

CASHI: SISTEMA DE EVITACIÓN DE COLISIONES EN AUTOVÍAS

Cristina Sotomayor Martínez

Ingeniero en Informática. Personal Contratado Investigador. Universidad de Murcia

Rafael Toledo Moreo

Dr. en Informática. Profesor ayudante. Universidad de Murcia

Antonio F. Gómez Skarmeta

Dr. en Informática. Titular de universidad. Universidad de Murcia

RESUMEN: El sistema CASHI (*Collision Avoidance System on Highways*) propuesto en este artículo, definido como Sistema de Seguridad para Vehículos Inteligentes se centra en la seguridad activa, basándose en la premisa de que es posible evitar una colisión si se conoce el entorno que rodea al vehículo implicado con el tiempo de reacción suficiente. CASHI es un sistema de detección de situaciones de riesgo y evitación de colisiones para vehículos terrestres en autovías, basado en la información compartida entre vehículos. El algoritmo de detección se basa en el cálculo de probabilidades de que un vehículo realice una determinada acción basado en un modelo de filtro interactivo multimodelo (IMM), empleando la información procedente de sensores GNSS, INS y odométricos instalados en el vehículo. La comunicación entre vehículos se basa en una red ad-hoc WLAN, que posibilita la distribución/recepción de la información.

1 INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

En los últimos años se han lanzado múltiples iniciativas en materia de seguridad vial, gran parte de ellas centradas en Sistemas de Seguridad para Vehículos Inteligentes. Estos proyectos suelen enfocarse hacia la descongestión del tráfico y la reducción del número de accidentes, mejorando la seguridad activa y pasiva de los automóviles.

El presente artículo muestra un sistema de seguridad activa, basándose en las pautas marcadas en la iniciativa eSafety presentada por la Comisión Europea [1]. En ella se habla de sistemas de seguridad autónomos que integran no sólo parámetros vinculados al vehículo y al conductor, sino también datos sobre el entorno del vehículo, y, por otra parte,

de sistemas interactivos gracias a los que se puede intercambiar información de seguridad entre vehículos.

El sistema CASHI desarrollado cumple estas características mencionadas por la Comisión Europea. Dispone de un algoritmo de detección de posibles situaciones de riesgo, basándose en la visión del entorno que se genera gracias a información del vehículo unida a datos obtenidos mediante la comunicación con otros vehículos. La complejidad de los escenarios relativos a cualquier tipo de vías se reduce al enfocar el sistema CASHI a entornos de autovías.

2 DETECCIÓN DE SITUACIONES DE RIESGO

El algoritmo de detección se basa en el cálculo de probabilidades de que un vehículo realice una determinada acción mediante un filtro interactivo multimodelo (IMM), empleando para ello la información procedente de sensores GNSS, INS y odométricos de bajo coste instalados en el vehículo. Esta integración de sensores es una de las novedades que aporta el sistema frente a trabajos anteriores, mejorando la percepción de la situación de conflicto.

2.1 Integración de sensores y algoritmo de detección

La figura 1 muestra la arquitectura de fusión sensorial propuesta en CASHI, basada en la repartición de tareas según el orden de abstracción de los datos, interpretados en cuatro niveles distintos [2 - 4].

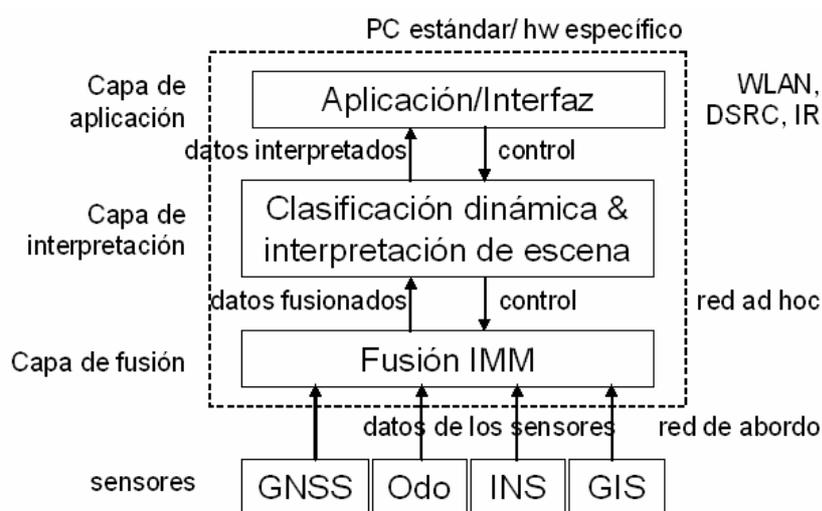


Figura 1. Arquitectura de fusión sensorial propuesta en CASHI.

La capa sensorial se encarga de la recolección de las medidas, ordenación y sincronización. Los datos procedentes de los sensores son enviados a la capa superior vía RS232 o bus CAN. A continuación, la capa de fusión integra los datos procedentes de los sensores. En la arquitectura propuesta, esta capa está orientada a la interpretación del comportamiento del vehículo, descrito mediante un filtro de fusión sensorial IMM-EKF (*Interactive-Multiple-Model Extended Kalman Filter*). En la definición propuesta en este artículo, los modelos del vehículo representan diferentes estados de maniobra del vehículo. El análisis de las probabilidades de dichos modelos será fundamental para determinar el rol del vehículo en una escena determinada. Los datos fusionados son enviados a la tercera capa a través de las redes ad hoc del entorno del vehículo vía WLAN. La tercera capa o capa de interpretación se encarga de la clasificación dinámica del vehículo y la interpretación de la escena. El empleo de las probabilidades calculadas de acuerdo al filtro IMM comentado de la fase 2 de fusión facilita en gran medida el proceso clasificación dinámica según los datos recogidos en la capa sensorial. Finalmente, los datos interpretados (y cualquier otro dato que fuera considerado de interés procedente de las capas anteriores) son empleados por las aplicaciones de seguridad como la presentada en el apartado 4 de este artículo.

En otro sentido, las aplicaciones de seguridad conllevan restricciones en las capas inferiores, limitando por ejemplo el tiempo de reacción antes de informar de la necesidad de una frenada de emergencia, lo que deberá ser tomado en cuenta a la hora del diseño tanto software como hardware.

3 COMUNICACIONES DEL VEHÍCULO

Los vehículos se comunican entre sí para ampliar la información que cada uno es capaz de obtener mediante el uso exclusivo de sus sensores. Cada vehículo envía la posición en la que se encuentra, junto con su velocidad y dirección, de manera que cualquiera puede conocer la localización de los demás y estimar su posición en los instantes sucesivos, aunque no tenga visibilidad directa. Además, si un vehículo detecta una posible situación de riesgo, enviará un mensaje de alarma con toda la información disponible. Estas comunicaciones se limitan a una zona geográfica, que variará dependiendo del carácter de la información transmitida.

3.1 Protocolo de comunicación

Para realizar una comunicación entre vehículos no es aconsejable utilizar redes de infraestructura, ya que la comunicación se establece y se pierde muy rápidamente, por lo que se utilizarán redes ad hoc WLAN. Todos los vehículos que estén en circulación se conectarán a esta red para enviar y recibir los datos correspondientes al tráfico, a través de un grupo multicast dedicado a *información de carretera*, cuya dirección será pública y conocida previamente.

Durante la toma de decisión del protocolo multicast ha sido imprescindible estudiar algunas opciones con características muy positivas en un tipo de sistema como el nuestro. A continuación se muestra un resumen de las conclusiones.

3.1.1 Multicast estándar vs. Geocasting

La primera opción a plantearse es el uso de *geocasting*. Los grupos geocasting se definen como el conjunto de todos los nodos que se encuentran en una región geográfica específica en un instante dado, a diferencia de los grupos de los protocolos convencionales que estarán formados por los nodos que se registren en una dirección multicast.

La comunicación principal del sistema es la que ocurre entre vehículos, y aumenta considerablemente con el número de vehículos de la carretera. Para no inundar la red con tráfico no necesario, es importante definir cuando se va a transmitir o retransmitir la información. Un vehículo debería analizar solamente aquellos mensajes en los que esté interesado, de tal forma que sólo conociera los vehículos que se encuentren más próximos, y las alarmas asociados a lugares que se encuentren en su camino. La toma de la decisión de si un mensaje interesa o no a un vehículo vecino se puede tomar en el vehículo emisor, antes de enviar el mensaje, o en el vehículo receptor, después del envío.

Mediante el uso de *geocasting* podemos tomar la decisión a priori, enviando el mensaje al grupo asociado a la región geográfica en la que se encuentra una alarma o el vehículo que generó un mensaje de localización.

Por ejemplo, dada una alarma asociada a una determinada posición geográfica, si nos encontramos en una autopista se puede considerar que el grupo de vehículos interesados en dicha alarma estarán situados en la misma vía y mismo sentido que la alarma, dirigiéndose hacia ella. Es decir, un vehículo se interesa por alarmas que ocurran en una posición por la que potencialmente vaya a circular próximamente. En estos casos, sería útil

enviar el mensaje mediante geocasting, definiendo de forma sencilla la región geográfica en la que se encuentran los nodos / vehículos interesados en recibir el mensaje.

Sin embargo, geocasting no parece un protocolo adecuado debido a los inconvenientes que aparecen al considerar que los nodos de la red son vehículos:

- Los nodos de la red ad-hoc cambian muy rápidamente, lo que provoca cambios constantes en los nodos que forman cada grupo.
- Los vehículos que se incorporarán próximamente a la vía en que se encuentra una alarma (por un carril de aceleración, un puente, una glorieta) no se considerarían dentro de la región geográfica y por tanto no recibirían el mensaje.
- En ciudad, la región interesada en un mensaje se amplía a las calles que cruzan con la vía en que se encuentra la alarma, incluso a accesos a la misma mediante aparcamientos.

Usando un protocolo *multicast estándar*, los vehículos se unirían al grupo multicast y recibirán todos los mensajes, independientemente de su interés. Una vez obtenido el mensaje, se obtiene la posición geográfica a la que hace referencia, y a partir de ella se decide si se ignora, se examina su información, o se examina y posteriormente se retransmite. Para tomar esta decisión se calcula la distancia actual del vehículo al punto de alerta, si el vehículo se acerca o se aleja de este punto, y si se encuentra en la misma vía, el mismo sentido o el mismo carril.

3.1.2 Multicast estándar vs. Multicast Para Ad Hoc

En una red ad hoc es importante usar un protocolo específico para este tipo de redes, ya que los protocolos estándar no son capaces de ofrecer un buen rendimiento en estas redes debido a que las estructuras de distribución que emplean son muy frágiles y su actualización muy lenta como para soportar los frecuentes cambios en la topología que suceden en las redes ad hoc [5]. Si consideramos a los vehículos como los únicos nodos de la red, tenemos una red ad hoc pura, por lo que se puede hacer uso de cualquiera de los protocolos multicast específicos para redes ad hoc (en adelante, *multicast*).

3.1.3 Multicast Para Ad Hoc vs. MMARP

Si se quiere añadir interconexión con redes IP fijas será necesario un protocolo multicast preparado para ello, como es MMARP. Este protocolo, definido en [5] por Ruiz-Martínez, Gómez-Skarmeta y Martínez-Asensio, es capaz de ofrecer encaminamiento eficiente en la red ad hoc a la vez que ofrecer, sin una penalización significativa en el rendimiento, una

interacción adecuada con la red fija y con nodos IP estándar que pudiesen emplear la extensión ad hoc como una red de tránsito hacia la red fija.

En términos de uso de la red, *multicast* no necesita mensajes de mantenimiento de la estructura ad hoc, por lo que sólo se envían paquetes cuando hay algo que comunicar, a diferencia de MMARP que requiere más tráfico para el mantenimiento de la red.

MMARP mantiene información de los nodos de la red, y la usa para transmitir la información desde el nodo emisor hacia el grupo de nodos receptores. Por lo tanto cuando un mensaje se retransmite por la red usando MMARP, este mensaje no inunda toda la red, solo pasará por los nodos intermedios de los caminos que van desde el emisor a los receptor. Por ejemplo, para transmitir un mensaje que interesa a los vehículos que circulan detrás del vehículo emisor, los mensajes con MMARP es probable que se retransmitan sólo entre los nodos/vehículos que están en la misma calzada de una autovía, sin saltar a la otra calzada porque los paquetes intentarán ir por el camino más directo posible.

La principal ventaja de multicast es la ausencia de mensajes de control, por lo que se reduce la carga que estos puedan producir. Además, la disminución del tráfico conlleva un menor coste energético para las baterías del vehículo, y un ahorro en memoria porque no hay que mantener tablas con los vehículos circundantes.

Tras estudiar las ventajas de MMARP, se decidió dejar su uso para posteriores versiones de esta arquitectura, en las que se integrase con redes fijas, amortizándose entonces el incremento en el consumo del ancho de banda de la red.

Como conclusión, la arquitectura propuesta realizará las comunicaciones principales mediante el uso de una red ad hoc WLAN, con un protocolo de encaminamiento multicast específico para estas redes.

3.1.4 Comunicaciones Secundarias. GPRS y Bluetooth

Además de la comunicación entre vehículos, existen otras comunicaciones secundarias. El ordenador de a bordo del vehículo dispone de conexión GPRS/UMTS, usada para recibir mensajes EGNOS vía SISNeT (Signal In Space through Internet) y para comunicar el vehículo con estaciones remotas, permitiendo servicios basados en localización y notificaciones a la central de tráfico o servicios de emergencia.

Los vehículos equipados con GPRS son muy interesantes para ampliar la arquitectura del sistema. Cuando uno de estos vehículos detecta una situación de peligro potencial, mediante la red GPRS tenemos la posibilidad de comunicarlo a las autoridades competentes. Por ejemplo, si se recibe un mensaje avisando de una colisión entre vehículos, el receptor lo propaga a los vehículos de su red ad-hoc para evitar que ocurra una colisión en cadena, y si tiene comunicación GPRS puede avisar a los servicios de emergencia o la autoridad de tráfico. En otros muchos casos bastará con avisar a la central de Tráfico, para que esta tome medidas como escribir un mensaje "Atasco en X" en los paneles de información de tráfico de las vías que considere oportunas.

También se dispone de un enlace inalámbrico Bluetooth que puede usarse para conectar el PC del vehículo con dispositivos como teléfonos móviles, PDAs, etc.

3.2 Información Transmitida

La arquitectura presenta dos tipos de información a transmitir:

- Información continua de localización de un vehículo
- Información puntual sobre una posible situación de riesgo

A continuación comentaremos brevemente cada una de ellas.

3.2.1 Localización de Vehículos

Cada vehículo en el sistema enviará periódicamente los datos necesarios para que el resto de la red lo pueda localizar, principalmente su posición, velocidad y dirección. De esta forma los vehículos pueden conocer su entorno en un instante dado, e incluso estimar la posición del resto de vehículos en instantes sucesivos.

Este conocimiento del entorno es imprescindible para poder reaccionar con seguridad ante una situación de riesgo.

3.2.2 Situaciones de Riesgo

Cuando una situación de riesgo potencial, o *hecho*, es detectada por el sistema, se genera un mensaje de alarma que se enviará a través de la red para que el resto de los vehículos conozcan el peligro y puedan reaccionar a tiempo. A su vez, un vehículo receptor de una alarma puede actualizar o completar los datos de la misma, retransmitiendo la alarma con información mejorada.

En algunos casos, la alarma puede no estar relacionada directamente con un peligro, pero sí con una situación incómoda, que a menudo puede desencadenar algún tipo de negligencia y posterior accidente. En este grupo estarían las alarmas de identificación de atascos, obras, etc, que más que alertar a otros conductores, simplemente les informa de antemano, pudiendo estos modificar su ruta y evitar el problema.

Los mensajes de alarma deben contener información suficiente para localizar con exactitud la situación que produce el peligro potencial, por lo que es recomendable incluir los datos siguientes:

- Identificador de la alarma. Su utilidad principal aparece cuando se recibe una actualización de una alarma ya recibida, siendo importante reconocerla como modificación de una anterior, y no como una nueva. Cuando un hecho se desplaza (por ejemplo, un vehículo descontrolado), la actualización de su posición llegará en un mensaje con el mismo identificador que tenía el primer mensaje originado para ese hecho.
- Identificador del vehículo que generó el aviso
- Tipo de alarma, dentro de un catálogo de hechos o situaciones de peligro potencial.
- Posición en la que se ha originado el hecho
- Instante de tiempo en el que se generó el mensaje de alarma

El identificador de alarma es importante para actualizar los datos de un hecho concreto, reconociendo la alarma como modificación de una anterior, y no como un hecho nuevo. Cuando un hecho se desplaza, la actualización de su posición llegará en un mensaje con el mismo identificador que tenía el primer mensaje originado para ese hecho. También es importante para reconocer si un mensaje ya ha sido recibido, mostrado o reenviado.

El tipo de alarma indica qué hecho ha acontecido en la posición e instante de tiempo que vienen incluidos en el mensaje.

3.2.3 Transmisión de Información

El comportamiento del sistema de comunicaciones consiste en enviar, recibir y propagar mensajes.

- **Enviar:** Cada nodo envía los mensajes de localización de su vehículo y las alarmas de situaciones detectadas por él.

- **Recibir:** Cada nodo recibe los mensajes de localización de otros vehículos y las alarmas generadas externamente. Si recibe un mensaje que él mismo generó, lo ignora.
- **Propagar:** Cada nodo propaga las alarmas que recibe. Si puede obtener información sobre la situación a la que se refiere la alarma, ampliará la información de la misma antes de propagarla. Por ejemplo, un vehículo recibe una alarma sobre la situación “obstáculo en la carretera”, y por su posición conoce algo más, por lo que propaga “obstáculo en la carretera ocupando los carriles derecho y central”.

Con este reenvío el sistema se adapta a la naturaleza de las redes ad hoc, en las que para cubrir todo su diámetro es necesario que los mensajes vayan dando saltos de nodo en nodo. La propagación de una alarma se realiza según un criterio de cercanía, reenviando solamente hasta un radio de propagación. Estas distancias de propagación, que varían según en tipo de situación de alarma, se han calculado previamente mediante un estudio de situaciones, características de las vías, velocidad de circulación, y tiempo de respuesta de los conductores.

4 EL SISTEMA CASHI

El sistema CASHI está compuesto por diferentes módulos, como puede verse en la figura 2. Por una parte encontramos el hardware de sensorización, compuesto por odómetros, inerciales, mapas GIS y sensores GNSS, y por otra el hardware de comunicaciones, que incluye un PC con conectividad WIFI, GPRS y bluetooth.

Sobre los módulos hardware, que componen el núcleo de la unidad de a bordo, se han desarrollado las partes de detección de escenarios de riesgo y de comunicaciones, comentadas en los apartados anteriores. Basándose en la información generada por estos módulos, se desarrolla el sistema de seguridad que integra todos los componentes y presenta la aplicación gráfica.



Figura 2. Esquema modular del sistema CASHI

Los componentes físicos se encuentran instalados en la unidad de a bordo del vehículo, mientras que el software se puede ejecutar dentro de la misma o en un dispositivo externo, obteniendo los datos mediante interfaces bien definidos. De esta manera se pueden realizar simulaciones que reciban los datos almacenados en ficheros de texto, incluso combinar una ejecución real en un vehículo en movimiento, con entradas que varíen la escena incluyendo alarmas simuladas.

El sistema identifica al propio vehículo mediante información almacenada en la OBU (unidad de a bordo). Cuando se realiza una simulación es necesario introducir manualmente la información correspondiente al tipo de vehículo, color y matrícula.

4.1 Integración de módulos para la composición de la escena

El sistema CASHI instalado en un vehículo genera una visión del entorno que lo rodea, integrando la información obtenida de los sensores del propio vehículo con los datos adquiridos a través de la red. Este escenario, representado sobre un mapa GIS, contendrá la posición y características principales de los vehículos, obstáculos o alertas situados en las proximidades del vehículo.

La escena generada por el sistema contiene mayor y mejor información que la que podría obtener el conductor del vehículo personalmente, y es este mayor conocimiento del entorno lo que le permitirá conocer con más tiempo las futuras situaciones de riesgo que encontrará en su trayectoria.

4.2 Interfaz con el usuario

El sistema se muestra al usuario mediante un interfaz gráfico de dimensiones reducidas, adaptable a dispositivos externos como PDAs. En la figura 3 se muestra la captura de una ejecución del sistema CASHI a bordo de un camión, con las luces de emergencia activadas, y emitiendo una alarma para avisar de esta situación.

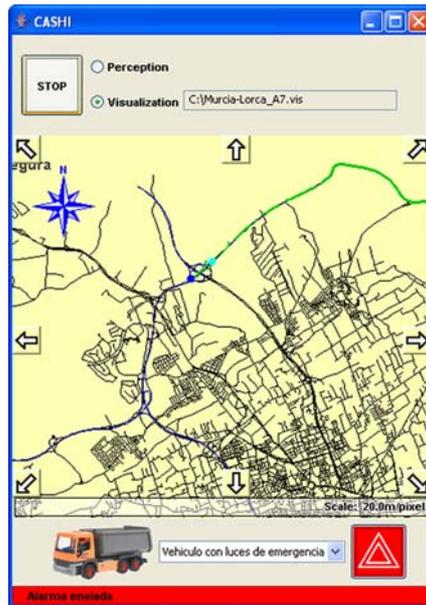


Figura 3. Captura de una ejecución del sistema CASHI

4.2.1 Mapas GIS (como elemento gráfico)

CASHI utiliza los mapas GIS para dos funciones distintas. Por un lado obtiene información del mapa para conocer el tipo de vía por la que se circula, número de carriles, vías cercanas, cruces, etc. Por otra, el mapa se utiliza como elemento gráfico base, sobre el que situar la escena. Concretamente, la localización del vehículo se ha realizado mediante un mapa GIS de la empresa Navteq.

4.3 Comunicaciones con agentes externos (central de tráfico y servicios de emergencia)

Además de la información del propio vehículo y la obtenida a través de la red de vehículos, el sistema se puede comunicar con agentes externos como la central de tráfico o los servicios de emergencia, a través de enlaces GPRS.

La comunicación con estos agentes es principalmente unidireccional, siendo CASHI quien publica la información que considera de interés. La central de tráfico a su vez, podría informar mediante paneles en las autovías u otros medios ajenos al sistema. Para futuras versiones del sistema, se contempla la creación de un interfaz de entrada que permita recibir datos de varios emisores, previamente certificados, mejorando el sistema actual basado en comunicaciones entre sistemas CASHI.

5 CONCLUSIONES

El sistema CASHI propuesto en este artículo se presenta como una solución robusta al problema de evitación de colisiones y situaciones de riesgo gracias al empleo del conocimiento del entorno del vehículo. Una arquitectura de comunicaciones basada en redes WLAN ad hoc ofrece diversas ventajas frente a soluciones basadas en sensores radar o láser. Además de su amplia disponibilidad, gracias a su bajo coste, permite la interacción con otros sistemas, redefinición o comunicación directa con las infraestructuras de carreteras. Por su parte, el empleo de la arquitectura de fusión que emplea un algoritmo multimodelo en el nivel 2 de fusión sensorial de datos ofrece ciertas ventajas como las mencionadas en el apartado 2. Finalmente, tras analizar diferentes protocolos de encaminamiento, se ha concluido que la opción multicast específico para redes ad hoc WLAN se ajusta adecuadamente a las necesidades del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN EUROPEA (2003). "COM(2003) 311 final. Programa de acción europeo de seguridad vial. Reducir a la mitad el número de víctimas de accidentes de tráfico en la Unión Europea de aquí a 2010: una responsabilidad compartida", Bruselas, 2.6.2003
- [2] KOKAR M., M., MATHEUS C.J., LETKOWSKI J.A. (2004). "Association in Level 2 fusion", SPIE 2004.
- [3] CERUTI M.G. (2004). "Ontology for Level-One Sensor Fusion and Knowledge Discovery", SPIE 2004.
- [4] MATHEUS C.J., KOKAR M. M., BACLAWSKI K. (2003). "A Core Ontology for Situation Awareness". Proceedings of Sixth International Conference on Information Fusion, pages 545--552, Cairns, Australia, July 2003.
- [5] RUIZ MARTÍNEZ, P.M.; GÓMEZ SKARMETA, A.F.; MARTÍNEZ ASENSIO P. (2003). "Encaminamiento multicast eficiente en extensiones ad hoc a redes IP fijas: el protocolo MMARP". IV Jornadas de Ingeniería Telemática: JITEL 2003, Gran Canaria, 15 al 17 de septiembre de 2003. ISBN 84-96131-38-6, páginas. 121-128