

ITETRIS: PLATAFORMA EUROPEA PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO DE SISTEMAS ITS COOPERATIVOS EN LA GESTIÓN DE TRÁFICO

Ramón Bauzá¹, Julen Maneros³, Miguel Sepulcre¹, Javier Gozávez¹, Oscar Lázaro², Ainara González²

¹Laboratorio Uwicore (www.uwicore.umh.es), Universidad Miguel Hernández de Elche

²Asociación Innovalia

³CBT Multimedia

j.gozalvez@umh.es (Javier Gozávez, Laboratorio Uwicore)

olazaro@innovalia.org (Oscar Lázaro, Asociación Innovalia)

RESUMEN: Los sistemas cooperativos ITS vehiculares han sido identificados como una atractiva tecnología para mejorar la gestión del tráfico y la seguridad vial, además de proporcionar acceso a Internet en movimiento. Para conseguir estos objetivos, los sistemas de comunicaciones vehiculares permiten el intercambio dinámico de mensajes entre vehículos, y entre vehículos e infraestructura. Para garantizar la eficiencia de los sistemas cooperativos ITS vehiculares, es crucial que los protocolos de comunicación sean adecuadamente diseñados y optimizados, y que las aplicaciones que emplean dichos sistemas sean evaluadas en condiciones realistas. En este contexto, este trabajo presenta la plataforma iTETRIS financiada por el 7º Programa Marco y que está siendo desarrollada para permitir la evaluación realista y precisa del diseño e impacto de los sistemas cooperativos de comunicaciones vehiculares y de las políticas de gestión de tráfico en escenarios realistas a gran escala.

1 INTRODUCCIÓN

El sector del transporte ha tenido un creciente impacto en la economía mundial y en el desarrollo social en las últimas décadas, influencia que queda patente en el hecho de que hasta un 40% de los préstamos del Banco Mundial han sido concedidos para proyectos relacionados con el sector del transporte [1]. Sin embargo, los flujos de tráfico actuales y previstos para el futuro están aumentando los niveles de congestión, el número de muertes en carretera y la contaminación del medio ambiente. De hecho, actualmente se estima que cada año se producen más de 1,4 millones de accidentes y 40000 muertes en carreteras de

la Unión Europea, con un coste aproximado de 200 billones de euros al año [2]. DG TREN (*Directorate-General for Energy and Transport*) ha estimado también que el incremento del número de vehículos ha contribuido a que un 10% de la red de carreteras diariamente este afectada por atascos [3], con un coste derivado de las congestiones del tráfico de 50 millones de euros al año. En términos de polución medioambiental, la Comisión Europea estimó que el sector del transporte consumió en 2002 aproximadamente el 26% del consumo de energía total en la UE, resultando en 835 toneladas de emisiones de CO₂ al año.

Para hacer frente a estos problemas, diversas tecnologías ITS (*Intelligent Transport Systems*) han sido propuestas en los últimos años (p.e. señal de prioridad de tránsito o detección de incidentes de tráfico). Además de las tecnologías tradicionales, el desarrollo y futuro despliegue de los sistemas cooperativos ITS vehiculares constituirán una nueva e innovadora tecnología que permitirá afrontar los ambiciosos objetivos europeos de reducir los accidentes en las carreteras, las congestiones de tráfico y la polución. Mediante el uso de comunicaciones vehiculares inalámbricas, los sistemas cooperativos podrán asistir al conductor a través del intercambio dinámico de mensajes entre vehículos (V2V, *Vehicle-to-Vehicle*) y entre vehículos e infraestructura (V2I, *Vehicle-to-Infrastructure*). Tal intercambio de mensajes permitirá detectar situaciones adversas en la carretera y congestiones de tráfico. Adicionalmente, las comunicaciones V2X podrán emplearse para proporcionar ubicuamente información del tráfico en tiempo real e informar a los vehículos de las rutas óptimas a sus destinos, reduciendo de este modo los niveles de congestión y polución. Es importante destacar que los sistemas cooperativos forman parte del *Intelligent Car Initiative* de la Comisión Europea.

Las actividades de investigación europeas en sistemas vehiculares cooperativos comenzaron en el 6º Programa Marco, con proyectos como CVIS, Safespot or Coopers investigando el potencial de las comunicaciones V2V y V2I para afrontar los presentes y futuros desafíos de movilidad. Para validar y estimar mejor las tecnologías cooperativas ITS vehiculares, diversas pruebas de campo (FOT, *Field Operational Tests*) están llevándose a cabo dentro del 7º Programa Marco. Aunque las pruebas FOTs proporcionarán valiosa información sobre el impacto y adopción de las nuevas tecnologías ITS instaladas en los vehículos, su duración limitada y la consideración de un máximo de 3000 vehículos no permiten directamente extraer conclusiones sobre el efecto de los sistemas cooperativos en escenarios a gran escala. Dicha estimación es necesaria para desarrollar soluciones cooperativas de gestión de tráfico, dado que las decisiones de tráfico adoptadas en una

determinada zona pueden afectar a las condiciones de tráfico en calles adyacentes. Para superar esta limitación y evaluar de forma precisa los beneficios de las tecnologías cooperativas ITS vehiculares, el proyecto europeo iTETRIS (*an Integrated Wireless and Traffic Platform for Real-Time Road Traffic Management Solutions*, <http://TIC-itetris.eu/>) pretende implementar una plataforma integrada de simulación de tráfico y comunicaciones inalámbricas que permitirá evaluar y optimizar las comunicaciones V2V y V2I, y las estrategias cooperativas de gestión de tráfico en escenarios de tráfico a gran escala. Con este propósito, iTETRIS hace frente a los siguientes aspectos:

- **Plataforma estandarizada integrada de simulación de tráfico y comunicaciones inalámbricas.** El proyecto trabaja en el desarrollo de una plataforma de código abierto que integrando capacidades de emulación de tráfico y comunicaciones inalámbricas permitirá estimar de forma precisa el impacto de las tecnologías de comunicación cooperativas en la gestión del tráfico.
- **Pruebas a gran escala.** Para superar las limitaciones a gran escala de los actuales trabajos de investigación sobre gestión del tráfico y comunicaciones cooperativas, iTETRIS modela escenarios a gran escala mediante una avanzada base de datos y un potente sistema de monitorización del tráfico disponible en la ciudad italiana de Bolonia.
- **Protocolos de enrutamiento y comunicaciones V2V y V2I.** La existencia de una plataforma integrada de simulación de tráfico y comunicaciones inalámbricas, realista y a gran escala, permitirá analizar y optimizar protocolos de enrutamiento y protocolos de comunicación V2V y V2I novedosos, fiables y contextualmente dinámicos. Estos incluyen políticas de enrutamiento *geocast* y de diseminación de la información, así como estrategias para integrar de forma óptima las comunicaciones V2V y V2I.
- **Políticas cooperativas avanzadas de gestión de tráfico.** La capacidad de intercambiar dinámicamente información entre vehículos y entre vehículos e infraestructura permitirá desarrollar, evaluar y optimizar políticas cooperativas de gestión de tráfico novedosas diseñadas para reducir la congestión del tráfico y los tiempos de viaje, introduciendo para ello el enrutamiento dinámico de los vehículos y mejorando la detección de los flujos del tráfico.

2 ARQUITECTURA ITS EUROPEA DE COMUNICACIONES

Con tal de garantizar la alineación de la plataforma iTETRIS con los esfuerzos de estandarización internacionales en sistemas cooperativos ITS vehiculares, la plataforma está desarrollada siguiendo la recientemente publicada arquitectura ITS europea de comunicaciones [4]. Esta arquitectura, mostrada en la Figura 1, ha sido desarrollada por el proyecto europeo COMeSafety, como esfuerzo conjunto con los proyectos COOPERS, CVIS and SAFESPOT, el Car2Car Communication Consortium, ETSI, IETF y ISO, y también con información de IEEE y SAE. La arquitectura propuesta considera tres subsistemas diferentes (vehículo, infraestructura de carretera y centro de gestión de tráfico) que están comunicados a través de un amplio rango de medios de comunicación por cable e inalámbricos. Es importante destacar que dicha arquitectura tiene muchas similitudes con la arquitectura CALM desarrollada por ISO TC 204 WG16. En particular, la nueva arquitectura mantiene el objetivo de CALM de permitir comunicaciones transparentes sobre múltiples tecnologías de comunicación.

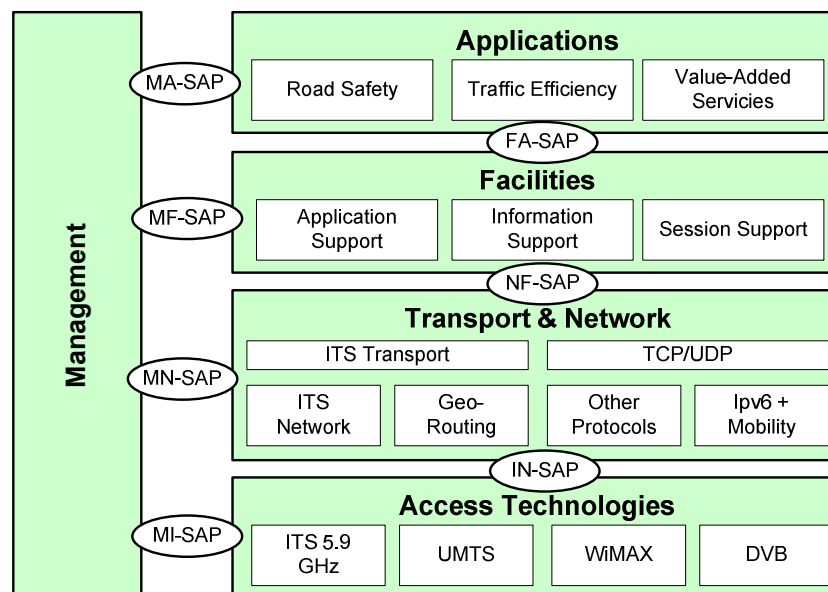


Figura 1. Arquitectura ITS Europea de Comunicaciones.

2.1 Access Technologies

Como ilustra la Figura 1, la arquitectura ITS europea de comunicaciones considera un conjunto de tecnologías de comunicación de corto, medio y largo alcance, así como, comunicaciones *ad-hoc* e infraestructura. La arquitectura también incluye algoritmos de

selección de la tecnología de comunicación más apropiada en cada momento y lugar; el desarrollo de tales algoritmos es parte de los objetivos de iTETRIS.

2.2 Networking and Transport

La arquitectura ITS europea de comunicaciones considera IPv6 para las funcionalidades de enrutamiento y transporte, con nuevas mejoras de movilidad de los grupos NEMO y NONAMI de IETF. Dado que muchas de las aplicaciones estarán geo-referenciadas, un bloque funcional *geo-routing* ha sido específicamente diseñado. También, un bloque *ITS Network* está siendo diseñado para agrupar distintas funciones ITS, en particular, aquellas necesarias para la operación de la interfaz radio 5.9 GHz (p.e. gestión de las transmisiones *broadcast* y *multicast*, y el desarrollo de políticas eficientes de control de la congestión). En términos de protocolos de transporte, la arquitectura propuesta considera TCP/UDP y un bloque ITS de transporte que está siendo definido para garantizar la integridad de las transferencias de datos en entornos de movilidad elevada. La arquitectura también considera el desarrollo de algoritmos de handover entre estaciones de comunicación, y mas interesante, handovers verticales entre sistemas heterogéneos en base a los requerimientos de las aplicaciones, la carga del sistema y la cobertura.

2.3 Facilities

El bloque *Facilities* está encargado de las funcionalidades de los servicios de aplicación, información y sesión. El servicio de aplicación está referido a funcionalidades como la descarga e inicialización de nuevos servicios, el descubrimiento automático de servicios y capacidades IHM (Interfaz Hombre-Máquina). El servicio de información es responsable de la gestión de los datos, considerando que los datos a menudo estarán referenciados geográficamente. Por otra parte, es importante mencionar que la información intercambiada tendrá una validez temporal, lo cual requiere que la información sea validada con tal de que los usuarios puedan confiar en su contenido. El servicio de sesión gestiona la creación y mantenimiento de los enlaces entre nodos, con diferentes implementaciones dependiendo de las aplicaciones y su prioridad.

2.4 Management

Las funcionalidades del bloque *Management* incluyen: la selección de la mejor interfaz por aplicación, la monitorización y gestión de la interfaz de comunicación seleccionada, la gestión de las funciones de seguridad y privacidad basadas en la aplicación y en la

tecnología de comunicación V2I empleada, la gestión de los permisos y prioridades de transmisión, y la gestión de la política usada para configurar y mantener todas las funcionalidades lógicas en un nodo determinado. Es conveniente destacar que los requerimientos, y consecuentemente las funcionalidades de gestión y su operación, variarán en base a las necesidades de las aplicaciones. Esto principalmente afecta a la gestión de las aplicaciones de seguridad vial que generalmente requieren bajas latencias y comunicaciones libres de interferencias.

2.5 Applications

Actualmente la arquitectura ITS europea considera aplicaciones de eficiencia de tráfico, seguridad vial y servicios de valor añadido. Aunque los objetivos de iTETRIS están principalmente focalizados en aplicaciones de eficiencia de tráfico, la plataforma puede emplearse también para evaluar y optimizar otras aplicaciones. Las aplicaciones de eficiencia de tráfico de interés incluyen: señales de tráfico electrónicas adaptativas, navegación y recomendación de ruta, optimización de los flujos de tráfico, y aplicaciones de gestión de flotas y mercancías

3 PLATAFORMA DE SIMULACIÓN iTETRIS

iTETRIS tiene como objetivo cubrir las carencias existentes en el área de investigación y desarrollo de la gestión de tráfico basada en sistemas ITS cooperativos a través de la implementación de una plataforma integrada de simulación de tráfico y comunicaciones inalámbricas a gran escala. De hecho, iTETRIS pretende cubrir el vacío existente actualmente en los estudios teóricos *test-bed* de tamaño medio-alto y precisión de modelado media, y las pruebas FOTs de tamaño medio-bajo y gran precisión de modelado. En este contexto, la plataforma iTETRIS está diseñada para poder evaluar de forma precisa los beneficios potenciales de los sistemas ITS cooperativos vehiculares para mejorar la gestión del tráfico en condiciones realistas y escenarios a gran escala, y proporcionar indicaciones de cómo deben configurarse y emplearse los sistemas cooperativos ITS noveles para maximizar su potencial. Para alcanzar estos objetivos, iTETRIS integra, tal y como muestra la Figura 2, dos plataformas ampliamente utilizadas por la comunidad científica, SUMO (<http://sumo.sourceforge.net/>) y ns-3 (<http://www.nsnam.org/>). El software de integración está siendo diseñado para reducir los costes computacionales y teniendo en cuenta la escalabilidad de las simulaciones a gran escala de alta precisión.

SUMO es una plataforma de simulación microscópica de código abierto desarrollada por el laboratorio alemán DLR que emula el movimiento del tráfico de forma continua en espacio y discreta en tiempo. iTETRIS extenderá SUMO incorporando diversos aspectos como el modelado del consumo de carburante y la polución medioambiental. Para modelar de forma realista escenarios de tráfico a gran escala, los investigadores de iTETRIS están trabajando actualmente en la caracterización y parametrización de los flujos de tráfico en escenarios a gran escala en la ciudad de Bolonia, y así poder reproducir e incorporar dichos escenarios en SUMO.

iTETRIS decidió adoptar la nueva plataforma de simulación de comunicaciones inalámbricas ns-3, después de analizar las capacidades de modelado y futura perspectivas de los simuladores de comunicaciones inalámbricas de código abierto ns-3, ns-2 y OMNeT++. El análisis fue llevado a cabo en base al estado de desarrollo actual de los simuladores (incluyendo la disponibilidad de tecnologías radio y protocolos de comunicación), sus capacidades para realizar simulaciones a gran escala y teniendo en cuenta si la estructura del simulador permite nodos con múltiples radios/tecnologías.

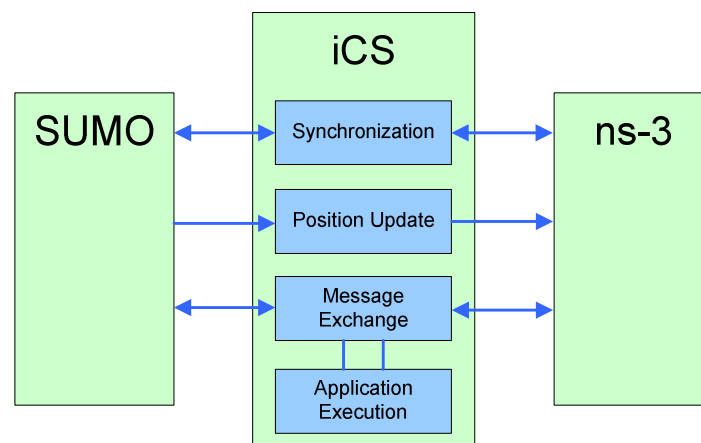


Figura 2. Plataforma integrada de simulación iTETRIS.

En la plataforma iTETRIS, tal y como puede apreciarse en la Figura 2, el sistema de control (iCS, *iTETRIS Control System*) implementa y alberga el conjunto de aplicaciones de eficiencia de tráfico. Muchas de estas aplicaciones monitorizan las condiciones de tráfico a través de la información obtenida de SUMO y ns-3, y consecuentemente aplican de forma centralizada o distribuida estrategias cooperativas de gestión de tráfico para mejorar las condiciones de tráfico. El bloque iCS también es responsable de la sincronización de toda la plataforma iTETRIS.

3.1 Tecnologías de Comunicación iTETRIS

iTETRIS tiene como principal objetivo evaluar el potencial de las comunicaciones V2V y V2I para la gestión del tráfico en escenarios con múltiples tecnologías de comunicación. En este contexto, la plataforma iTETRIS implementa las siguientes tecnologías de comunicación:

- **ITS 5.9 GHz europeo.** Esta tecnología está basada en los estándares IEEE 802.11p y IEEE 1609, que están centrados en la especificación de comunicaciones V2V y V2I de baja latencia. Dicha tecnología es particularmente apropiada para aplicaciones de seguridad vial, aunque también puede emplearse en aplicaciones de gestión del tráfico. Sin embargo, al basarse en el mecanismo de acceso al medio CSMA, es necesario el desarrollo de adecuadas técnicas de control de la congestión y gestión multi-canal. Hasta la fecha, en Europa se ha reservado 30MHz del espectro (5875-5905 MHz) para los sistemas ITS en la banda de 5.9GHz. Se ha propuesto dividir dicha porción del espectro en tres canales de 10MHz, uno destinado a operar como canal de control y los otros dos como canales de servicio. El canal de control será el canal en el que todos los vehículos y elementos de infraestructura de comunicación anunciarán periódicamente su presencia y ofrecerán sus servicios. El primer canal de servicio será el principal canal para mensajes de eficiencia de tráfico y seguridad vial, mientras que el segundo canal será empleado para transmisiones a baja potencia y distancias de comunicación reducidas. Hasta ahora, se ha propuesto asignar automáticamente los canales de acuerdo a la clase de aplicación y la prioridad de los mensajes. Sin embargo, las capacidades de comunicación multi-canal y multi-radio de la plataforma iTETRIS permitirán evaluar estrategias de gestión de canal más avanzadas destinadas a reducir la congestión del canal y distribuir eficientemente las comunicaciones a través de los distintos canales y tecnologías.
- **UMTS** es un sistema celular con moderada latencia de comunicación que puede ofrecer distintas tasas de transmisión y niveles de calidad de servicio. Una de las ventajas más notables de UMTS para las aplicaciones de gestión del tráfico es que actualmente proporciona una buena cobertura en toda Europa, que probablemente mejorará en los próximos años.
- **WiMAX** es otra tecnología inalámbrica basada en infraestructura que puede ofrecer comunicaciones de media y larga distancia con latencia moderada. La tecnología ha sido desarrollada para ofrecer comunicaciones con alta tasa de

transmisión, con soporte completo para movilidad con el nuevo estándar Mobile WiMAX. Conviene también destacar que el estándar WiMAX permite el despliegue en la banda sin licencia de 5 GHz, ofreciendo a las agencias de gestión de tráfico la posibilidad de desplegar sus propios sistemas de “tipo celular” a lo largo de la red de carreteras.

- iTETRIS también incluye tecnologías *broadcast*, en particular el estándar **DVB**, que posibilitan la transmisión simultánea y eficiente de mensajes de gestión del tráfico a múltiples vehículos en áreas de gran extensión.

4 APLICACIONES DE GESTIÓN DE TRÁFICO COOPERATIVAS

El intercambio dinámico de mensajes entre vehículos y entre vehículos e infraestructura permitirá el desarrollo de nuevas aplicaciones de gestión de tráfico dinámicas e inteligentes destinadas a reducir la congestión de tráfico, los tiempos de viaje y la polución medioambiental. Adicionalmente, la introducción de tecnologías ITS en los vehículos convertirá a estos en sensores activos móviles que podrán incrementar la precisión de las soluciones actuales de estimación de las condiciones de tráfico, por ejemplo los detectores inductivos de tráfico. En este contexto, iTETRIS inicialmente trabaja en las siguientes aplicaciones de gestión de tráfico cooperativas:

- **Estimación de las condiciones del tráfico.** Las comunicaciones V2I pueden complementar las soluciones actuales de detección de flujo de tráfico, proporcionando por ejemplo información más detallada del ratio de giro de los vehículos en las intersecciones. Una mejor estimación del tráfico permitirá incrementar la capacidad de las intersecciones ajustando de forma óptima las fases de los semáforos. Además, la información recibida a través de las comunicaciones vehiculares cooperativas podría también ayudar a identificar detectores de tráfico en mal estado. Finalmente, la capacidad de los vehículos para comunicarse dinámicamente entre sí e intercambiar información de su posición y movimiento, podría también proporcionar medios alternativos de detección de las condiciones actuales de tráfico sin la necesidad de desplegar detectores de tráfico adicionales como cámaras de video o detectores inductivos. Esta última capacidad de las comunicaciones vehiculares puede observarse en la Figura 3, que muestra un escenario en el que la información de tráfico es intercambiada de forma cooperativa a través del empleo de distintas tecnologías.

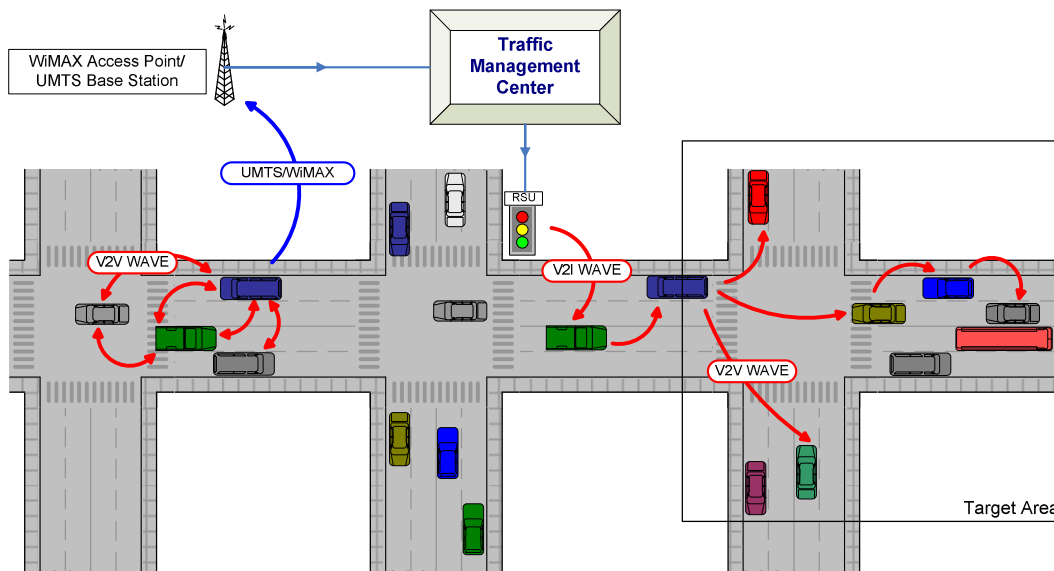


Figura 3. Escenario cooperativo de comunicaciones vehiculares.

- Optimización del flujo y re-enrutamiento de tráfico.** El empleo de las comunicaciones V2X cooperativas permite también el re-enrutamiento del tráfico en base a los niveles actuales de congestión. La distribución de rutas alternativas a los conductores puede conseguirse a través de las comunicaciones V2I o directamente mediante protocolos de enrutamiento *geocast* usando comunicaciones V2V cuando en la zona no haya desplegada infraestructura de comunicación; esto último es ilustrado en el ejemplo de la Figura 3, en el que los vehículos que circulan dentro de la región *Target Area* son informados del estado actual del tráfico mediante comunicaciones V2V *geocast*. Además, y a diferencia de los paneles de señalización variable, el uso de comunicaciones V2I posibilita el envío de rutas alternativas a un grupo específico de vehículos, por ejemplo a los vehículos menos contaminantes.

5 CASO DE ESTUDIO: CIUDAD DE BOLONIA

Para desarrollar y evaluar las comunicaciones vehiculares cooperativas y las aplicaciones de gestión del tráfico, la ciudad italiana de Bolonia fue elegida como caso de estudio para iTETRIS, dado su tamaño medio, sus problemas de tráfico y las posibilidades que ofrece para el empleo de tecnologías ITS para mejorar la gestión del tráfico. En este contexto, se espera que las tecnologías ITS cooperativas mejoren las estimaciones de las condiciones

del tráfico y permitan una gestión del tráfico más dinámica resultando en una reducción de los niveles de congestión y un tráfico más fluido. Para alcanzar este objetivo, varios escenarios de tráfico están siendo caracterizados y parametrizados a través de la base de datos de tráfico de Bolonia para su precisa reproducción en la plataforma iTETRIS. Dicha reproducción permitirá analizar y optimizar el impacto de las comunicaciones vehiculares cooperativas en la gestión del tráfico. Hasta la fecha, los escenarios de tráfico seleccionados [5] incluyen grandes eventos en el centro de la ciudad (como partidos de fútbol), calles principales del centro de la ciudad con importante utilización de transporte público, un anillo de circunvalación que bordea todo el centro urbano y una carretera secundaria interconectada que transcurre en paralelo a la autopista, permitiendo el desvío del tráfico de una vía a otra.

Como ejemplo, la Figura 4 muestra el anillo de circunvalación que traza una línea entre el centro de Bolonia y el resto de la ciudad, y representa la principal carretera que cruza la ciudad debido a las restricciones de tráfico del centro de Bolonia. La figura ilustra un escenario en el que en las principales intersecciones hay instalado un elemento de infraestructura de comunicación (RSU, *Road Side Units*). Los RSUs recogen información de tráfico transmitida por los vehículos cercanos. Cada RSU es capaz de transmitir/recibir mensajes de información de tráfico a/de los vehículos y también enviar esta información al centro cooperativo de gestión de tráfico (CTMC, *Cooperative Traffic Management Center*). Dicha información (p.e. velocidad, aceleración, dirección y posición del vehículo) puede ser recopilada a través de cualquier tecnología de comunicación V2I considerando las características previamente descritas. A través de la información de tráfico proporcionada por los RSUs, el CTMC dispone de un conocimiento actualizado y preciso de las condiciones actuales del tráfico en diferentes localizaciones a lo largo del anillo de circunvalación. En consecuencia, cuando el CTMC detecte una congestión de tráfico, por ejemplo en el área de RSU2, podría recomendar a los vehículos cercanos a RSU1 que tomen rutas alternativas hacia RSU3 (línea de puntos en la figura) con tal de descongestionar el anillo de circunvalación. Es importante destacar que las capacidades de las comunicaciones V2I permiten la transmisión de información de tráfico de forma individualizada para cada vehículo, a diferencia de las soluciones convencionales de los paneles de señalización variable. A través del empleo de las comunicaciones V2I podría autorizarse solamente a los vehículos menos contaminantes (p.e. vehículos eléctricos) a cruzar el centro de la ciudad para evitar la congestión en el anillo de circunvalación.

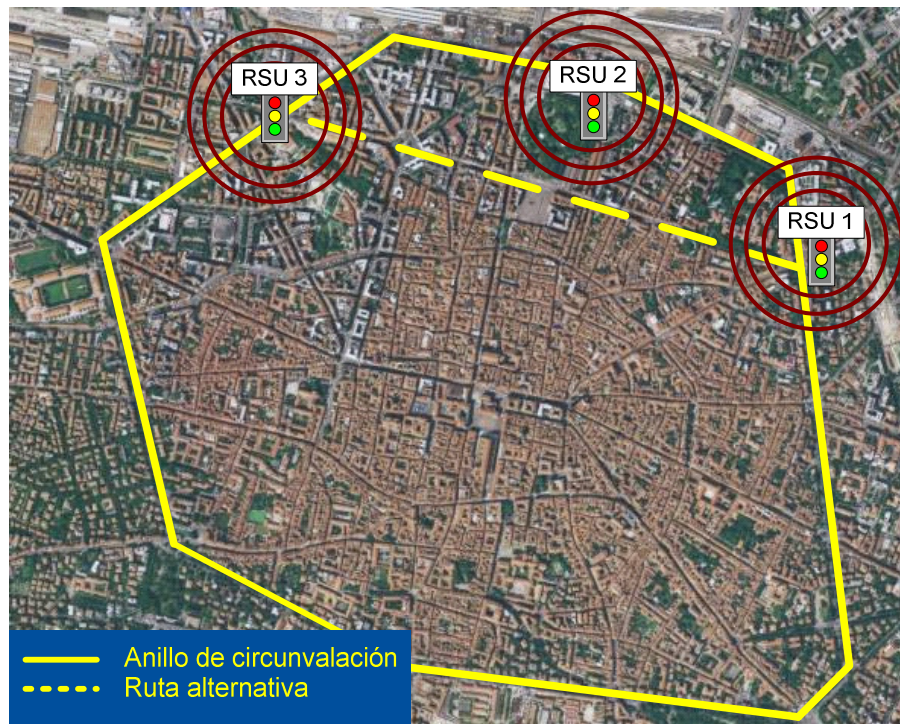


Figura 4. Anillo de circunvalación de la ciudad de Bolonia.

Con el objetivo principal de demostrar el impacto de los sistemas vehiculares cooperativos en la gestión del tráfico, iTETRIS está definiendo una serie de casos de uso que permitan evaluar las capacidades de las comunicaciones V2X en distintos escenarios de la ciudad de Bolonia. La siguiente tabla presenta una descripción preliminar de los casos de uso que serán considerados en iTETRIS.

	Caso de Uso	Descripción
Estimación de las condiciones de tráfico	UC1 Detección de congestión de tráfico	UC1 pretende detectar situaciones de congestión de tráfico de forma distribuida, es decir, sin emplear elementos de infraestructura de comunicación, p.e. RSUs. Mediante el intercambio periódico de mensajes entre vehículos, cada vehículo tendrá un conocimiento preciso de su entorno. Empleando algoritmos específicos de detección de congestiones, podrán identificarse situaciones de tráfico denso. En otros casos de uso se analizarán estrategias para mejorar el tráfico.
	UC2 Estimación de tiempos de tránsito	El objetivo de UC2 es estimar de forma centralizada los tiempos de tránsito medio para cada calle o segmento del escenario, proporcionando al centro de gestión del tráfico información actualizada del estado actual del tráfico. Dicha información será recopilada por las distintas RSUs desplegadas en el escenario a través de comunicaciones V2I y será enviada al centro de gestión del tráfico.

Estrategias de gestión de tráfico	UC3 Gestión de carriles de transporte público	Las comunicaciones V2I permitirán en UC3 detectar de forma centralizada situaciones de tráfico denso y autorizar de forma temporal a los vehículos la utilización de los carriles destinados al transporte público, p.e. carril bus.
	UC4 Acceso restringido a vehículos prioritarios	UC4 tiene como objetivo evaluar estrategias de permiso de utilización de calles del centro urbano a vehículos con alto número de pasajeros o a los vehículos menos contaminantes como pueden ser los vehículos eléctricos.
	UC5 Recomendación de rutas óptimas	UC5 constituye uno de los casos de uso que están destinados a demostrar el impacto directo de las comunicaciones vehiculares en la mejora de eficiencia de tráfico. UC5 contempla distintas estrategias de enrutamiento de vehículos por rutas óptimas: a) Los vehículos solicitan al centro de gestión de tráfico la mejor ruta hacia su destino. El centro de gestión de tráfico proporciona a cada vehículo la ruta óptima de forma personalizada. b) El centro de gestión de tráfico, en base a las condiciones actuales del tráfico, solicita a los vehículos de una determina región geográfica que modifiquen su ruta con tal de optimizar los flujos de tráfico. c) En función de la información recopilada mediante comunicaciones V2V y I2V, cada vehículo decide de forma distribuida que ruta seguir para alcanzar su destino.
	UC6 Información de límite de velocidad máximo y adaptación dinámica de semáforos	UC6 contempla estrategias de gestión de intersecciones reguladas por semáforos. En una primera aproximación, mediante comunicaciones I2V los vehículos reciben información para poder calcular la velocidad óptima a la que deben circular para encontrar el semáforo en color verde. Como mejora a evaluar, se estudiarán algoritmos de adaptación dinámica de los semáforos en base a las condiciones actuales del tráfico detectadas mediante comunicaciones V2I.
	UC7 Priorización de vehículos de emergencia	Las comunicaciones V2I permitirán en UC7 informar a las RSUs emplazadas en las intersecciones de la aproximación de un vehículo de emergencia. Los semáforos cambiarán sus fases con tal de dar prioridad al vehículo de emergencia. En intersecciones no reguladas por semáforos, las comunicaciones V2V permitirán al vehículo de emergencia informar a los vehículos cercanos y solicitarles que cedan el paso cuando se aproximen a la intersección.

Tabla 1. Casos de uso iTETRIS.

6 CONCLUSIONES

Este artículo ha presentado el proyecto europeo iTETRIS destinado a analizar el potencial de las tecnologías vehiculares cooperativas para mejorar la gestión del tráfico mediante comunicaciones V2V y V2I, y políticas de gestión de tráfico cooperativas. Para alcanzar este

objetivo, iTETRIS trabaja en la implementación de una plataforma integrada de simulación de tráfico y comunicaciones inalámbricas que permitirá la emulación de escenarios de tráfico a gran escala usando la ciudad de Bolonia como caso de estudio.

Este artículo ha presentado la arquitectura iTETRIS, sus capacidades de comunicación inalámbrica, las plataformas de simulación elegidas, y ejemplos de posibles políticas de gestión de tráfico cooperativas que podrían aplicarse en la ciudad de Bolonia. Es importante enfatizar que iTETRIS permitirá emular simultáneamente diversas tecnologías de comunicación V2V y V2I (WAVE, UMTS, WiMAX y DVB). Una vez esté completamente implementada, la plataforma iTETRIS será empleada para investigar los protocolos de comunicaciones vehiculares, incluyendo diseminación de la información y *geo-routing*, además de estudiar estrategias óptimas que combinen las capacidades de comunicación V2V y V2I.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Comisión Europea a través del proyecto FP7 TIC iTETRIS: An Integrated Wireless and Traffic Platform for Real-Time Road Traffic Management Solutions (No. FP7 224644). Los autores desean agradecer a la Comisión el apoyo recibido.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Transport and the economy: full report (SACTRA), Department for Transport, UK Government.
- [2] On the Intelligent Car Initiative: Raising Awareness of ICT for Smarter, Safer and Cleaner Vehicles, Bruselas, Febrero 2006, COM(2006) 59 final.
- [3] Energy and Transport. Report 2000-2004, Directorate-General for Energy and Transport, European Commission, 2004.
- [4] European ITS Communication Architecture. v. 2.0, COMeSafety, Octubre 2008.
- [5] F. Cartolano, C. Michelacci, A. Pio Morra, D1.1 - Traffic management: scenarios, database and policies (draft), iTETRIS, Diciembre 2008.