

Computación Natural en Redes Vehiculares

Doctorando: Jamal Toutouh

Director: Enrique Alba

Lenguajes y Ciencias de la Computación

Universidad de Málaga, España

{eat,jamal}@lcc.uma.es

<http://neo.lcc.uma.es/>

Keywords: Metaheurísticas, Computación Natural, VANETs, *Smart Mobility*

1. Introducción

El continuo crecimiento de la población mundial y su concentración cada día más acusada en ciudades ponen en jaque la viabilidad del modelo de desarrollo urbano. La iniciativa mundial *Smart Cities* persigue mitigar este problema incrementando la calidad de vida de los ciudadanos, mejorando la eficiencia de los recursos, facilitando la participación ciudadana, y, en definitiva, garantizando el desarrollo sostenible de las mismas. Uno de los ejes fundamentales es la *Smart Mobility*, que trata de paliar los problemas ocasionados por la congestión de las carreteras permitiendo desplazamientos más seguros, cómodos y eficientes.

Los avances en las tecnologías de comunicación inalámbrica han permitido la aparición de las *Vehicular Ad hoc NETWORKS* (VANET) o redes vehiculares ad hoc [1]. Las VANETs son redes descentralizadas que proveen de una plataforma para el diálogo de vehículos entre sí (*vehicle-to-vehicle* -V2V-) y con los elementos de la infraestructura vial (*vehicle-to-infrastructure* -V2I-) como semáforos, señales de tráfico, etc. Así, los vehículos pueden recibir, procesar y difundir información actualizada sobre distintos aspectos del tráfico (ver Figura 1).



Figura 1. Escenario VANET: Difusión de mensaje de precaución.

Numerosas iniciativas para el estudio y desarrollo de VANETs como *roadME*, *CAR-2-CAR Communication Consortium* y *EUREKA-CELTIC CARLINK* han sido impulsadas por los gobiernos y por la industria, apareciendo nuevas soluciones en el campo de los SIT (Sistemas Inteligentes de Transporte) [1] y la *Smart Mobility*. Fruto de estas iniciativas ha sido el diseño de servicios orientados a la prevención de accidentes, a la mejora de la eficiencia (tiempos de desplazamiento, emisiones de CO_2 , etc.) e incluso al entretenimiento de los pasajeros.

El estándar IEEE 802.11p, basado en comunicaciones directas de corto alcance (DSRC), se ha definido expresamente para el acceso al medio inalámbrico en entornos vehiculares (WAVE) [1]. La limitada cobertura del estándar IEEE 802.11p y la alta movilidad de los nodos provoca que los enlaces que se crean durante la comunicación tengan un tiempo de vida muy limitado, lo que complica de forma crítica el correcto intercambio de paquetes (frecuentes cambios de topología y fragmentación de la red). Así, el **encaminamiento** (*routing*) eficiente de paquetes en redes vehiculares es una tarea altamente compleja [2].

Además, las VANETs requieren de un servicio de **difusión** (*broadcasting*) de mensajes para el descubrimiento de nodos cercanos y el envío de información. Sin embargo, en situaciones de tráfico denso (número elevado de conexiones), aparece el problema de tormenta por difusión, congestionándose la red [3].

Cabe destacar la importancia de disponer de una plataforma física para el despliegue de VANETs, es decir, de una **infraestructura** compuesta por nodos fijos (estaciones base) empleados para comunicar nodos móviles con redes estáticas (Internet) y con otros nodos móviles que estén fuera del alcance directo.

La alta volatilidad y el gran dinamismo de las redes vehiculares limita la aplicación directa de protocolos de encaminamiento y difusión ya empleados en otras redes móviles ad-hoc (MANETs) en las comunicaciones V2V, apareciendo diversas líneas de trabajo para el diseño de protocolos específicos [2]. La hipótesis principal que se baraja en esta tesis es que el diseño de protocolos para VANETs se puede plantear como un problema de optimización del rendimiento de la red en el que, por ejemplo, se maximiza la cobertura y la tasa de paquetes enviados y se minimizan los tiempos de entrega. Para la resolución de dicho problema se van a emplear técnicas **metaheurísticas** y de **Computación Natural (CN)** [4], que han demostrado ser eficaces en la resolución de problemas de optimización complejos de diversa naturaleza [5]. Así, el objetivo de este trabajo es el de abrir una línea de investigación en la aplicación de algoritmos como GA, PSO y DE, entre otros, al diseño de protocolos V2V eficientes para VANETs.

Por otro lado, la dificultad del diseño de la infraestructura para proveer de comunicación V2I consiste en la localización óptima de las estaciones base y la selección de sus componentes hardware y software que se usarán. Con ello se persigue reducir los costes de implantación (económicos, sociales y medioambientales), maximizando la cobertura y la robustez de la red. Para abordar el diseño de la infraestructura también se van a emplear técnicas CN como GA, SA y CHC, puesto que ya han demostrado su potencia en el diseño de la infraestructura de tipos de redes similares. Así, el objetivo es ofrecer una metodología basada en CN para abordar el diseño de infraestructuras para VANETs.

La tesis aportará avances en el campo de las VANETs que apoyarán la aparición de nuevos servicios que mejorarán el entorno urbano. Sin embargo, su desarrollo presenta varios desafíos, tales como: ampliar el estado del arte en CN con nuevas técnicas específicas aplicables en el ámbito de las VANETs, seleccionar paradigmas de inteligencia colectiva para inspirar nuevas estrategias de transmisión de paquetes V2V e identificar las estaciones base más adecuadas para proporcionar V2I, que representan líneas de trabajo novedoso y apasionante.

2. Hipótesis de Trabajo

La hipótesis de trabajo consiste en demostrar que los algoritmos de CN ofrecen una herramienta potente para la resolución de los problemas de diseño de VANETs presentados anteriormente. Así, se plantean tres ejes básicos:

- **Optimización *off-line*:** Uso de técnicas CN para la configuración eficiente de parámetros de protocolos de difusión y encaminamiento que ya se emplean en MANETs previamente a su despliegue en VANETs [6,7,8].
- **Optimización *on-line*:** Como las VANETs operan de forma distribuida, se plantea la utilización de estrategias CN basadas en inteligencia colectiva [9] (ACO, PSO, BCO, etc.) para el diseño de nuevos protocolos.
- **Diseño eficiente de la infraestructura:** Partiendo de la literatura sobre el uso de técnicas CN (GAs, SA, CHC, ...) en el despliegue de redes celulares y redes de sensores [10], se definen estrategias específicas para VANETs.

3. Objetivos

El objetivo troncal de esta tesis consiste en analizar, implementar y evaluar las soluciones propuestas a los problemas de diseño de protocolos e infraestructura en VANETs. Este objetivo consta a su vez de los siguientes sub-objetivos:

- O.1 Estudiar en profundidad el estado del arte sobre los problemas que se tratan para identificar las debilidades que luego abordarán nuestras aportaciones.
- O.2 Analizar las técnicas de CN en el estado del arte actual, para seleccionar aquellas que mejor se adaptan a los problemas que se tratan en la tesis.
- O.3 Definir una metodología que se seguirá en el uso de CN para optimizar protocolos empleados en MANETs para desplegarlos después en entornos vehiculares.
- O.4 Analizar diferentes paradigmas de inteligencia colectiva usados en CN para su empleo en el desarrollo de protocolos específicos para VANETs.
- O.5 Diseñar infraestructuras eficientes para desplegar VANETs en escenarios geográficos reales, como por ejemplo Málaga, aplicando técnicas de CN.
- O.6 Evaluar nuestras propuestas empleando la simulación como herramienta fundamental, incluyendo la validación mediante pruebas de concepto con equipamiento real (vehículos, *tablet PCs*, *smartphones*, ...) y comunicaciones reales.

4. Metodología y plan de trabajo

Para garantizar un desarrollo de la tesis riguroso y bien definido, la metodología se ha basado en las fases del **Método Científico**. En esta sección se presentan dichas fases y se precisan las actividades que se van a llevar a cabo:

■ Observación

- F.1 Estudio del estado del arte en CN, precisando (aunque no de forma excluyente) en las metaheurísticas aplicadas a problemas de comunicaciones, tales como, PSO, DE o GA.
- F.2 Análisis de protocolos de encaminamiento y difusión probados en VANETs (AODV, OLSR, DSDV, ...) para identificar sus fortalezas y debilidades.
- F.3 Implementación de modelos basados en datos reales (mapas de carreteras, comportamiento de conductores, comunicaciones, ...) para su empleo en tareas de simulación realista de redes vehiculares usando ns-2 y ns-3 [11].

■ Inducción

- F.4 Estudio de las métricas empleadas en telecomunicaciones como la tasa o el tiempo de envío de paquetes y el tamaño de las rutas empleadas, para la definición de experimentos adecuados de evaluación de las soluciones (protocolos y diseño de VANETs) obtenidas por los algoritmos CN.
- F.5 Análisis de distintos operadores CN para diseñar nuevos algoritmos mejor adaptados a los problemas que se abordan en la tesis.

■ Hipótesis

- F.6 Obtención de protocolos eficientes para VANETs aplicando CN para optimizar protocolos empleados en MANETs.
- F.7 Desarrollo de nuevas estrategias de comunicación V2V (encaminamiento y difusión de paquetes) empleando paradigmas de inteligencia colectiva.
- F.8 Diseño de la infraestructura (localización y componentes de las estaciones base) que soportan la comunicación V2I usando CN.

■ Experimentación

- F.9 Análisis experimental y validación estadística tanto de los algoritmos CN propuestos como de las soluciones desarrolladas (mediante pruebas en laboratorio y en entornos reales de los protocolos y de infraestructura).
- F.10 Establecimiento de objetivos evaluables (métricas y experimentos) que permitan la comparación de las soluciones propuestas con aquellas existentes, permitiendo a las primeras ser incluidas en el estado del arte.
- F.11 Definición de prototipos y de posibles aplicaciones finales en el ámbito de la *Smart Mobility* (avisos de maniobras peligrosas por parte de un vehículo, establecimiento de las rutas eficientes en función del tráfico actual, etc.), para su final aprovechamientos social y económico.

■ Tesis/Conclusiones

- F.12 Verificación cuidadosa de las conclusiones y análisis global del resultado de la tesis desde el punto de vista científico, tecnológico, social y económico.
- F.13 Publicación en artículos científicos de los avances en conferencias (*CEC*, *GECCO*, *MSWIM*, ...) y revistas (*Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, ...) de impacto.

- F.14 Visitas a centros de investigación en el ámbito de la inteligencia artificial y las comunicaciones como *SnT* (Luxemburgo) y *CENTRIA* (Finlandia).
- F.15 Promoción de relaciones con instituciones públicas (Ministerio de Economía y Competitividad, Consejería de Obras Públicas y Transportes de Andalucía, ayuntamientos, ...) e industria (Grupo ETRA, Telvent, *Samsung*, ...) con el fin de establecer entornos de colaboración y transferencia.
- F.16 Implementación de aplicaciones VANET para su despliegue en dispositivos móviles y vehículos.
- F.17 Estudio de la posibilidad de desarrollar los aportes en forma de patentes.
- F.18 Diseño de un portal Web que permita el acceso al material desarrollado durante el trabajo (resultados, software desarrollado y documentación).
- F.19 Divulgación global de los avances para un mayor impacto social, a través de la participación eventos y medios de comunicación no especializados.

El trabajo se realizará desde el grupo de investigación NEO (*Networking and Emerging Optimization*) perteneciente a la Universidad de Málaga. Dicho grupo dispone de varios *cluster* de nodos multi-núcleo conectados por redes Gigabit, que se emplearán en la ejecución de los algoritmos de optimización CN y la simulación de los resultados en VANETs. Se tendrá acceso a diferentes tipos de dispositivos móviles con capacidad de comunicación inalámbrica (ordenadores portátiles, *smartphones*, *tablet PCs*, etc.) para la realización de pruebas reales de concepto. La colaboración con expertos con amplia experiencia en el ámbito de la optimización, como lo son los compañeros del grupo y visitantes de otros centros, permitirá abordar los problemas que se tratan con una elevada garantía finalización satisfactoria. A su vez, la visita a otros centros de investigación ampliará los horizontes de la tesis con otros enfoques diferentes al nuestro.

Por último cabe destacar que el candidato¹ ya ha realizado trabajos relacionados con la tesis (aplicación de CN al diseño de protocolos e infraestructura en VANETs), publicando resultados en **tres revistas** indexadas *ISI* [6,7,8] y en **10 congresos** internacionales. Estos trabajos se han realizado en el contexto de **tres proyectos** (**EUREKA-CELTIC CARLINK**, **DIRICOM** y **roadMe**) en los que ha participado el candidato y bajo la posesión de una beca **FPU**.

5. Relevancia

La potencia de las técnicas metaheurísticas y de CN tratando problemas complejos ha intensificado el interés sobre las mismas desde el mundo académico y la industria, puesto que ven en ellas una herramienta útil para obtener resultados eficientes tanto a problemas reales como académicos. Así, el desarrollo de nuevas técnicas de CN y el análisis de su rendimiento marcan unas líneas de investigación importantes en la actualidad. Aplicar CN en el diseño software y hardware de VANETs hace de esta tesis un tema novedoso y de interés por la aplicabilidad final de dicho tipo de redes.

¹ Jamal Toutouh - <http://www.jamal.es>

Desde una perspectiva científica, en este trabajo de investigación se van a definir nuevos problemas de optimización para poder afrontar el diseño eficiente de VANETs, que ofrecen la posibilidad de ser tratados de forma automática e inteligente por medio de técnicas metaheurísticas y CN. Además, se van a proponer nuevos algoritmos CN que van a enriquecer el estado del arte actual.

A nivel de aplicación real del resultado de esta tesis, cabe destacar la importancia de las VANETs para ofrecer servicios de *Smart Mobility* a la ciudadanía (traslados por carretera más eficientes, seguros y cómodos), de los que también se beneficiarán la industria y la administración. El resultado de esta tesis es de vital importancia porque propone diseños eficientes tanto a nivel software como hardware de la plataforma necesaria para implantar dichas redes de comunicación. Así mismo, se van a desarrollar distintos prototipos reales de aplicaciones que ofrecerán servicios para incrementar la seguridad vial o reducir la emisión CO_2 cuya aplicación al mundo real será prácticamente inmediata.

Agradecimientos

Universidad de Málaga. Campus de Excelencia Internacional Andalucía Tech. Este trabajo está parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) del Gobierno de España y fondos FEDER con el proyecto roadME con TIN2011-28194 (<http://roadme.lcc.uma.es>). Jamal Toutouh disfruta de una beca de código AP2010-3108 del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno Español.

Referencias

1. Hartenstein, H., Laberteaux, K.: VANET Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies. Intelligent Transport Systems. John Wiley & Sons, Upper Saddle River, NJ, USA (December 2009)
2. Lee, K.C., Lee, U., Gerla, M.: Survey of routing protocols in vehicular ad hoc networks. *Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks: Developments and Challenges*, IGI Global **21** (2009)
3. Wisitpongphan, N., Tonguz, O.K., Parikh, J., Mudalige, P., Bai, F., Sadekar, V.: Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks. *Wireless Communications, IEEE* **14**(6) (2007) 84–94
4. Blum, C., Roli, A.: Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Comput. Surv.* **35**(3) (September 2003) 268–308
5. Alba, E., Blum, C., Asasi, P., Leon, C., Gomez, J.: *Optimization Techniques for Solving Complex Problems*. Wiley Series on Parallel and Distributed Computing. Wiley (2009)
6. Toutouh, J., Garcia-Nieto, J., Alba, E.: Intelligent OLSR routing protocol optimization for VANETs. *Vehicular Technology, IEEE Trans. on* **61**(4) (2012) 1884–1894
7. Toutouh, J., Nasmachnow, S., Alba, E.: Fast energy-aware olsr routing in vanets by means of a parallel evolutionary algorithm. *Cluster Computing* (2012) 1–16
8. García-Nieto, J., Toutouh, J., Alba, E.: Automatic tuning of communication protocols for vehicular ad hoc networks using metaheuristics. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* **23**(5) (2010) 795–805

9. Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G.: Swarm intelligence: from natural to artificial systems. Oxford University Press, Inc., New York, NY, USA (1999)
10. Molina, G., Alba, E., Talbi, E.G.: Optimal sensor network layout using multi-objective metaheuristics. *J. of Univ. Computer Science* **14**(15) (2008) 2549–2565
11. Mccanne, S., Floyd, S., Fall, K.: Network simulator. <http://www.nsnam.org/wiki>