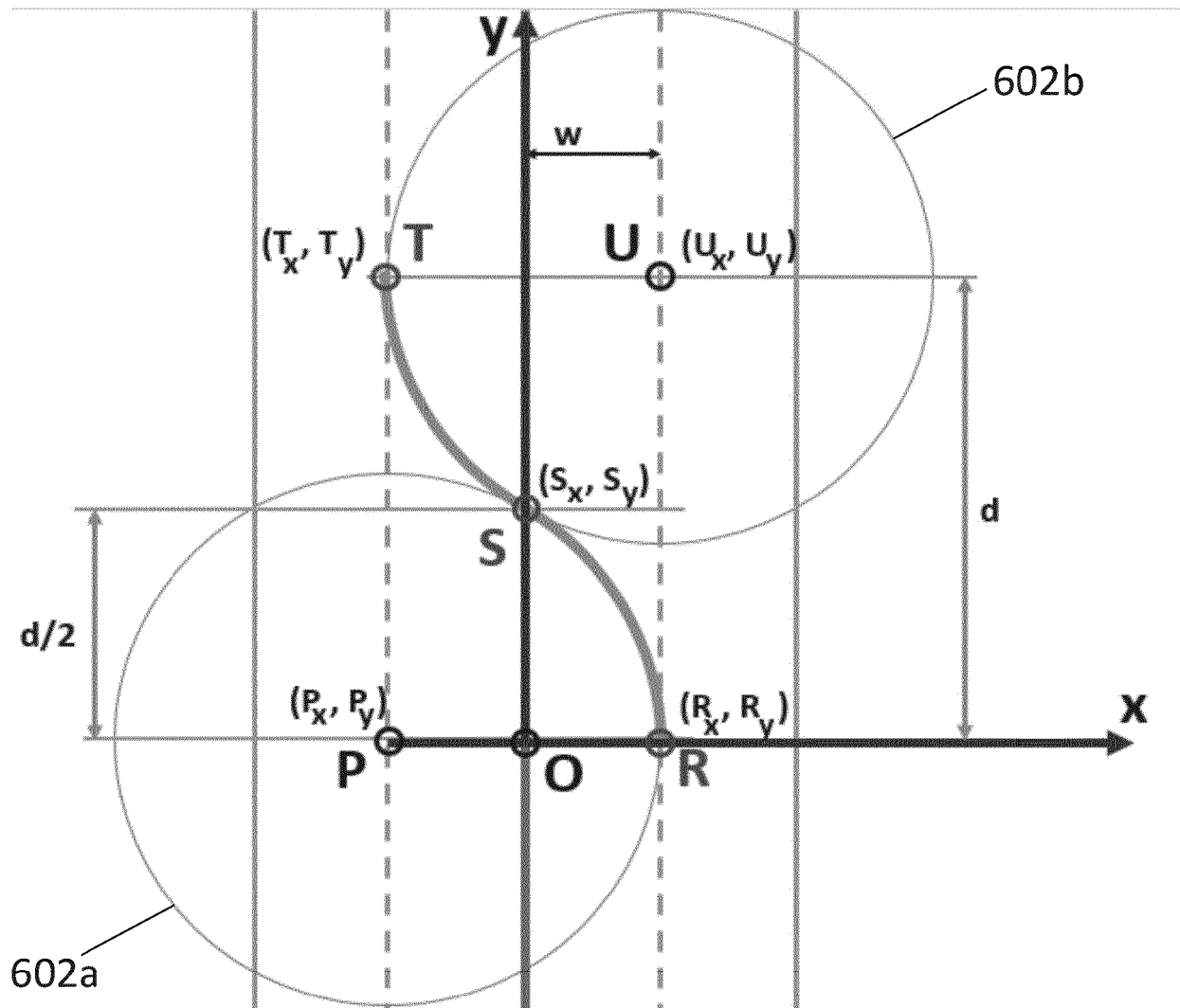


Fig. 5D

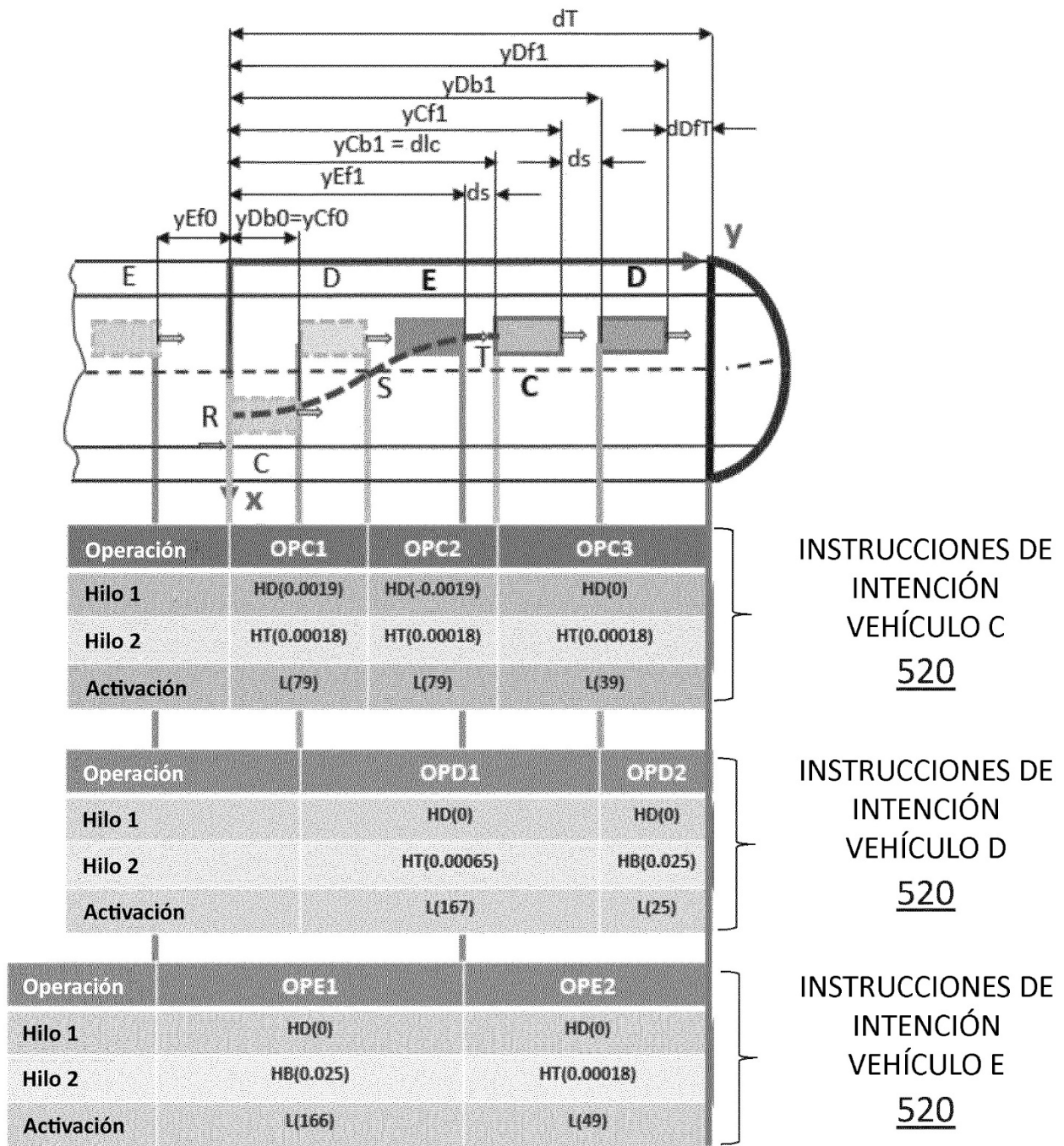


Fig. 5E

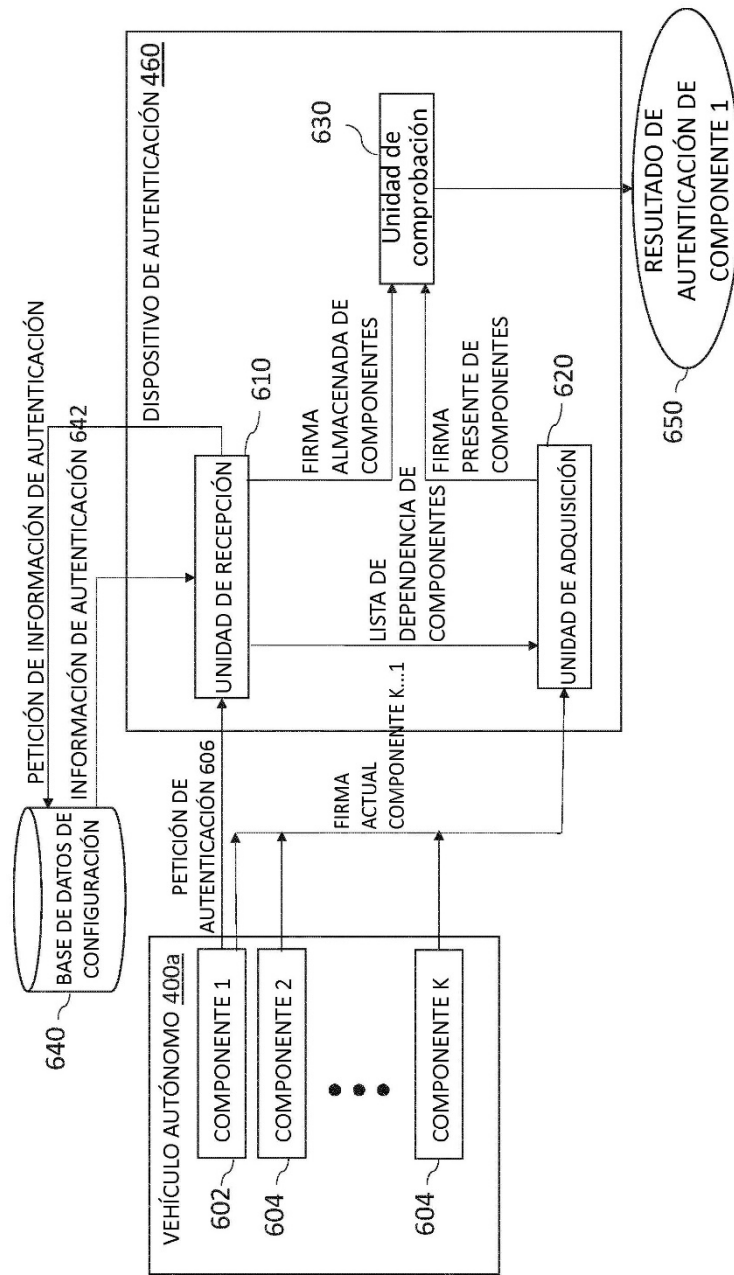


Fig. 6