



# Modelado basado en Ontologías para Redes de Transporte en Carreteras

Susel Fernandez, Luis Cruz-Piris, Ivan Marsa-Maestre  
Departamento de Automática  
Universidad de Alcalá

Escuela Politécnica Superior. Campus Universitario, Ctra. Madrid-Barcelona km. 33, 600. 28805. Alcalá de  
Henares. Madrid

susel.fernandez@uah.es, luis.cruz@uah.es, ivan.marsa@uah.es

**Resumen-** Los sistemas inteligentes de transporte son un conjunto de soluciones tecnológicas que se utilizan para mejorar el rendimiento y la seguridad del transporte por carretera. Un elemento crucial para el éxito de estos sistemas es que los vehículos puedan intercambiar información no solo entre ellos, sino también con otros elementos de la infraestructura vial a través de diferentes aplicaciones. Para el éxito de este intercambio de información, se necesita un marco común de conocimiento que permita la interoperabilidad. En este trabajo se propone un sistema basado en ontologías para proporcionar asistencia en la carretera, que facilite a los conductores la toma de decisiones en diferentes situaciones, teniendo en cuenta la información sobre diferentes elementos relacionados con el tráfico, como pueden ser las rutas, señales y reglas de tráfico y elementos meteorológicos.

**Palabras Clave-** sistemas inteligentes de transporte, ontologías, redes de tráfico.

## I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La continua evolución de los sistemas de transporte inteligentes ha dado paso a una nueva era de sistemas inteligentes interconectados, que ha significado un salto cuantitativo en la seguridad del transporte por carretera. Estos sistemas permiten el intercambio de información entre diferentes aplicaciones, y el análisis posterior de esta información para contribuir a mejorar la seguridad y la comodidad de los conductores en los viajes por carretera.

Debido a su alto grado de expresividad, el uso de ontologías es crucial para garantizar una mayor interoperabilidad entre los agentes de software y las diferentes aplicaciones involucradas en los sistemas de transporte inteligentes. Las ontologías proporcionan un vocabulario común en un dominio determinado y permiten definir, con diferentes niveles de formalidad, el significado de los términos y las relaciones entre ellos [1]. Las ontologías facilitan el diseño de esquemas conceptuales exhaustivos y rigurosos para permitir la comunicación y el intercambio de información entre diferentes sistemas e instituciones.

Hay algunos trabajos previos enfocados en ontologías para sistemas de transporte por carretera. En [2] se presenta una ontología para representar el tráfico en carreteras. Su objetivo fue la construcción de un sistema de información de tráfico

fiable que brindara información sobre las carreteras, el tráfico y los escenarios relacionados con los vehículos en las carreteras. También proporciona formas para analizar qué tan crítica es una situación específica. Por ejemplo, una ambulancia puede necesitar conocer el estado de congestión de una zona de peaje. Solicitar esta información es crítico si la ambulancia se está dirigiendo a la escena de un accidente. En cambio, en el caso de un vehículo común que circule sin prisas por una carretera, esta información no sería crítica.

En [3] se propone una representación de alto nivel para los vehículos autónomos y su entorno. El sistema sirve de ayuda a los conductores para tomar decisiones "ilegales" pero prácticas en determinadas circunstancias (por ejemplo, cuando un automóvil dañado no permite la circulación, tomar la decisión de moverse a otro carril cruzando una línea continua para adelantar al vehículo detenido, siempre que el otro carril esté despejado). Esta representación incluye conocimiento topológico y reglas de inferencia para calcular el siguiente movimiento que un vehículo autónomo debería tomar, como asistencia al conductor.

El trabajo propuesto en [4] es un enfoque para crear una descripción genérica de la situación para sistemas avanzados de asistencia al conductor utilizando un razonamiento lógico sobre una base de conocimiento de la situación del tráfico. Contiene múltiples objetos de diferentes tipos, como vehículos y elementos de infraestructura como carreteras, carriles, intersecciones, señales de tráfico, semáforos y relaciones entre ellos. El proceso de inferencia lógica se realiza para verificar e interpretar la situación razonando sobre las reglas de tráfico.

En el trabajo en [5] se propone una ontología para la gestión del tráfico, que agrega ciertos conceptos de tráfico a la ontología general de sensores A3ME [6]. Los conceptos agregados son especializaciones de posición, distancia y clases de sensores de aceleración, y las diferentes acciones que tienen lugar en los movimientos del vehículo.

En [7] se introdujo una base de conocimientos basada en ontologías, con mapas y reglas de tráfico. Se pueden detectar las situaciones de exceso de velocidad y tomar decisiones en las intersecciones para cumplir con las reglas de tráfico. En este trabajo pero no se consideran elementos importantes como las señales de tráfico y las condiciones climatológicas.

La mayoría de los trabajos encontrados en la literatura se centran en describir situaciones de tráfico muy específicas, tales como encontrar estacionamiento, acciones de vehículos de emergencia y situaciones de intersección [8][9], comportamiento del conductor [10]. Pero ninguno de ellos es lo suficientemente general y expresivo como para abarcar una amplia variedad de situaciones de tráfico. Por lo tanto, es necesario desarrollar ontologías en el dominio del tráfico vial lo suficientemente expresivas como para describir cualquier situación de tráfico.

Este trabajo presenta un sistema basado en ontologías para la gestión del transporte por carretera, con el objetivo de proporcionar asistencia al conductor en diferentes situaciones de tráfico. La ontología desarrollada gestiona el conocimiento relacionados con los vehículos y los elementos del entorno que pueden influir en el tráfico vial, como por ejemplo los elementos de la infraestructura, las condiciones climáticas y las reglas de tráfico.

El documento está organizado de la siguiente manera. La sección II presenta la arquitectura del sistema. En la sección III se explican casos de estudio con diferentes escenarios de tráfico. Finalmente, las conclusiones y líneas de trabajo futuro se resumen en la sección IV.

## II. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En la Figura 1. se muestra el sistema propuesto para los servicios de asistencia al conductor. En la base de la arquitectura está la ontología [11], desarrollada para el dominio específico del tráfico en carreteras. Para desarrollar el proceso de razonamiento se definen los mecanismos de inferencia lógica, utilizando el razonador *Pellet*. En el nivel superior se encuentran las distintas aplicaciones que acceden a la Información de la ontología a través de consultas SPARQL.

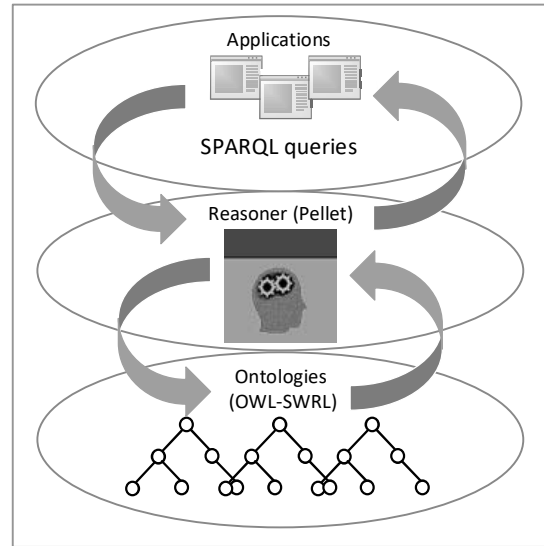


Fig. 1. Arquitectura del sistema.

### A. Descripción de la ontología

La ontología desarrollada en el sistema permite modelar y relacionar las diferentes entidades de tráfico vial identificadas. La implementación se desarrolló en el lenguaje OWL-RDF [12] utilizando la herramienta *Protégé* [13].

Para una mejor comprensión, presentamos modelo del conocimiento de la ontología dividido en dos grupos de conceptos interrelacionados. El primer grupo contiene los elementos referentes a los vehículos, y el segundo grupo los elementos referentes a la infraestructura vial. El grupo principal está relacionado con los vehículos. Los conceptos de este grupo se muestran en la Figura 2.

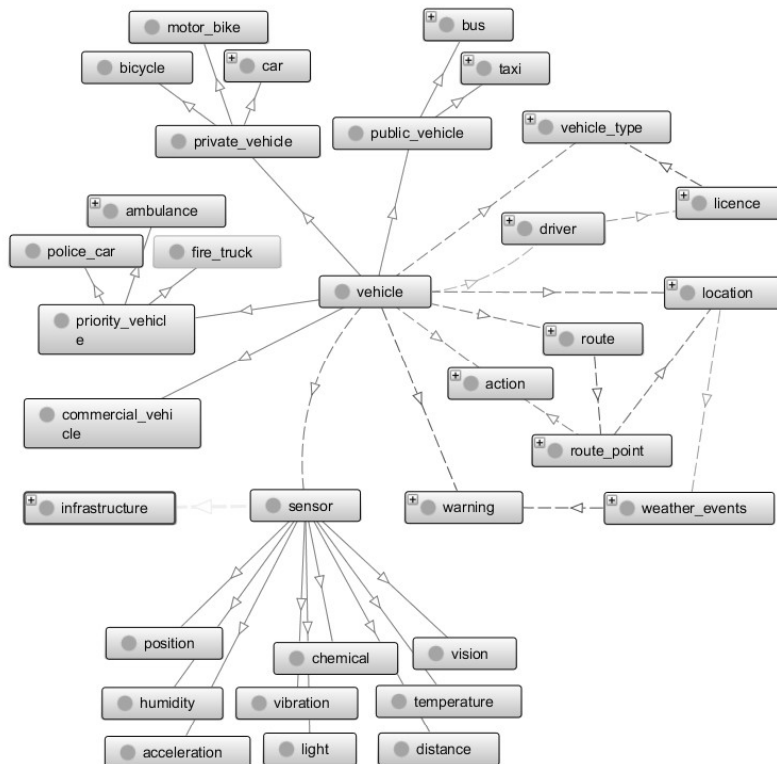


Fig. 2. Conceptos relacionados con vehículos.

La figura muestra la taxonomía de los vehículos, que se pueden clasificar en: vehículos comerciales, vehículos públicos (autobuses y taxis), vehículos privados (automóviles, bicicletas y motocicletas) y vehículos prioritarios (ambulancias, camiones de bomberos y coches de policía). Las diferentes relaciones entre los vehículos y otras entidades se definen también en este grupo. Algunas de estas entidades son: ubicación, que muestra la ubicación exacta (latitud y longitud) de un vehículo, punto de ruta o elemento de infraestructura; información sobre los conductores y los tipos de vehículos que pueden conducir según su tipo de permiso de conducción.

Una de las características fundamentales de este grupo es que cada vehículo tiene asociado un conjunto de acciones a realizar, que pueden variar según la ruta y las señales de tráfico encontradas, así como un conjunto de advertencias según la situación meteorológica en el área.

Con respecto a los sensores, estos pueden ubicarse no solo en los vehículos sino también en diferentes partes de la infraestructura, tales como puentes, carreteras, señales, etc. En la ontología se han definido varios tipos de sensores como: vibración, aceleración, humedad, temperatura, etc. La Figura 3 muestra el segundo grupo, que organiza los elementos relacionados con la infraestructura vial. En este grupo, el concepto más importante representa las carreteras.

Para una mejor gestión de las situaciones de tráfico, dividimos las carreteras en segmentos, conectados a través de intersecciones. Cada segmento contiene carriles, y en cada carril hay señales diferentes, como señales de alto o control de velocidad, semáforos o señales viales. Cada señal tiene una acción asociada a las normas de tráfico correspondientes.

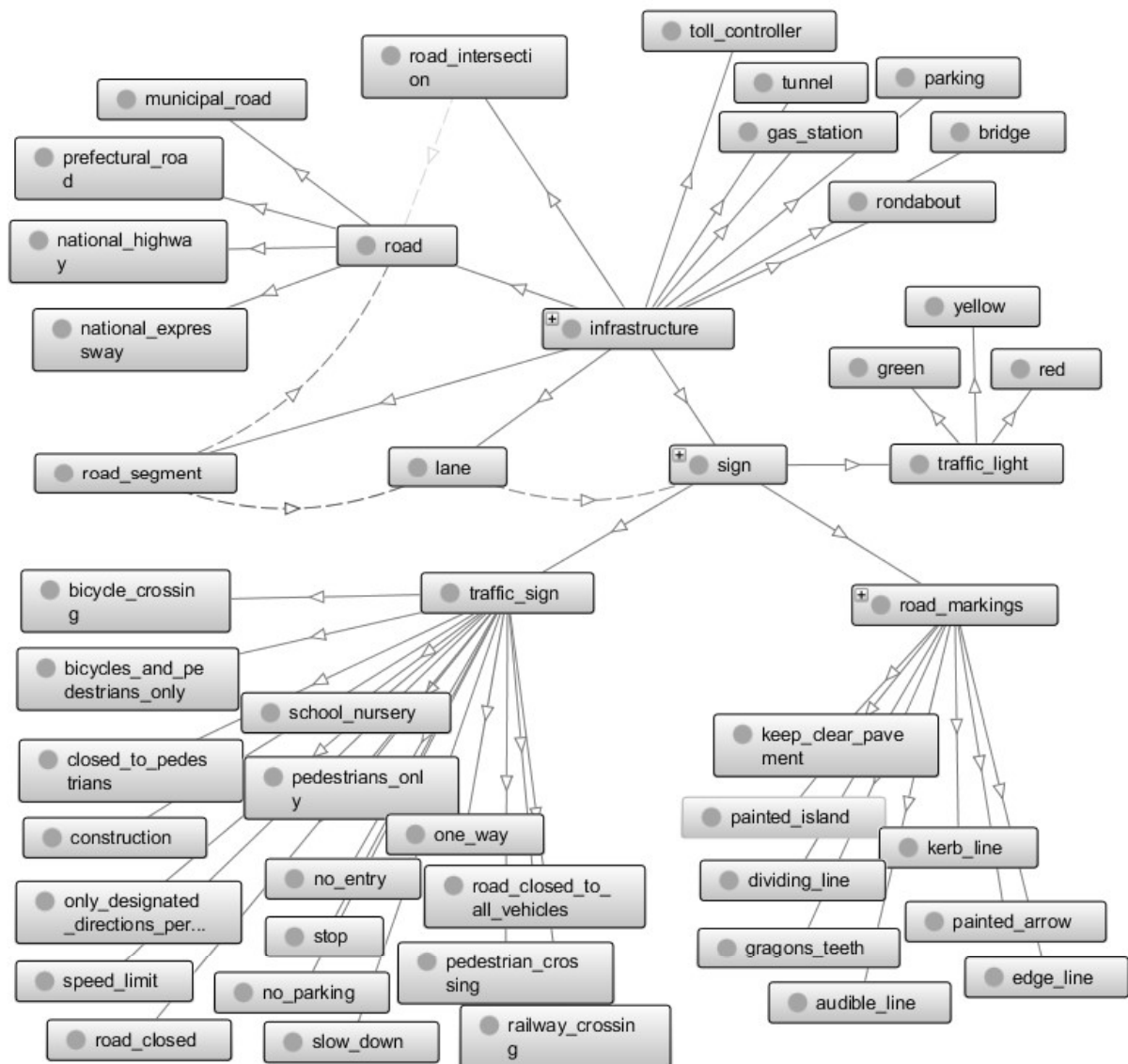


Fig. 3. Conceptos relacionados con la infraestructura de la vía.

## B. Mecanismo de Razonamiento

Un aspecto crucial cuando se trabaja con ontologías es el mecanismo de razonamiento, que en la Inteligencia Artificial es simplemente la capacidad de obtener nuevo conocimiento a partir del conocimiento ya disponible mediante estrategias de inferencia. Para razonar con ontologías, se utilizan principalmente tres técnicas: razonamiento con lógica de primer orden, razonamiento con lógica de descripción y razonamiento con reglas.

En este trabajo utilizamos el razonador *Pellet* [14], que es una herramienta para razonar con ontologías, que admite los tres tipos de razonamiento. *Pellet* se implementa en *Java*; está disponible de forma gratuita y permite verificar la consistencia de la ontología.

Las reglas de razonamiento en la ontología del tráfico se han desarrollado utilizando el Lenguaje de Reglas de la Web Semántica (*SWRL*) [15]. En esta ontología, las reglas *SWRL* se utilizan para definir diferentes regulaciones de tráfico y las diferentes acciones que un conductor puede tomar, de acuerdo con la situación actual de la carretera. Entre las reglas definidas en la ontología se encuentran, por ejemplo, aquellas que permiten al razonador inferir la transitividad con respecto a la ubicación de los elementos de tráfico. Esto significa que si un elemento de tráfico (e.g un vehículo o señal de tráfico) está ubicado en un carril, y ese carril está ubicado en un segmento de la carretera, entonces el elemento de tráfico también se encuentra en esa carretera. Otros conjuntos de reglas definidas están dirigidas a determinar la acción que el conductor de un vehículo debería ejecutar dependiendo de determinadas circunstancias, por ejemplo, cuando se circula en el mismo carril que un vehículo prioritario en situación de emergencia o cuando nos encontramos en el mismo segmento que una señal de tráfico concreta.

## C. Consultas a la ontología

En el nivel superior del sistema, las diferentes aplicaciones consultan la información almacenada en la ontología para llevar a cabo su ejecución. Como lenguaje de consulta ontológica se ha utilizado *SPARQL* [16].

Un ejemplo simple de consulta *SPARQL* con la ontología sería obtener la lista de vehículos que se encuentran en una ruta determinada.

Otro ejemplo de consulta devolvería todos los puntos asociados con una ruta de un vehículo y la acción que debe realizarse para ir de un punto a otro, considerando su ubicación en el mapa. Esta consulta en concreto resulta muy simple, teniendo en cuenta que por diseño, en la ontología cada punto de ruta está relacionado con el siguiente a través de una acción específica (girar a la izquierda, girar a la derecha o seguir recto), y cada acción depende del tipo de relación (*isAtNorthOf*, *isAtSouthOf*, *isAtWestOf*, *isAtEastOf*) que conecta los segmentos en los que se encuentran los puntos de la ruta. Se ha definido una regla *SWRL* en la ontología que asocia una acción o movimiento para trasladarse de un punto al siguiente punto de la ruta según la relación entre los segmentos en los que se encuentra cada punto de ruta.

## III. EXPERIMENTOS

Hemos realizado pruebas de la expresividad de la ontología, realizando consultas para situaciones de tráfico simuladas. En esta sección presentamos parte de los

experimentos realizados en diversas situaciones de tráfico simples. El escenario de tráfico definido para los experimentos consta de varias carreteras y sus intersecciones. Cada carretera se divide en varios segmentos, con dos carriles cada uno.

De cada vehículo se conoce su ubicación, velocidad y la ruta que desea seguir. Cada ruta tiene un conjunto de puntos y cada punto de ruta tiene una ubicación (latitud y longitud), así como la información sobre el siguiente punto de la ruta. Se definen previamente una serie de situaciones climatológicas específicas en diferentes puntos del mapa. Consultando con la ontología podemos saber la próxima acción que debe tomar el conductor, dada la posición del vehículo, la ruta elegida y las señales de tráfico ubicadas a lo largo de la ruta. También podemos recibir recomendaciones con respecto a la situación del clima a lo largo de la ruta.

En este trabajo, hemos llamado *Desired Action* a la acción que el conductor desea llevar a cabo para moverse de un punto al siguiente a lo largo de la ruta, independientemente de las señales de tráfico; *Next Action* es la acción que el conductor realmente debería tomar en cada punto considerando únicamente las señales de tráfico correspondientes. Hemos definido una serie de advertencias para diferentes situaciones climatológicas que se pueden encontrar en la ruta, como lluvia, nieve, niebla, viento, etc. Cada una de estas advertencias está asociada con una serie de recomendaciones para facilitar la circulación en estas condiciones.

A partir de la posición del vehículo en cada punto, la ubicación de las señales de tráfico y la ruta, las acciones se deducen mediante el razonamiento aplicando diferentes reglas de la ontología, en cada uno de los pasos que se describen a continuación:

1. Localizar en qué segmento de la carretera está ubicado el vehículo y cuál es el siguiente punto de la ruta. Esto se hace considerando la posición (latitud y longitud) y las coordenadas de los puntos de inicio y final de cada segmento.
2. Elegir la acción deseada para ir de un punto a otro dependiendo del tipo de conexión entre los segmentos en los que se encuentran los puntos. Por ejemplo, si el vehículo está en segmento1 y el siguiente punto de la ruta está en segmento2; el segmento2 está ubicado al este del segmento1, entonces la acción que debe tomar el vehículo para ir del punto1 al punto2 es girar a la derecha.
3. Elegir la siguiente acción a ejecutar por el vehículo, teniendo en cuenta únicamente las señales de tráfico. Esta es la misma acción asociada con la siguiente señal de tráfico ubicada en el segmento donde se encuentra el vehículo. Por ejemplo, si el vehículo está en un segmento con una señal de *Stop*, la acción que debe tomar el conductor es detenerse.
4. Si hay alguna condición climática especial en el siguiente segmento de la ruta, entonces se le asigna al vehículo la advertencia correspondiente a esa condición climática.

Los experimentos se realizaron en simulación con 50 vehículos y 20 rutas. Para cada ruta se definieron distintos escenarios de tráfico específicos variando diversos factores como el nivel de congestión, el estado de los semáforos y las condiciones climatológicas en distintos puntos.

Para cada vehículo se definieron a priori las distintas acciones a tomar a lo largo de los diferentes puntos de la ruta y luego se compararon estos resultados con los obtenidos por el sistema para evaluar la expresividad de la ontología. Las medidas utilizadas para evaluar la expresividad de la ontología fueron la *Precisión* y el *Recall*, que representan el nivel de exactitud y completitud de los resultados respectivamente.

Dado un conjunto de referencia  $R$  y un conjunto resultante  $A$ , la *Precisión* es un indicador de la exactitud y se define como la razón entre el número de instancias correctas y aquellas que el algoritmo considera que pertenecen al conjunto de instancias correctas (ecuación 1).

$$Precision(A, R) = \frac{|R \cap A|}{|A|} \quad (1)$$

El *Recall* describe la completitud y se define como la razón entre el número de instancias correctas y todas las instancias que realmente pertenecen a un conjunto de instancias correctas (ecuación 2).

$$Recall(A, R) = \frac{|R \cap A|}{|R|} \quad (2)$$

La Tabla 1 presenta los resultados de los experimentos realizados sobre la expresividad de la ontología en términos de *Precisión* y *Recall*. La tabla muestra que para un total de 50 vehículos y 20 rutas, la media de los valores de *Precisión* obtenidos fue de 0,95 mientras que la media del *Recall* fue de 0,98, lo que demuestra que la ontología es válida para proporcionar la información necesaria para la toma de decisiones en los distintos escenarios de tráfico evaluados.

Tabla 1  
RESULTADOS DE LA EXPRESIVIDAD DE LA ONTOLOGÍA EN TÉRMINOS DE  
PRECISION Y RECALL

Nº vehículos	Nº Rutas	Media Precisión	Media Recall
50	20	0,95	0,98

En general, los resultados muestran que la ontología es suficientemente expresiva en términos de señales de tráfico, rutas y reglas de tráfico. La ontología permite inferir el conocimiento relacionado con el clima a partir de datos de sensores, sin embargo hay sensores de infraestructura que miden otros datos útiles, como el flujo de multitudes y el flujo de tráfico, que aún no se han tenido en cuenta en la ontología. El procesamiento de los datos de esos sensores mejoraría el trabajo en la optimización de la ruta. Consideramos también que para obtener mejores resultados de cara a la mejora de la conducción se necesita ampliar la ontología incorporando una serie de conceptos y relaciones que permitan tener en cuenta otros factores importantes como el comportamiento de los conductores.

#### IV. CONCLUSIONES

En este documento se presenta un sistema basado en ontologías para la gestión del transporte por carretera. El objetivo principal de este trabajo es proporcionar asistencia al

conductor en diferentes situaciones de tráfico, teniendo en cuenta la ruta, el clima y las reglas de tráfico.

La expresividad de la ontología ha sido probada a través de consultas en diferentes situaciones de tráfico que involucran varias señales y las reglas de tráfico. Los resultados de los escenarios probados han sido satisfactorios, pero aún es necesario enriquecer la ontología para abarcar y relacionar más conocimiento. Como trabajo futuro tenemos la intención de continuar mejorando la expresividad de la ontología, con el procesamiento de datos de más sensores ubicados en la infraestructura, por ejemplo, en puentes, carreteras, ríos, túneles. Esos sensores podrían medir el flujo de multitudes, el flujo de tráfico y muchos otros parámetros que son importantes en la optimización del tráfico. También pretendemos mejorar la expresividad de la ontología, agregando información sobre el comportamiento de los conductores, debido a su importancia en todo el proceso de conducción en carretera. Finalmente, planeamos agregar reglas SWRL que describan múltiples mecanismos de negociación automática entre agentes en diferentes escenarios de tráfico.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto MOON-Modelado basado en ONtologías para redes complejas. CCG2018-EXP-041, de la Universidad de Alcalá.

#### REFERENCIAS

- [1] Studer, R.; Benjamins, R.; Fensel, D. Knowledge Engineering: Principles and Methods. In: Data and Knowledge Engineering, 1998, v.25, n.1-2, pp.161-197
- [2] Sérgio Gorender, Ícaro Silva. AN ONTOLOGY FOR A FAULT TOLERANT TRAFFIC INFORMATION SYSTEM. 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013). November 3-7, 2013, Ribeirão Preto, SP, Brazil
- [3] Evangeline Pollard, Philippe Morignot, Fawzi Nashashibi. An ontology-based model to determine the automation level of an automated vehicle for co-driving. FUSION 2013: 596-603
- [4] Michael Hülsen, J. Marius Zöllner, Christian Weiss. Traffic Intersection Situation Description Ontology for Advanced Driver Assistance. In 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) Baden-Baden, Germany, June 5-9, 2011
- [5] A.J. Bermejo, J. Villadangos, J. J. Astrain, A. Cordoba. Ontology Based Road Traffic Management. Intelligent Distributed Computing VI, G. Fortino et al. eds., SCI 446, pp. 103-108.
- [6] Herzog, A.; Jacobi, D.; Buchmann, A. A3ME-An Agent-Based Middleware Approach for Mixed Mode Environments. In Proceeding of Second International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM 2008), Valencia, Spain, 29 September-4 October 2008; pp. 191-196.
- [7] Zhao, L., Ichise, R., Mita, S., & Sasaki, Y. Ontologies for Advanced Driver Assistance Systems.
- [8] Fernandez, S., & Ito, T. (2016, September). Using SSN ontology for automatic traffic light settings on intelligent transportation systems. In 2016 IEEE International Conference on Agents (ICA) (pp. 106-107). IEEE.
- [9] Cruz-Piris, L., Rivera, D., Fernandez, S., & Marsa-Maestre, I. (2018). Optimized sensor network and multi-agent decision support for smart traffic light management. Sensors, 18(2), 435.
- [10] Fernandez, S., & Ito, T. (2015, October). Driver behavior model based on ontology for intelligent transportation systems. In 2015 IEEE 8th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA) (pp. 227-231). IEEE.
- [11] Fernandez, S., Ito, T., & Hadfi, R. (2016). Architecture for intelligent transportation system based in a general traffic ontology. In Computer and Information Science 2015 (pp. 43-55). Springer, Cham.
- [12] M. Dean, and G. Schreiber, OWL Web Ontology Language Reference. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-ref-20040210/>; 2004.
- [13] Protégé: <http://protege.stanford.edu/>

- [14] Pellet <http://clarkparsia.com/pellet/> RuleML, Submission to W3C, May 2004
- [15] I. Horrocks, P. F. Patel-Schneider, H. Boley, S. Tabet, B. Grosz, M. Dean. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>
- [16] SPARQL <http://sparql.org/>