

RED HÍBRIDA VEHICULAR Y DE SENSORES: ESTADO DEL ARTE

HYBRID VEHICULAR AND SENSORS NETWORK: STATE OF ART

Carolina Tripp-Barba¹, Mónica Aguilar Igartua²

¹Facultad de Informática Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, México

²Departamento de Ingeniería Telemática, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), España
E-mail: ctrippp@uas.edu.mx, m.aguilar@entel.upc.edu

(Enviado Enero 04, 2013; Aceptado Febrero 19, 2013)

Resumen

En la actualidad las redes inalámbricas están protagonizando un gran auge y suponen un área de investigación que ha despertado un gran interés en la comunidad científica. Muchas aportaciones se han presentado en los últimos años, principalmente sobre redes Ad Hoc sin infraestructura fija, como son las WSN (Wireless Sensor Networks) y las VANET (Vehicular Ad Hoc Networks). La gran cantidad de vehículos en las carreteras ha propiciado incluir en las nuevas tecnologías de comunicaciones el compromiso de hacer el transporte en vehículos más seguro y confortable. Esta es una de las principales aplicaciones de las redes vehiculares, que con ayuda de las redes de sensores será más capaz y confiable. Una muestra de esto se presenta en este trabajo de investigación, donde se presentan dos propuestas sobre cómo hacer más seguro el transportarse en vehículo.

Palabras Clave: *Ad Hoc, WSN, VANET.*

Abstract

Currently, wireless networks are experiencing a great boom and represent an area of research that has aroused great interest in the scientific community. Many contributions have been presented in recent years, mainly on Ad Hoc networks without fixed infrastructure, such as WSN (Wireless Sensor Networks) and VANET (Vehicular Ad Hoc Networks). The large number of vehicles on the roads has led to the inclusion in the new communications technologies of the commitment to make transport in vehicles safer and more comfortable. This is one of the main applications of vehicular networks, which with the help of sensor networks will be more capable and reliable. A sample of this is presented in this research paper, which presents two proposals on how to make transporting in a vehicle safer.

Keywords: *Ad Hoc, WSN, VANET.*

1 INTRODUCCIÓN

En años recientes se han presentado varios avances en las investigaciones de tecnologías inalámbricas de corto alcance. Las redes Ad Hoc en particular han sido motivo de gran interés en esta área. Una red Ad hoc [1, 5] consiste en un conjunto de nodos con interfaces inalámbricas, los cuales pueden comunicarse entre ellos tanto con la presencia de una infraestructura de red como sin ella. La característica principal de estas redes es el concepto de multisalto, puesto que si un destino está alejado del nodo emisor, este envía los datos al nodo más cercano que servirá como nodo repetidor hacia otro nodo vecino, haciendo esto sucesivamente hasta llegar al nodo destino. Para esto es necesario un protocolo de encaminamiento capaz de encontrar la mejor trayectoria, habitualmente la ruta más corta al destino. El hecho de que los nodos sean móviles hace que el diseño de este protocolo de encaminamiento sea uno de los retos principales en diseño de estas redes.

Dos de las redes Ad Hoc que están motivando más investigaciones son las redes inalámbricas de sensores y las redes vehiculares, las cuales aún siendo también redes inalámbricas sin infraestructura, tienen características muy diferentes. Principalmente, los sensores permanecen estáticos mientras que los vehículos se mueven pudiendo alcanzar altas velocidades.

Hoy en día existen diversos consorcios que trabajan en diferentes aplicaciones de las redes vehiculares. Uno de ellos es el CAR 2 CAR Communication Consortium [2] al cual pertenece el proyecto Vehicle Safety Communications (VSC) en el que están presentes activamente fabricantes de coches como Toyota, Ford, GM, entre otros. La idea principal de este proyecto es conseguir que los autos sean más seguros. Su meta es minimizar los accidentes y evitar en lo posible las bajas humanas en las carreteras.



Figura 1 Aplicación de una VANET [2].

Considerando las características y beneficios que ambas redes ofrecen, recientemente se han iniciado estudios sobre la posibilidad de una combinación de ambas como una Red Híbrida Vehicular y de Sensores conocida por sus siglas en inglés HSVN (Hybrid Sensor and Vehicular Network) [3]. Esto posibilita que ambas trabajen juntas y puedan de esta manera fortalecer las debilidades de la otra. El objetivo de las HSVN es mejorar la seguridad vial.

2 METODOLOGÍA

Las Redes Inalámbricas de Sensores (*Wireless Sensor Networks*, WSN) [4] y las redes Vehiculares (*Vehicular Ad Hoc Network*, VANET) [5] son redes ad hoc sin ninguna infraestructura establecida o administración centralizada. Son auto-organizadas y cada nodo en la red puede realizar las funciones tanto de emisor, receptor o encaminador.

Las WSNs consisten en una gran cantidad de pequeños dispositivos inalámbricos que son capaces de captar información sobre su entorno, como la temperatura, humedad, luz, movimiento, etc. Por su tamaño y capacidad de transmisión este tipo de red permite un rápido y flexible despliegue de cientos de estos dispositivos. Aunque también presenta ciertas restricciones en comparación con otro tipo de redes, puesto que sus nodos tienen capacidad limitada tanto de memoria, como de energía y capacidad de procesamiento. Estos son los principales retos a considerar al trabajar con ellas, puesto que hay que considerar siempre estas limitaciones.

Por otro lado, en las VANETs se asume que cada elemento en la red es un vehículo equipado con tecnología de navegación y localización como GPS (*Global Positioning System*) y que sus movimientos siguen las rutas de las calles o autopistas. Se considera que una VANET es una aplicación particular de MANET (*Mobile Ad Hoc Network*) [6], puesto que sus características son similares, pero con una diferencia muy especial: la velocidad de sus nodos. Los vehículos, dependiendo del tipo de vía (calle o autopista), pueden variar rápidamente su velocidad, lo que provoca que el tiempo de vida de

sus enlaces sea corto. La tecnología con que están equipados los vehículos no suelen tener limitantes en cuanto a energía y pueden tener un alto poder de procesamiento. Además se espera para el próximo año 2010 la publicación del estándar IEEE 802.11p [7], lo que contribuirá a mejorar substancialmente las condiciones de las comunicaciones en las VANETs.

El nuevo concepto de Red Híbrida Vehicular y de Sensores introduce la idea de emplear redes de sensores en las carreteras. Esto de manera global permitirá monitorizar eventos en el entorno como son hielo, lluvia, tráfico. La información sobre estos eventos se almacenará en las redes de sensores desplegadas a lo largo de las vías y será enviada a los vehículos que circulen en su rango de transmisión. Esta información podrá ser distribuida entre los diferentes vehículos dentro del recorrido (dentro de la VANET). Con este intercambio de datos los conductores de los vehículos pueden conducir con precaución y los vehículos enviar señales de alerta a otros vehículos para que puedan reaccionar de manera acorde a las situaciones del trayecto.

A continuación presentamos dos de las propuestas más representativas sobre la implementación de este nuevo tipo de red, la red Híbrida Vehicular y de Sensores.

2.1 Propuesta 1

El flujo de datos entre sensores y vehículos se lleva a cabo en cinco condiciones generales, según Weingärtner, E. y Kargl, F. en [1], las cuales se pueden ver representadas en la Figura 2:

1. *Monitoreo del entorno dentro de la red de sensores.* Los eventos que ocurren en el entorno de la red de sensores (hielo, lluvia, tráfico...) son capturados por algunos de los motes (mote es el dispositivo sensor inalámbrico) pertenecientes a la red (los cuales solo tienen la función de detectar los eventos y permitir la comunicación multihop a través de otros nodos) y reportar esta información al mote que tiene la función de gateway o pasarela. Este mote procesa los datos recibidos y los envía directamente a todo vehículo que entre dentro de su radio de cobertura. La función de gateway puede ser tomada de manera aleatoria por cualquier de los motes de la red, para así tratar de minimizar el desgaste de energía, puesto que ésta, como se mencionó anteriormente es muy limitada en estos dispositivos, y este rol provoca un mayor desgaste puesto que implica el procesamiento de más información y el envío de datos.

2. *Envío de los datos de la WSN a un vehículo dentro de alcance.* Este envío al vehículo se hace directamente desde el mote que en ese momento hace de gateway en la WSN. Esto es un punto delicado, puesto que el rango de transmisión de un sensor es bastante limitado y la alta velocidad del vehículo hace que el tiempo disponible para hacer la transferencia de datos sea

corto, tal vez de pocos segundos. Estos datos deben estar compactados en uno o varios paquetes pequeños, para así tratar de incrementar las posibilidades de terminar la transmisión con éxito.

3. *Distribución de los datos en la VANET.* La tarea principal de los vehículos es distribuir los datos recibidos desde la WSN. Esto permitirá que otros nodos móviles pertenecientes a la VANET sean alertados de peligros potenciales que fueron descubiertos por los motes en la trayectoria. Otra tarea importante en la VANET es que los vehículos trasladen esta información a otra WSN en una distinta localización, lo cual permite mantener la información actualizada en diferentes puntos de la carretera.

4. *Reenvío de datos de la VANET a la WSN.* Una vez que los datos han sido distribuidos dentro de la VANET, podrán ser reenviados a la WSN. Esto podría parecer redundante, pero su propósito real es el evitar que los datos se pierdan en caso de que los vehículos pierdan conectividad; es decir, que queden fuera de cobertura entre sí. Si esto llegara a pasar, un vehículo que entra en la trayectoria y no está en la cobertura del vehículo que tiene la información (p.ej. una notificación de alerta) no la recibiría, lo cual podría ser peligroso para su seguridad vial. En este caso y con este reenvío de información, la WSN seguirá manteniendo la información y podrá hacérsela llegar al nuevo vehículo que pase por su rango de transmisión. En este caso, la WSN contribuye a hacer más robusta la VANET que incrementa su alcance al apoyarse en la WSN para colaborar con la distribución de la información.

5. *Transporte de los datos en los nodos móviles.* Como se mencionó en el punto anterior, el movimiento de los vehículos permite la difusión de los datos dentro de la VANET. En caso de que haya pocos nodos móviles y se dificulte este envío, la WSN contribuye a difundir dichos datos. Los datos regresan a la WSN (en otro tramo posterior de la misma) basándose en la relevancia de los mismos. Esto permitirá que estén disponibles para cuando otro vehículo entre en cobertura y pueda recuperar la información pertinente.



Figura 2 Diagrama del flujo de datos.

2.2 Propuesta 2

Esta propuesta presentada, por Kong, F. y Tan, J. en [8], consiste básicamente en trabajar con dos tipos de sensores: unos estáticos (los que estarán en la carretera) y otros móviles (los que estarán alojados en cada vehículo). Estos se comunican entre sí cuando están lo suficientemente cerca. Los nodos sensores en la carretera recolectan información de los vehículos que pasan, y los sensores móviles (en el vehículo) son capaces de comunicarse tanto entre ellos mismos (mediante la VANET) como con los sensores estáticos de la carretera.

Hasta aquí, la idea general es muy similar a la Propuesta 1, sin embargo, se incorporan ciertas modificaciones, como son la segmentación de la vía y la especificación de las funciones de cada elemento de la arquitectura. Esto se presenta a continuación:

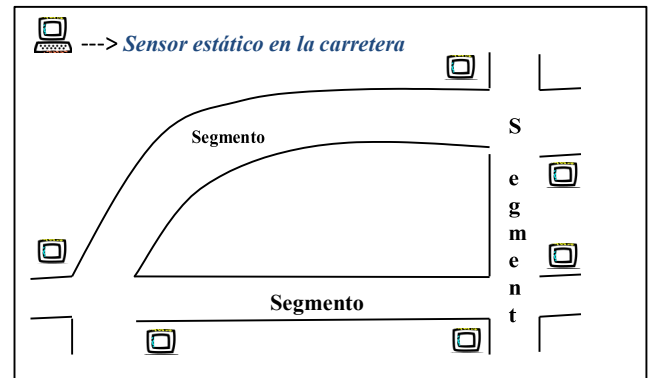


Figura 3 Segmentación de la carretera.

1. *Segmentación de la vía.* Dependiendo del tipo de vía (calle, carretera, autopista) variará la velocidad del vehículo, así como el número de carriles, semáforos o señales de alto. Esta propuesta se caracteriza por la segmentación de la vía en segmentos. Un segmento será la parte de vía entre dos intersecciones, como puede verse en la Figura 3. Los sensores estáticos estarán localizados al inicio y al final de cada segmento. Estas intersecciones delimitadas por semáforos y señales de alto, dará más tiempo para hacer el intercambio de información entre la VANET y la WSN, pues el vehículo debe aminorar su marcha o parar en los puntos de cruce de las intersecciones.

2. *Información de la carretera.* Cada sensor móvil deberá contar con una base de datos donde tendrá información sobre cada punto de la trayectoria, y cada registro corresponderá a un punto en ella. Cada entrada de la base de datos deberá contener la localización (solo un registro por punto del trayecto) y la condición del mismo. Se utilizan escalas numéricas, donde 0 (cero) indica que la vía está libre, y en caso de no tener información sobre algún punto, la condición del segmento se considera desconocida. Por último, la entrada incluye la fecha de lectura, así se sabrá si es necesaria una actualización.

3. *Sensores estáticos.* Consistirán en una pequeña computadora con una base de datos. Monitorizará el tráfico, guardará y actualizará la información de los vehículos. Tendrá como principales componentes su núcleo (que procesara la información), base de datos (guardará y actualizará la información de su segmento), posición (tendrá las coordenadas geográficas de su localización) y usará para comunicarse el estándar IEEE 802.11.

4. *Sensores móviles.* Estos estarán localizados en cada vehículo, el cual además se asume estará equipado con un dispositivo GPS [9] [10]. Estos sensores conocerán tanto la velocidad promedio del vehículo como su posición exacta. Estos sensores se comunicarán con el sensor estático del inicio de un segmento. Si el vehículo tardó demasiado en llegar al sensor del final del segmento, dicho segmento deberá ser marcado como congestionado. Además, si a través del GPS se conoce el destino del vehículo, la información de los segmentos incluidos en esa trayectoria se marcan como de alta prioridad, puesto que esa es la información que más interesa al vehículo.

5. *Protocolo de comunicación.*

- *Sensor estático a móvil y viceversa.* La comunicación entre un sensor estático y un móvil se iniciará cuando el móvil entre dentro del rango de cobertura del nodo estático. Se enviará una petición y se esperará un ACK para iniciar la transmisión. Se iniciará el envío de los datos con prioridad en caso de haberla y se filtrarán datos que ya sean conocidos. Este proceso puede ocupar varios ciclos si se pierde la conexión.
- *Móvil a móvil.* Establecen la comunicación mediante una petición y un ACK. Los vehículos solo se comunicarán con su vecino inmediato (*broadcast* de un salto). La comunicación se dividirá en dos grupos, los vehículos que van en el mismo sentido, y los que van en sentido contrario. Cada grupo tendrá un identificador para comunicarse entre ellos. Los que van en sentido contrario solo se comunicarán con el primer vehículo del grupo en sentido opuesto.

3 PRUEBAS Y DISCUSIONES

Lo primero que se pretende realizar son simulaciones de comunicación de redes de sensores simples, intentando que la comunicación entre ellas sea correcta, así como que no haya pérdidas por parte del *gateway* en la recolección de los datos. Después se hará lo mismo para la red vehicular, intentando implementar el mejor protocolo de encaminamiento que minimice las pérdidas, puesto que la elaboración de dicho protocolo es de gran importancia por el corto tiempo de vida que tienen estos enlaces.

Se finalizará con la integración de las dos redes, diseñando para ello un protocolo que gestione el envío de los datos de la WSN a la VANET y viceversa. Se modelarán las dos propuestas presentadas, para así

comparar resultados y poder conocer cuál de las dos presenta un mejor comportamiento. Esta tercera parte es el reto principal del diseño de la arquitectura de red de una HSVN por las diferentes características de las dos redes que la componen, ya que se deberá trabajar en conjunto con los estándares 802.15.4 y 802.11. Además, será necesario diseñar un protocolo de comunicaciones eficiente y ligero entre las pasarelas de ambas redes, la VANET y la WSN.

El algoritmo general que estamos diseñando actualmente para llevar a cabo las comunicaciones entre los coches y los sensores estáticos en la carreta, es el siguiente:

- Comunicaciones de la WSN (sensores estáticos) a los coches (sensores móviles):

WSN → Coche:

- *El gateway de la WSN detecta un coche en su cobertura.*
- *El gateway envía una petición de conexión al coche.*

Coche → WSN:

- *El coche responde con un ACK al gateway de la WSN.*
- *El coche envía las coordenadas de su destino, si son conocidas.*

WSN → Coche:

- *Envío de información de alta prioridad (datos del estado de los segmentos que están en la trayectoria del destino).*
- *Envío de información de baja prioridad (otra información general).*
- *Codificación de la información: 0 = segmento libre,*
- *1 = segmento algo congestionado, 2 = segmento muy congestionado s/i = información sin conocer.*

Coche → WSN:

- *Información sobre otros segmentos (WSN la actualiza en caso de ser más nueva).*

Coche → WSN:

- *El coche sale de la cobertura de la WSN y termina la conexión.*

- Comunicaciones de Coches a Coches (VANET):

Coche A → Coche B:

- *Un coche detecta a otro en cobertura (detrás de él en la misma dirección).*
- *Envío de una petición de conexión. Coche B ↻*
- *Coche A:*
- *Responde con un ACK, junto a su identificador de grupo.*
- *Envío de coordenadas de su destino, si son conocidas.*

Coche A → Coche B:

- *Envío de información de alta prioridad (datos sobre los segmentos que están en la trayectoria de su destino).*

- Envío de información de baja prioridad (otra información general).
- La información sujeta a $0 =$ segmento libre, $1 =$ segmento algo congestionado, $2 =$ segmento muy congestionado, $s/i =$ información sin conocer.

Coche A \rightarrow Coche B:

- Información sobre otros segmentos (WSN la actualiza en caso de ser más nueva).

Coche A \rightarrow Coche B:

- Sale de cobertura o cambia de grupo. Termina la conexión.
- Coche en un sentido \rightarrow Coche en el otro sentido:
- En caso de que se detecten coches en sentido contrario, se establece la conexión solo entre los primeros coches de cada grupo.

Para poder obtener estos resultados nos apoyaremos con la herramienta GloMoSim (*Global Mobile Information Systems Simulation Library*) [11], un simulador de redes que tiene buen funcionamiento tanto con redes cableadas como inalámbricas. GloMoSim simula redes hasta con miles de nodos en comunicaciones heterogéneas. Incluye diferentes modelos para cada una de las capas de red, por ejemplo Capa Física: *Free Space* y *Two-Ray*; Capa de Enlace: CSMA, MACA, TSMA, 802.11; Capa de Red: Bellman-Ford, FSR, OSPF, DSR, WRP, LAR, AODV; Capa de Transporte: TCP, UDP y Capa de Aplicación: Telnet y FTP. Además cuenta con una herramienta de visualización independiente programada en Java.

Se hará uso además de VanetMobiSim [12], un generador de patrones de movimiento que genera trazas realistas tanto para entornos urbanos como en áreas de autopistas. VanetMobiSim es una extensión de CANU *Mobility Simulation Environment* (CanuMobiSim), también un generador de modelos de movilidad. Está basado en Java y puede generar patrones de movimiento en diferentes formatos para diversas herramientas de simulación de redes móviles como NS2, GloMoSim, QualNet, NET. Esta herramienta se centra en la movilidad de vehículos e incluye nuevas características para modelos de movimiento vehiculares más realistas. A nivel macroscópico hace uso de mapas y puede considerar carriles, diferentes sentidos de tránsito, limitaciones de velocidad y señales de tráfico. A nivel microscopio regula la velocidad en función de los autos cercanos y actúa de acuerdo a las señales de tráfico que se presenten en las intersecciones. Por estas características se ha demostrado que VanetMobiSim alcanza un alto nivel de realismo.

4 CONCLUSIONES

El tráfico congestionado y los accidentes que se producen en las vías, son una de las principales preocupaciones en nuestra vida diaria. Si tuviéramos información correcta y a tiempo de las condiciones de la trayectoria que vamos a

seguir en el futuro inmediato, se podrían minimizar significativamente ambos problemas. Las redes de sensores y las mejoras en la tecnología vehicular pueden aportar una nueva y posible solución al trabajar en colaboración.

En este artículo se analizan dos propuestas de cómo podrían trabajar conjuntamente estas dos tecnologías. Se trabajará en la simulación de cada una de las propuestas en escenarios reales y así poder hacer comparaciones sobre sus resultados con el fin de poder tomar, como punto de partida, el que presente mejores prestaciones y hacer contribuciones a mejorarlo.

5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido realizado con el apoyo del proyecto ITACA (TSI2007-65393-C02-02) del Ministerio Español de Ciencia y Educación, la beca UPC-Recerca de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y el Programa de Formación de Doctores Jóvenes en Áreas Estratégicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

6 REFERENCIAS

- [1] Weingärtner, E.; Kargl, F. A Prototype Study on Hybrid Sensor Vehicular Networks. RWTH Aachen, Germany, 2007.
- [2] CAR 2 CAR Communication Consortium. URL:<http://car-to-car.org/>.
- [3] Jiang, D.; Delgrossi, L. IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environment. Proceedings of the 67th IEEE Vehicular Technology Conference VTC, Singapore, 2008.
- [4] Tripp, C.; Casademont, J. Impacto de Mecanismos de Seguridad en el Funcionamiento de Sensores IEEE 802.15.4. Proyecto Final de Máster, UPC 2009.
- [5] Aguilar Igartua Mónica. Vehicular Ad hoc Networks (VANETs). Notas de clase, 2009.
- [6] Djenouri, D.; Derhab, A.; Badache, N. Ad hoc Networks Routing Protocols and Mobility. The International Arab Journal of Information Technology, 3, 4 (2006).
- [7] Olariu, S.; Weigle, M. Vehicular Networks from Theory to Practice. Norfolk Virginia, USA, Chapman and Hall, 2009.
- [8] Kong, F.; Tan, J. A collaboration-based Hybrid Vehicular Sensor Network Architecture. Proceedings of the IEEE International Conference on Information and Automation, Zhangjiajie, China, 2008.
- [9] Hofman-Wellnhof, B.; Lichtenegger, H.; Collins, J. Global Positioning System: Theory and Practice. Springer, 5th ed., 2001.