

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 998**

51 Int. Cl.:

**G05B 17/02** (2006.01)

**G05D 1/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.05.2011 E 11720848 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015 EP 2572248**

54 Título: **Evaluación de la capacidad de un sistema para realizar una tarea comparando modelos del sistema y de la tarea**

30 Prioridad:

**19.05.2010 GB 201008332**

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

**04.05.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CALLOW, GLENN MICHAEL**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 534 998 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**

Evaluación de la capacidad de un sistema para realizar una tarea comparando modelos del sistema y de la tarea

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a la validación o evaluación de un sistema con respecto a los objetivos que el sistema tiene el cometido de conseguir, tales como evaluación de las capacidades de un sistema con respecto a la ejecución de una tarea.

**Antecedentes**

Típicamente, los sistemas autónomos (por ejemplo, vehículos autónomos) tienen el cometido de conseguir objetivos con interacción humana reducida (o ninguna).

10 El documento "Model-based design: a report from the trenches of the DARPA Urban Challenge", de Jonathan Sprinkle y col., y el documento US 2007/0021880 A1 describen sistemas autónomos que son controlados utilizando modelos de software.

15 Un sistema autónomo es evaluado o validado típicamente determinan si tiene o no las capacidades necesarias para soportar a un operador a conseguir la tarea. Esta validación de un sistema autónomo es principalmente una actividad de tiempo de diseño con un foco en asegurar que el sistema hace lo que un usuario quiere que haga, y que este sistema es fiable, disponible, formal, seguro, etc.

No obstante, cada vez más se utilizan sistemas autónomos en entornos complejos e inciertos, para los que el sistema no ha sido evaluado o validado durante la fase de diseño.

**Sumario de la invención**

20 En un primer aspecto, la presente invención proporciona un método de evaluación de las capacidades de un sistema con respecto a la realización de una tarea, comprendiendo el método: proporcionar un primer modelo, correspondiendo el primer modelo a la tarea, proporcionar otro modelo, correspondiendo el otro modelo al sistema, proporcionar una pluralidad de correspondencias de un modelo a otro modelo, determinar si existe una traza de transformación o bien (i) desde el primer modelo hasta el otro modelo, o (ii) desde el otro modelo hasta el primer modelo, en el que cada traza de transformación comprende una o más de las correspondencias específicas, y evaluar las capacidades del sistema con respecto a la tarea, siendo dependiente el resultado de la evaluación de la existencia de la traza de transformación para el otro modelo.

25 La evaluación de las capacidades del sistema con respecto a la tarea puede comprender determinar si el sistema es capaz o no de realizar la tarea.

30 Se puede determinar que el sistema es capaz de realizar la tarea si existe la traza de transformación.

35 El método puede comprender, además: especificar un segundo modelo adicional, correspondiendo el segundo modelo adicional al sistema, en el que la etapa de determinar si existe una traza de transformación comprende determinar si existe o bien (i) una traza de transformación desde el primer modelo hasta el segundo modelo adicional y una traza de transformación desde el segundo modelo adicional hasta el otro modelo, o (ii) una traza de transformación desde el otro modelo hasta el segundo modelo adicional y una traza de transformación desde el segundo modelo adicional hasta el primer modelo, y cada traza de transformación comprende una o más de las correspondencias específicas.

40 Un primer meta-modelo puede proporcionar una base para el primer modelo, un segundo meta-modelo puede proporcionar una base para el otro modelo, y la etapa de comprender si existe una traza de transformación puede comprender determinar si existe una transformación o correspondencia desde el primer meta-modelo hasta el segundo meta-modelo, en el que una transformación o correspondencia desde el primer meta-modelo hasta el segundo meta-modelo proporciona una base para la traza de transformación o bien (i) desde el primer modelo hasta el otro modelo, o (ii) desde el otro modelo hasta el primer modelo.

El sistema puede ser un vehículo autónomo.

45 El primer modelo puede ser un Modelo Independiente de Cálculo.

El otro modelo puede ser uno de los siguientes: (i) un Modelo Independiente de Plataforma, o (ii) un Modelo Específico de Plataforma.

El método se puede implementar utilizando Lenguaje de Definición de Dominio de Planificación.

Pueden existir otros dos modelos, uno de los otros dos modelos es un Modelo Independiente de Plataforma, y el otro

de los dos modelos es un Modelo Específico de Plataforma.

- 5 En otro aspecto, la presente invención proporciona aparatos para evaluar capacidades de un sistema con respecto a la realización de una tarea, comprendiendo el aparato: uno o más procesadores dispuestos para determinar si existe una traza de transformación o bien (i) desde un primer modelo hasta otro modelo, o (ii) desde el otro modelo hasta el primer modelo, y cada traza de transformación comprende una o más de una pluralidad de correspondencias, y evaluar las capacidades del sistema con respecto a la tarea, siendo dependiente el resultado de la evaluación de la existencia de una traza de transformación, en el que el primer modelo corresponde a la tarea, el otro modelo corresponde al sistema, y la pluralidad de correspondencias son específicas desde un modelo hasta el otro modelo.

El sistema puede ser un vehículo autónomo.

- 10 El aparato puede estar a bordo del vehículo autónomo.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un programa o una pluralidad de programas dispuestos de tal manera que cuando se ejecutan por un sistema de ordenador o uno o más procesadores, provocan que el sistema de ordenador o uno o más procesadores funcionen de acuerdo con el método de uno cualquiera de los aspectos anteriores.

- 15 En otro aspecto, la presente invención proporciona un medio de almacenamiento legible por máquina que almacena un programa o al menos uno de la pluralidad de programa de acuerdo con el aspecto anterior.

#### **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de un escenario, en el que se implementa una forma de realización de un método de realización de la validación de un sistema.

- 20 La figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) de un vehículo; y

La figura 3 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas del proceso de validación del sistema.

#### **Descripción detallada**

La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de un escenario, en el que se implementa una forma de realización de un método de realización de validación de un sistema.

- 25 En esta forma de realización, la estructura utilizada para el proceso de validación del sistema se basa en los principios subyacentes asociados con la Arquitectura Accionada por Modelo Model Driven Architecture (MDA). MDA describe una aproximación arquitectónica para diseñar y construir sistemas. Más información sobre MDA se puede encontrar en "*MDA Guide v1.0.1*", J. Miller & J. Mukerji, OMG, 2003, que se incorpora aquí por referencia.

La figura 1 muestra esquemáticamente un vehículo 2 que circula a lo largo de una carretera 4.

- 30 En esta forma de realización, el vehículo 2 es un vehículo terrestre autónomo. La terminología "autónomo" se utiliza aquí para referirse a un sistema que, hasta cierta extensión, funciona independientemente de un humano, que puede observar y/o afectar a cierto entorno más allá de su límite del sistema, y que tiene cierta capacidad para tomar decisiones en respuesta a un cambio en su propio estado y/o en su entorno.

El vehículo 2 se describe con más detalle a continuación con referencia a la figura 2.

- 35 En este escenario, la carretera 4 tiene una superficie asfaltada y tiene cinco metros de anchura.

En este escenario, una tarea del vehículo es navegar por sí mismo a lo largo de la carretera 4, desde un primer punto A hasta un segundo punto B. Es decir, en este escenario la tarea del vehículo 2 se realiza en condiciones ambientales adversas, por ejemplo nieve, lluvia intensa, viento o en presencia de arena.

La figura 2 es una ilustración esquemática (no a escala) del vehículo 2.

- 40 En esta forma de realización, el vehículo 2 comprende un sistema para verificar si el vehículo es capaz de realizar una tarea (es decir, circular desde A hasta B, a lo largo de la carretera 4, en condiciones ambientales adversas). Este sistema se refiere a continuación como el "sistema de validación del vehículo" y se indica en la figura 2 por una línea de puntos y el número de referencia 6.

- 45 El sistema de verificación del vehículo 6 comprende un modelo de tarea 8, un primer modelo de vehículo 9, un segundo modelo de vehículo 10, un sistema de transformación del modelo 12, un controlador 14 y una pantalla 16.

El modelo de tarea 8 es un modelo que encapsula la tarea del vehículo 2. En esta forma de realización, el modelo de tarea 8 es un modelo que especifica que el vehículo tiene la tarea de desplazarse desde el primer punto A hasta un

- segundo punto B a lo largo de la carretera 4. El modelo de tarea 8 especifica, además, las condiciones del medio ambiente, en las que se desea que el vehículo 2 se desplace desde A hasta B. En esta forma de realización, el modelo de tarea 8 es un Modelo Independiente de Cálculo Computation Independent Model (CIM). En esta forma de realización, el CIM será representado utilizando el Lenguaje de Definición de Dominio de Planificación Planning Domain Definition Language (PDDL). Éste tiende a proporcionar que un modelo de tarea para una cierta tarea pueda ser especificado de manera fácil y rápida por un usuario del vehículo 2.
- En esta forma de realización, el primer modelo de vehículo 9 es un Modelo independiente de Plataforma (PIM). Además, en esta forma de realización, el segundo modelo de vehículo 10 es un Modelo Específico de Plataforma (PSM). En esta forma de realización, el primer modelo de vehículo 9 es un modelo genérico que corresponde al vehículo 2, mientras que el segundo modelo de vehículo 10 es un modelo que corresponde específicamente al vehículo 2. En otras palabras, el primer modelo de vehículo 9 es un modelo para un vehículo genérico, y el vehículo 2 (descrito específicamente por el segundo modelo de vehículo 10) es una instalación específica del vehículo genérico.
- En esta forma de realización, el segundo modelo de vehículo 10 es un modelo que describe lo siguiente (el primer modelo de vehículo describe funcionalidades correspondientes y estructura para el vehículo genérico), la funcionalidad de componentes de hardware y de software del vehículo 2, la estructura del vehículo 2, el comportamiento del vehículo 2, y cualquier análisis del sistema asociado con el vehículo 2.
- La especificación de la estructura del vehículo puede incluir, por ejemplo, la organización de componentes dentro del vehículo 2, y/o la estructura de datos que entran y salen del vehículo 2.
- La especificación del comportamiento del vehículo 2 puede incluir, por ejemplo, un estado actual del vehículo (por ejemplo, valores de posición, velocidad y/o aceleración en un punto actual de tiempo), descripciones de secuencias o algoritmos utilizados por el vehículo 2, una especificación de la dinámica del vehículo (por ejemplo, a qué velocidad circula el vehículo 2, y/o a qué velocidad puede girar el vehículo 2, etc.), una especificación sobre la capacidad del vehículo para localizarse a sí mismo con respecto a su entorno, y una especificación de las capacidades de toma de decisiones del vehículo 2 (por ejemplo, una medida de si, dada cierta información, el vehículo autónomo 2 tomaría la misma decisión que un humano dada la misma cierta información).
- En esta forma de realización, los lenguajes de modelación utilizados para expresar el modelo de tarea 8 (es decir, el CIM) durante el tiempo en el que el vehículo 2 y sus sistemas autónomos fueron diseñados (referido a continuación como "tiempo de diseño") son los mismos que los utilizados para expresar el modelo de tarea 8 durante el tiempo en el que el vehículo 2 se utiliza para realizar la tarea (referido a continuación como "tiempo de ejecución"). No obstante, en otras formas de realización se utilizan diferentes lenguajes de modelación (para el modelo de tarea 8) durante el tiempo de diseño y el tiempo de ejecución.
- En esta forma de realización, los lenguajes de modelación utilizados para expresar el primer modelo de vehículo 9 (es decir, el PIM) durante el tiempo de diseño son los mismos que se utilizan para expresar el primer modelo de vehículo 9 durante el tiempo de ejecución. No obstante, en otras formas de realización se utilizan diferentes lenguajes de modelación (para el primer modelo de vehículo 9) durante el tiempo de diseño y el tiempo de ejecución.
- En esta forma de realización, los lenguajes de modelación utilizados para expresar el segundo modelo de vehículo 10 (por ejemplo, el PSM) durante el tiempo de diseño son los mismos que se utilizan para expresar el segundo modelo de vehículo 10 durante el tiempo de ejecución. No obstante, en otras formas de realización, se utilizan diferentes lenguajes de modelación (para el segundo modelo de vehículo 10) durante el tiempo de diseño y el tiempo de ejecución.
- En esta forma de realización, el sistema de transformación de modelo 12 comprende descripciones o correspondencias (o relaciones) que son posibles entre los modelos (por ejemplo, el modelo de tarea 8, el primer modelo de vehículo 9, y el segundo modelo de vehículo 10), y cualquier restricción/limitación en ellos. En particular, el sistema de transformación de modelo 12 descripciones o relaciones entre meta-modelos, o bases, para los modelos de la tarea y del vehículo 8, 9, 10.
- En esta forma de realización, la información del sistema de transformación de modelo 12 se define por un usuario (tal como un diseñador u operación del vehículo 2).
- El sistema de transformación de modelo 12 se describirá con más detalle a continuación con referencia a la figura 3.
- En esta forma de realización, el controlador 14 utiliza el modelo de tarea 8, el primer modelo de vehículo 9, el segundo modelo de vehículo 10, y el sistema de transformación del modelo 12 para determinar si el vehículo 2 (como está modelado por los modelos de vehículo 9, 10) es capaz de realizar las tareas (como están modeladas por el modelo de tarea 8). Esto se describe con más detalle a continuación con referencia a la figura 3.
- En esta forma de realización, representación 16 representa el resultado determinado por el controlador 14 para el

usuario (no mostrado). La representación 16 puede ser, por ejemplo, una pantalla.

5 En esta forma de realización, el proceso de validación del sistema es implementado utilizando un Lenguaje de Definición de Dominio de Planificación Planning Domain Definition Language (PDDL). Más información sobre el PDDL puede encontrarse en los siguientes documentos que se incorporan aquí por referencia: "*PDDL - the Planning Domain Definition Language*", M. Ghallab, A. Howe, C. Knoblock, D. McDermott, A. Ram, M. Veloso, D. Weld, y D. Wilkins, AIPS, 1998, y "*Automated Planning: Theory and Practice*", M. Ghallab, D. Nau, y P. Traverso, Elsevier, 2004.

La siguiente información con relación a PDDL es útil para la comprensión de la forma de realización del proceso de validación del sistema descrito a continuación con referencia a la figura 3.

10 Un problema de planificación para un sistema se expresa como:

$$P = (\Sigma, s_0, g)$$

en la que  $\Sigma$  es un sistema de transición de estado,  $s_0$  es un estado inicial de un sistema descrito por alguna combinación de predicados, y  $g$  es un conjunto de estados objetivos para el sistema

$\Sigma$  se da por

15 
$$\Sigma = (S, A, \gamma)$$

en la que  $S$  es el conjunto  $a$  de estados admisibles para el sistema (es decir, estados que el sistema puede adoptar),  $A$  es un conjunto de acciones que pueden ser realizadas por el sistema y  $\gamma$  es una función de transición de estado.

Una finalidad de un planificador automático es encontrar un plan  $\pi$  que pasa del estado inicial  $s_0$  a un estado objetivo en  $g$ , si existe tal plan.

20 PDDL proporciona una especificación textual de este tipo de problema de planificación. Típicamente, PDDL comprende un fichero de dominio, que especifica un conjunto de predicados y un conjunto de acciones admisibles en un problema, y un fichero de problemas, que especifica un estado inicial y un estado objetivo, entre los que debería transitar un plan generado. Típicamente, los problemas de planificación de estilo PDDL implican una descripción abstracta de un entorno de influencia. Los predicados en este caso describen qué entidades están permitidas en el espacio del problema, dónde se encuentran estas entidades, etc. Las acciones que pueden ser realizadas por el sistema describen cambios en el estado del sistema, tales como una grúa que coge una caja. Por lo tanto, PDDL es particularmente apropiado para tareas de tiempo de ejecución de sistemas autónomos, donde un sistema puede determinar las acciones que tiene que completar para conseguir un objetivo.

La figura 3 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas del proceso de validación del sistema.

30 En la etapa s2, se especifica el sistema de transformación del modelo 12. En esta forma de realización, el sistema de transformación del modelo 12 es especificado por un diseñado del vehículo autónomo 2. En esta forma de realización, el sistema de transformación del modelo 12 comprende un conjunto de correspondencias (relaciones) posibles entre el modelo de tarea 8, el primer modelo de vehículo 9 y el segundo modelo de vehículo 10. Las relaciones describen, por ejemplo, cómo un elemento del modelo de tarea 8 (por ejemplo, que requiere que el vehículo 2 navegue de forma autónoma desde la localización A hasta la localización B) se relaciona con la capacidades disponibles en los modelos de vehículo 9, 10 (por ejemplo, si el vehículo 2 tiene la capacidad de navegar de forma autónoma será representado en el primer modelo de vehículo 9 y en el segundo modelo de vehículo 10).

40 En la etapa s4, se especifica el modelo de tarea 8. En esta forma de realización, se especifica el modelo de tarea 8 utilizando un meta-modelo apropiado, referido en adelante como el primer meta-modelo. El modelo de tarea 8 es, en efecto, una instantánea (por ejemplo, una representación de un cierto instante) del primer meta-modelo, es decir, que el primer meta-modelo proporciona una base para el modelo de tarea 8. En esta forma de realización, el modelo de tarea 8 es, en efecto, un estado inicial de un problema PDDL.

45 En la etapa s6, se especifican los modelos de vehículo 9, 10. En esta forma de realización, se especifican los modelos de vehículo 9, 10 utilizando un meta-modelo apropiado común, referido en adelante como el segundo meta-modelo. Cada uno de los modelos de vehículo 9, 10 es, en efecto, una instantánea del segundo meta-modelo, es decir, que el segundo meta-modelo proporciona una base para los modelos de vehículo 9, 10. En esta forma de realización, el primer modelo de vehículo 9 y el segundo modelo de vehículo 10 son, en efecto, estados objetivos de un problema PDDL.

5 En la etapa s8, el controlador 14 determina si existe una transformación (es decir, una traza de transformación) entre el modelo de tarea 8 y el primer modelo de vehículo 9 y una transformación (es decir, una traza de transformación) entre el primer modelo de vehículo 9 y el segundo modelo de vehículo 10. Éstas se consiguen, respectivamente, en esta forma de realización, determinando un conjunto de correspondencias (desde el sistema de transformación del modelo 12 especificado en la etapa s2) que transforma el modelo de tarea 8 (estado inicial del problema PDDL) en el primer modelo de vehículo 9 (un estado objetivo del problema PDDL), y determinando un conjunto de correspondencia (desde el sistema de transformación del modelo 12) que transforma el primer modelo de vehículo 9 en el segundo modelo de vehículo 10.

10 En esta forma de realización, esto se consigue determinando una correspondencia desde el primer meta-modelo con el segundo meta-modelo. Esto proporciona, en efecto, una base de correspondencias que se pueden utilizar para construir correspondencias desde el modelo de tarea 8 hasta el primer modelo de vehículo 9, y correspondencias desde el primer modelo de vehículo 9 hasta el segundo modelo de vehículo 10.

15 En la etapa s10, si las transformaciones de la etapa s8 existen, y si se ha validado que la transformación constituye planes correctos con respecto al estado inicial (el modelo de tarea 8) y los estados objetivos (los modelos de vehículo 9, 10), entonces el vehículo modelado es verificado como capaz de proporcionar una solución de la tarea modelada. Por ejemplo, si se requiere una capacidad particular en el CIM, y está presente en el PIM en el nivel requerido de actuación, entonces el PIM es verificado para esa capacidad. En esta forma de realización, tanto el estado inicial como también el estado objetivo son suficientemente ricos para describir tanto el problema como también la solución (esto se puede verificar utilizando el controlador 14).

20 En la etapa s12, se representan los resultados de la etapa s10 para un usuario utilizando la pantalla 16, es decir, que se visualiza si el vehículo 2 es verificado o no como capaz de realizar la tarea modelada.

25 En esta forma de realización, el resultado del proceso de validación del sistema es visualizado para un usuario. No obstante, en otras formas de realización, tales resultados (es decir, que un vehículo es validado para la tarea, o de otra manera) se utilizan de diferentes manera en lugar de o además de ser visualizados para el usuario. Por ejemplo, datos que corresponden al resultado pueden proporcionar una entrada a otros sistemas del vehículo autónomo 2, por ejemplo, de manera que el vehículo realiza una acción particular en función del resultado.

Por lo tanto, se proporcionan un método y un sistema para realizar la validación del sistema.

30 Una ventaja proporcionada por las formas de realización descritas anteriormente es que tienden a facilitar la provisión de capacidades de verificación y de validación para sistemas autónomos con respecto a tareas que están establecidas.

35 Otra ventaja proporcionada por las forma de realización descritas anteriormente es que tienden a proporcionar una capacidad de validación y de verificación de un sistema autónomo durante el tiempo de diseño y/o el tiempo de ejecución. Debido a las complejidades e incertidumbres de los entornos, en los que deben operar algunos sistemas autónomos, tiende a no ser adecuado considerar la validación y la verificación únicamente como una actividad del tiempo de diseño. Este problema es abordado por las formas de realización descritas anteriormente proporcionando una capacidad para verificar y validar el sistema autónomo durante el tiempo de ejecución. Las circunstancias y el contexto en el que se utilizará el sistema tienden a determinarse con mayor exactitud durante el tiempo de ejecución. El método descrito anteriormente aprovecha de manera ventajosa esta información mejorada.

40 Un sistema para implementar la forma de realización descrita anteriormente tiende de manera ventajosa a ser portátil (por ejemplo, se puede montar encima o puede ser llevado por un vehículo autónomo), y reutilizable (por ejemplo, se puede reutilizar para diferentes tareas y/o en diferentes vehículos modificando el modelo relevante 8, 9, 10, 12).

45 Otra ventaja de las formas de realización descritas anteriormente es que el problema a resolver, una solución que puede abordar ese problema, y los detalles específicos de la implementación de esa solución se separan claramente. Esto tiende a facilitar la comprensión por un usuario de los resultados del proceso de verificación del sistema y existen opciones disponibles para el usuario.

50 Otra ventaja proporcionada por las formas de realización anteriores es que el modelo de tarea, los modelos de vehículo y el sistema de transformación de modelos son entidades definidas de forma separada. Esto tiende de manera ventajosa a proporcionar que uno o más de estos modelos puedan ser cambiados/revisados por un usuario sin la necesidad de alterar los otros modelos, es decir, que el sistema descrito anteriormente para verificar el estado del vehículo con respecto a la tarea tiene un grado de modularidad.

55 Otra ventaja es que los modelos y las transformaciones son validadas, o de otra manera, a través de la existencia, o de otra manera, de una traza o plan de transformación adecuado. Por lo tanto, tiende a facilitarse una 'verificación del modelo' unidireccional, mientras que las aproximaciones convencionales basadas en 'MDA' soportan una 'creación de modelo' unidireccional, que no es sensible a las tareas del sistema de verificación descrito

anteriormente.

5 Otra ventaja es que si el modelo de tarea no se puede relacionar totalmente con un modelo de vehículo a través de la especificación de la transformación de modelo representada en las acciones, la validación fallará. Éste es un comportamiento deseable, puesto que tiende de manera ventajosa a asegurar que la especificación de transformación es suficiente, dadas las descripciones del modelo.

Otra ventaja es que un CIM (modelo de tarea) definido adecuadamente se puede reutilizar tanto como un estado objetivo a alcanzar cuando se determinan las acciones que un sistema autónomo tendrá que realizar para alcanzar ese estado, como también como un estado inicial, que se puede utilizar como la base de una estructura de verificación de tiempo de ejecución y se puede transformar en el modelo del sistema PIM/PSM.

10 Otra ventaja es que cualquiera de los modelos (es decir, modelos de tarea o modelos de vehículo) y/o cualquiera de la información contenida en el sistema de transformación de modelo, tienen a poder alterarse en cualquier momento (ya sea a distancia o directamente). Esto proporciona de manera ventajosa que la información utilizada para verificar/validar el vehículo se puede cambiar fácilmente, por ejemplo, si la tarea cambia o las capacidades del vehículo deben ser revisadas.

15 Debería indicarse que algunas de las etapas del proceso ilustradas en el diagrama de flujo de la figura 3 y descritas anteriormente se pueden omitir o tales etapas del proceso se pueden realizar en orden diferente al presentado anteriormente y mostrado en la figura 3. Además, aunque todas las etapas del proceso han sido ilustradas, por conveniencia y facilidad de comprensión, como etapas discretas temporalmente secuenciales, a pesar de todo algunas de las etapas del proceso se pueden realizar, de hecho, simultáneamente o al menos solapándose hasta  
20 cierta extensión temporalmente.

Se pueden proporcionar aparatos para implementar el sistema de verificación de vehículos 6 y para realizar las etapas del método descritas anteriormente, configurando o adaptando cualquier aparato adecuado, por ejemplo uno o más ordenadores u otros aparatos de procesamiento o procesadores, y/o proporcionando módulos adicionales. Los aparatos pueden comprender un ordenador, una red de ordenadores, o uno o más procesadores, para  
25 implementar instrucciones y utilizar datos, incluyendo instrucciones y datos en forma de un programa de ordenador o una pluralidad de programas de ordenador almacenados en o sobre un medio de almacenamiento legible por máquina, tal como memoria de ordenador, un disco compacto, ROM, PROM, etc., o cualquier combinación de éstos u otros medios de almacenamiento.

30 En las formas de realización anteriores, el vehículo es un vehículo terrestre autónomo. No obstante, en otras formas de realización, el vehículo es un tipo diferente de vehículo, por ejemplo un vehículo aéreo no tripulado.

En los escenarios / formas de realización anteriores, la tarea comprende navegar el vehículo a lo largo de una carretera, desde un primer punto A hasta un segundo punto B, en condiciones ambientales adversa. No obstante, en otros escenarios / formas de realización, la tarea es una tarea diferente, por ejemplo una tarea que comprende cualquier número de sub-tareas, por ejemplo navegar desde una posición a otra, evitando ciertos obstáculos, inspeccionando un área, vigilancia y/o intercepción de una entidad, recogiendo, transportando y/o suministrando una carga, etc. Además, una tarea puede requerir que el vehículo funcione en cualquier condición ambiental.  
35

En las formas de realización anteriores, los modelos y componentes del sistema de verificación de vehículos (es decir, el modelo de tarea, el primer modelo de vehículo, el segundo modelo de vehículo, el sistema de transformación de modelos, el controlador, y la pantalla) están situados a bordo del vehículo. No obstante, en otras formas de realización, uno o más de estos modelos/componentes pueden estar total o parcialmente a distancia del vehículo. Por ejemplo, en otras formas de realización, el sistema de verificación del vehículo está a distancia del vehículo y se puede utilizar por un usuario remoto para evaluar si el vehículo es capaz o no de realizar una cierta tarea antes de que sean transmitidas instrucciones desde el usuario remoto hasta el vehículo.  
40

En las formas de realización anteriores, los modelos de tarea y de vehículo, y la información en el sistema de transformación del modelo son definidos por el usuario. No obstante, en otras formas de realización, uno o más de los modelos y/o alguna o toda la información en el sistema de transformación de modelos pueden ser proporcionados de una manera diferente. Por ejemplo, en otras formas de realización, la información sobre condiciones ambientales en las que el vehículo está operando y/o información sobre acciones que pueden ser realizadas por el vehículo pueden ser proporcionadas por uno o más sensores apropiados. Los datos proporcionados por los sensores tienen típicamente una incertidumbre asociada con ellos. En tales casos, los datos  
50 pueden ser interpretados, combinados o fundidos con el fin de percibir información pertinente.

En las formas de realización anteriores, el proceso de validación del sistema es implementado utilizando un Planning domain Definition Language (PDDL). No obstante, en otras formas de realización, se utiliza un lenguaje apropiado diferente.

55 En las formas de realización anteriores, el modelo de tarea (Computation Independent Model) se representa

utilizando PDDL. No obstante, en otras formas de realización, el modelo de tarea se puede representar utilizando cualquier lenguaje o lenguajes apropiados, por ejemplo Systems Modelling Language (SysML), The Architecture Analysis & Design Language (AADL), OWL Web Ontology Language, Unified Modelling Language (UML) etc.

5 En las formas de realización anteriores, el primer modelo de vehículo (Platform Independent Model) es implementado utilizando PDDL. No obstante, en otras formas de realización, el primer modelo de vehículo se puede representar utilizando cualquier lenguaje o lenguajes apropiados, por ejemplo Systems Modelling Language (SysML), The Architecture Analysis & Design Language (AADL), OWL Web Ontology Language, Unified Modelling Language (UML) etc.

10 Además, el segundo modelo de vehículo (Platform Specific Model) puede ser representado utilizando cualquier lenguaje o lenguajes apropiados, por ejemplo Systems Modelling Language (SysML), The Architecture Analysis & Design Language (AADL), Planning Domain Definition Language (PDDL), OWL Web Ontology Language, Unified Modelling Language (UML) etc.

15 En las formas de realización anteriores, el vehículo es validado con respecto a la tarea sobre la base tanto del primer modelo de vehículo (PIM) como también el segundo modelo de vehículo (PSM). No obstante, en otras formas de realización, el vehículo puede ser validado utilizando solamente uno de estos modelos (por ejemplo, el PSM). Además, en otras formas de realización, se pueden utilizar modelos adicionales (por ejemplo, cualquier número de modelos además de o en lugar del primero y/o del segundo modelos de vehículos), para determinar si el vehículo está validado.

20 En las formas de realización anteriores, el modelo de tarea es especificado utilizando el primer meta-modelo. Además, los modelos de vehículo son especificados utilizando el segundo meta-modelo común. No obstante, en otras formas de realización, el objetivo, el primer modelo de vehículo y/o el segundo modelo de vehículo pueden ser especificados utilizando un meta modelo apropiado diferente. Por ejemplo, en otras formas de realización, cada uno de los modelos puede ser especificado utilizando un meta-modelo diferente. Además, en otras formas de realización, cada modelo puede ser especificado utilizando el mismo meta-modelo.

25 En esta forma de realización, los lenguajes de modelación utilizados para expresar el modelo de tarea durante el tiempo de diseño son los mismos que se utilizan para expresar el modelo de tarea durante el tiempo de ejecución. Además, los lenguajes de modelación utilizados para expresar el primer modelo de vehículo durante el tiempo de diseño son los mismos que se utilizan para expresar el primer modelo de vehículo durante el tiempo de ejecución. Además, los lenguajes de modelación utilizados para expresar el segundo modelo de vehículo durante el tiempo de diseño son los mismos que se utilizan para expresar el segundo modelo de vehículo durante el tiempo de ejecución

30 No obstante, en otras formas de realización, se utilizan diferentes lenguajes de modelación (para expresar uno o más de los modelos) durante el tiempo de diseño y el tiempo de ejecución. En ciertas situaciones, representaciones para los modelos en tiempo de diseño no se pueden utilizar directamente durante el tiempo de ejecución sin modificación. Además, el alcance de los modelos puede no ser necesariamente el mismo durante el tiempo de diseño y el tiempo de ejecución. Alguna información del tiempo de diseño puede ser redundante en el tiempo de ejecución, puesto que tiende a ser innecesario incluirla y se puede procesar lentamente. De manera similar, cierta información solamente estará disponible en el tiempo de ejecución, de manera que su inclusión explícitamente en los modelos del tiempo de diseño contribuye a su complejidad.

35 En otras formas de realización, la diferencia entre el tiempo de diseño y el tiempo de ejecución descrita anteriormente es abordada implementando un Modelo Específico del Tiempo de Ejecución Runtime Specific Model (RSM) con transformaciones adicionales del modelo especificadas entre él y el PSM. El RSM utiliza representaciones específicas del tiempo de ejecución, y solamente incluye información relevante para la operación del tiempo de ejecución. Esto tiende a reducir la necesidad de incluir información no relevante en los modelos en el tiempo de ejecución. No obstante, la distinción entre modelos de tarea de tiempo de ejecución y modelos del sistema de tiempo de ejecución termina por ocultarse por esta aproximación.

40 En otras formas de realización, la diferencia entre tiempo de diseño / tiempo de ejecución descrita anteriormente es abordada implementando distintos conjuntos de modelos MDA para tiempo de diseño y tiempo de ejecución, que están relacionados por transformaciones de modelo de 'tiempo de diseño a tiempo de ejecución'. En otras palabras, en otras formas de realización, se utilizan diferentes representaciones de modelación en el tiempo de diseño comparado con el tiempo de ejecución. Esto tiende a permitir el uso de representaciones adecuadas tanto en el tiempo de diseño como también en el tiempo de ejecución y tiende a permitir que la especificación del tiempo de ejecución CIM sea distinta, pero esté relacionada con el tiempo de diseño CIM. Por lo tanto, los 'problemas' del tiempo de ejecución tienden a estar relacionados de manera ventajosa con 'soluciones del sistema' del tiempo de ejecución.

45 En las formas de realización anteriores, el vehículo es validado con respecto a la tarea determinando si existe una transformación desde el modelo de tarea hasta el primer modelo de vehículo, y desde el primer modelo de vehículo hasta el segundo modelo de vehículo. No obstante, en otras formas de realización, el sistema puede ser validado

determinando si existe una transformación de modelo entre el modelo de tarea y cualquiera de los modelos de vehículo (por ejemplo, el segundo modelo de vehículo – en cuyo caso se puede eludir u omitir el primer modelo de vehículo), o si existe una transformación desde cualquiera de los modelos de vehículo hasta el modelo de tarea.

- 5 En las formas de realización anteriores, el vehículo autónomo es validado, con respecto a la tarea, si existen transformaciones entre el modelo de tarea y el primer modelo de vehículo, y entre el primer modelo de vehículo y el segundo modelo de vehículo. No obstante, en otras formas de realización, se puede utilizar un número diferente de modelos apropiados, y el vehículo se puede validar si existe una transformación desde el modelo de tarea hasta el modelo de vehículo a través de cualquier número de modelos diferentes, por ejemplo un vehículo puede ser validado si existen transformaciones o correspondencias desde el primer modelo de tarea hasta un primer modelo intermedio, desde un primer modelo intermedio hasta un segundo modelo intermedio, desde un segundo modelo intermedio hasta un tercer modelo intermedio, y desde el tercer modelo intermedio hasta el modelo de vehículo.
- 10

**REIVINDICACIONES**

1.- Un método realizado por un vehículo autónomo, comprendiendo el método:

5 (a) utilizar uno o más sistemas a bordo del vehículo autónomo para evaluar capacidades del vehículo autónomo con respecto a la realización de una tarea, comprendiendo la evaluación de las capacidades:

proporcionar un primer modelo (8), correspondiendo el primer modelo a la tarea;

proporcionar otro modelo (10), correspondiendo el otro modelo al vehículo autónomo;

proporcionar una pluralidad de correspondencias de un modelo a otro modelo;

10 determinar si existe una traza de transformación o bien (i) desde el primer modelo (8) hasta el otro modelo (10), o (ii) desde el otro modelo (10) hasta el primer modelo (8), en el que cada traza de transformación comprende una o más de las correspondencias específicas; y

evaluar las capacidades del vehículo autónomo con respecto a la tarea, siendo dependiente el resultado de la evaluación de la existencia de la traza de transformación;

15 y (b) introducir datos que corresponden al resultado de la etapa (a) en otros sistemas del vehículo autónomo;

(c) el vehículo autónomo ejecuta una acción particular en función del resultado.

2.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende, además, utilizar uno o más sensores para proporcionar datos sobre condiciones ambientales en las que el vehículo autónomo está funcionando, y utilizar los datos en el método de la reivindicación 1.

20 3.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, que comprende, además, utilizar uno o más sensores para proporcionar información sobre acciones que pueden ser realizadas por el vehículo autónomo.

4.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la evaluación de las capacidades del vehículo autónomo con respecto a una tarea comprende determinar si el vehículo autónomo es capaz o no de realizar la tarea.

25 5.- Un método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que se determina que el vehículo autónomo es capaz de realizar la tarea si existe la traza de transformación.

6.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, comprendiendo el método, además:

especificar un segundo modelo adicional (9), correspondiendo el segundo modelo adicional (9) al sistema, en el que

la etapa de determinar si existe una traza de transformación comprende:

30 determinar si existe o bien

(i) una traza de transformación desde el primer modelo (8) hasta el segundo modelo adicional (9) y una traza de transformación desde el segundo modelo adicional (9) hasta el otro modelo (10), o

(ii) una traza de transformación desde el otro modelo (10) hasta el segundo modelo adicional (9) y una traza de transformación desde el segundo modelo adicional (9) hasta el primer modelo (8); y

35 cada traza de transformación comprende una o más de las correspondencias específicas.

7.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que

un primer meta-modelo proporciona una base para el primer modelo (8);

un segundo meta-modelo puede proporcionar una base para el otro modelo (10), y

la etapa de comprender si existe una traza de transformación puede comprender:

40 determinar si existe una transformación o correspondencia desde el primer meta-modelo hasta el segundo meta-modelo, en el que

una transformación o correspondencia desde el primer meta-modelo hasta el segundo meta-modelo proporciona una base para la traza de transformación o bien (i) desde el primer modelo (8) hasta el otro modelo (10),

o (ii) desde el otro modelo (10) hasta el primer modelo (8).

8.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el primer modelo (8) es un Modelo Independiente de Cálculo.

5 9.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que otro modelo (10) es uno de los siguientes: (i) un Modelo Independiente de Plataforma, o (ii) Un Modelo Específico de Plataforma.

10.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el método es implementado utilizando Lenguaje de Definición de Dominio de Planificación.

11.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que

existen otros dos modelos;

10 uno de los otros dos modelos es un Modelo Independiente de Plataforma; y

el otro de los otros dos modelos es un Modelo Específico de Plataforma.

12.- Un aparato a bordo de un vehículo autónomo para evaluar capacidades de un vehículo autónomo con respecto a la realización de una tarea, comprendiendo el aparato:

uno o más procesadores dispuestos para

15 determinar si existe una traza de transformación o bien (i) desde un primer modelo (8) hasta otro modelo (10), o (ii) desde el otro modelo (10) hasta el primer modelo (8), y cada traza de transformación comprende una o más de una pluralidad de correspondencias, y

evaluar las capacidades del vehículo autónomo con respecto a la tarea, siendo dependiente el resultado de la evaluación de la existencia de una traza de transformación; en el que

20 el primer modelo (8) corresponde a la tarea;

el otro modelo (10) corresponde al vehículo autónomo; y

la pluralidad de correspondencias son específicas desde un modelo hasta el otro modelo.

13.- Un vehículo autónomo que comprende el aparato de la reivindicación 12.

25 14.- Un programa o una pluralidad de programas dispuestos de tal forma que cuando se ejecutan por un sistema de ordenador o uno o más procesadores, provocan que el sistema de ordenador o uno o más procesadores funcionen de acuerdo con el método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

15.- Un medio de almacenamiento legible por máquina que almacena un programa o al menos uno de la pluralidad de programas de acuerdo con la reivindicación 14.

30

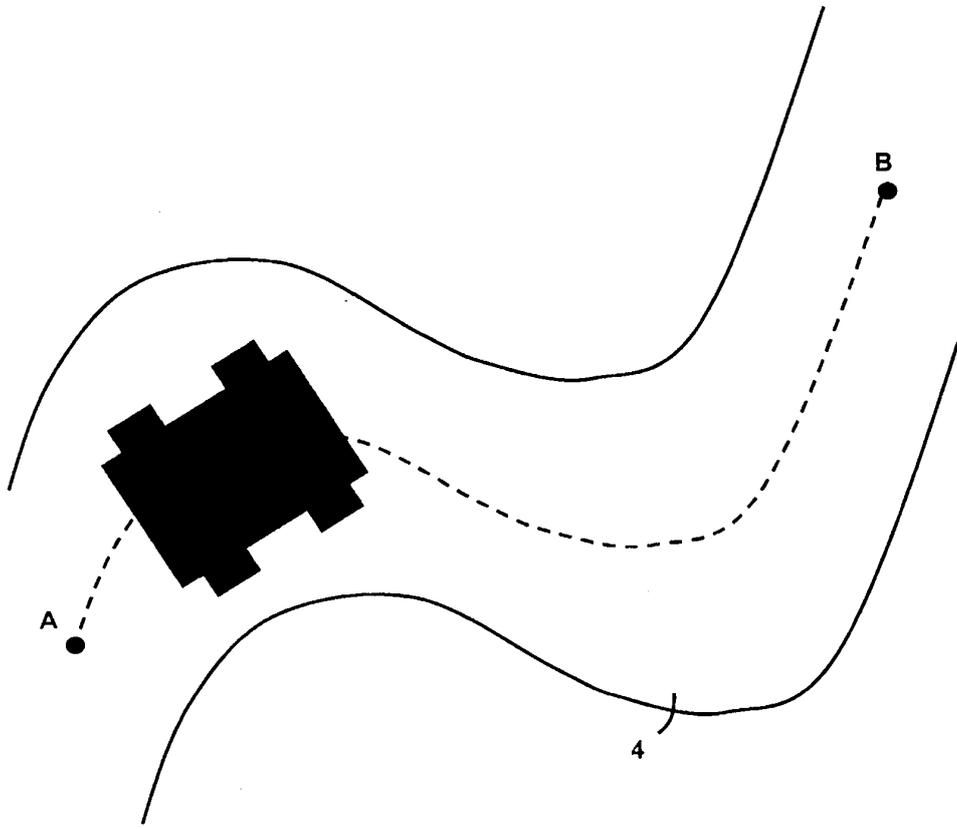


FIG. 1

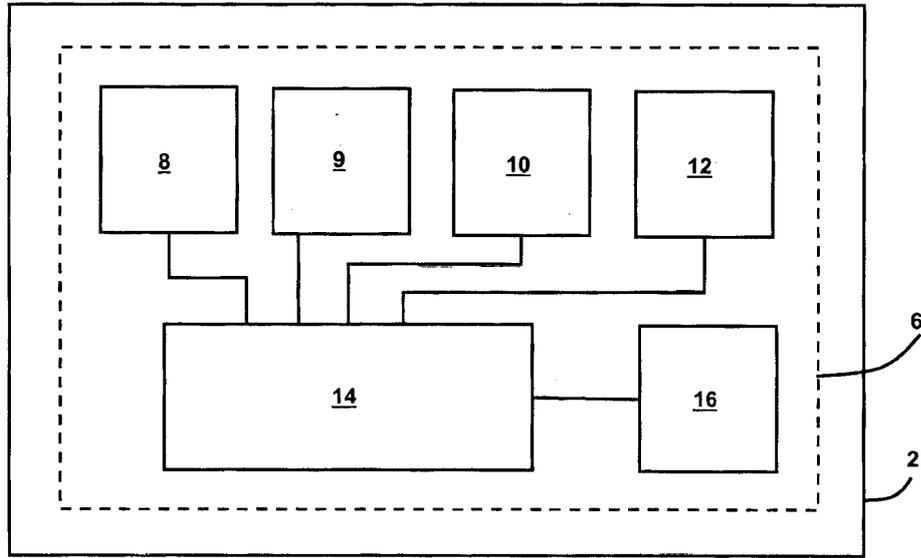
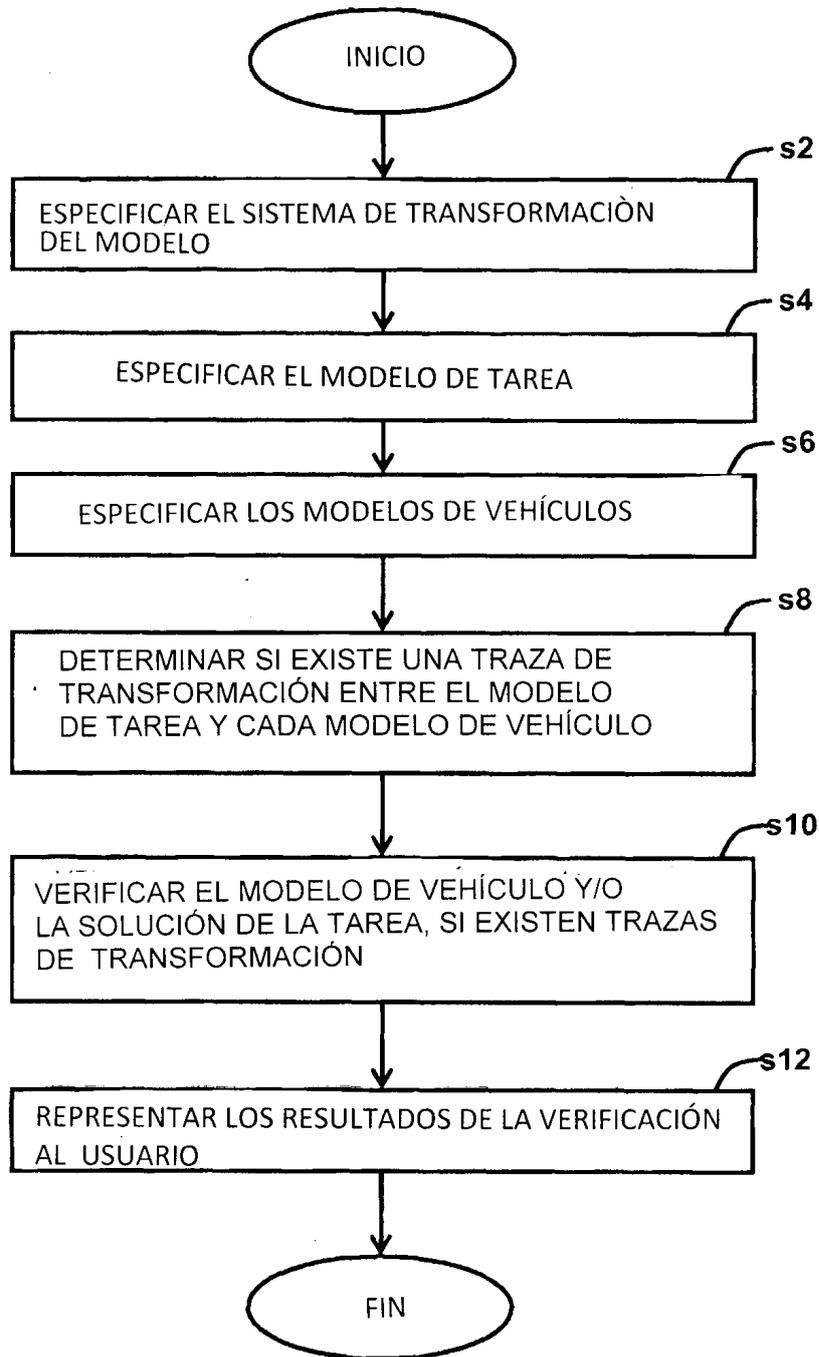


FIG. 2



**FIG. 3**