

Desarrollo de un Prototipo para la Notificación Automática de Accidentes de Tráfico usando Redes Vehiculares

Manuel Fogue¹, Piedad Garrido¹, Francisco J. Martínez¹, Carlos T. Calafate², Juan C. Cano² y Pietro Manzoni²

Resumen— Las nuevas tecnologías de la comunicación incorporadas al sector automovilístico ofrecen una oportunidad para conseguir mejorar la asistencia a los heridos en accidentes de tráfico, reduciendo el tiempo de respuesta de los servicios de emergencia y aumentando la información que éstos disponen sobre el siniestro, con lo que sería posible determinar con mayor precisión el operativo humano y material adecuado a la situación. El sistema e-NOTIFY propuesto presenta una arquitectura para dar soporte a estas necesidades, en la cual cada vehículo incorpora una Unidad de a Bordo encargada de detectar y notificar situaciones de accidente a una Unidad de Control externa que se ocupa de estimar su gravedad y destinar los recursos para su asistencia. El desarrollo de un prototipo basado en dispositivos de propósito general con un coste reducido y un nivel de eficiencia adecuado demuestra que este sistema podría reducir notablemente el tiempo necesario para desplegar los servicios de emergencia una vez producido el accidente.

Palabras clave— VANET, Sistemas Inteligentes de Transporte, comunicaciones V2V y V2I, accidentes de tráfico.

I. INTRODUCCIÓN

DURANTE las últimas décadas, el parque automovilístico existente alrededor del mundo ha sufrido un crecimiento muy notable, aumentando la densidad del tráfico y provocando que los accidentes de tráfico representen un problema muy grave en la mayoría de los países. Por poner un ejemplo, 2.714 personas murieron en las carreteras españolas en el año 2009, lo que significa una muerte por cada 16.949 habitantes [1]. Gran parte de los fallecimientos se producen en el tiempo comprendido entre el suceso y la llegada de las asistencias médicas. En un accidente de tráfico, completar la asistencia de los heridos graves durante la hora inmediatamente posterior al incidente (la llamada *Hora de Oro*) es crucial para minimizar los posibles riesgos en la salud de los ocupantes. Por ello, una rápida y eficiente operación de rescate tras un accidente de tráfico incrementaría notablemente la probabilidad de supervivencia de los heridos y reduciría la gravedad de las lesiones. Otro de los principales problemas actuales en la asistencia a los accidentes de tráfico son las grandes pérdidas, tanto económicas como de tiempo, que se dan al no disponer de cierta información que permita prever

el tipo y cantidad de equipamiento médico y técnico que es necesario enviar a la zona del siniestro.

Para una reducción notable del tiempo de asistencia, dos pasos principales deben abordarse: (i) la notificación rápida y precisa del accidente al Punto de Respuesta (*Public Safety Answering Point*, PSAP) adecuado, y (ii) la evacuación rápida y eficaz de los ocupantes que se encuentran atrapados en el interior un vehículo. El primero de estos objetivos puede llevarse a cabo empleando las tecnologías y los sistemas de telecomunicaciones que, recientemente, se ha ido incorporando al mundo de la automoción, donde la comunicación móvil y los sistemas GPS son los máximos representantes. Durante los últimos años, se han realizado numerosos avances en el desarrollo de tecnologías de comunicación entre vehículos (V2V), también conocidas como (VANETs o *Vehicular Ad hoc NETWORKS* [2]). Estas tecnologías están basadas en sistemas de comunicación de corto alcance, o *Dedicated Short-Range Communication* (DSRC) [3], y ofrecen soporte a aplicaciones de seguridad cooperativa entre vehículos. De hecho, se espera que el grupo de trabajo 802.11p apruebe en breve el estándar IEEE 802.11p [4], ofreciendo una solución factible para aplicaciones de seguridad inter-vehicular. Por otra parte, numerosos esfuerzos e investigaciones desde el entorno académico y de la industria han permitido avanzar en el desarrollo de tecnologías de soporte a la interacción vehículo-infraestructura (V2I), de especial relevancia para aplicaciones de seguridad vial, movilidad y monitorización.

Respecto al segundo de los objetivos, la eficacia de la asistencia de los pasajeros involucrados en un accidente de tráfico, ésta podría aumentarse notablemente si los servicios de emergencia dispusieran de información relevante sobre las condiciones en que sucedió el siniestro antes de desplazarse a la zona del accidente. Esta información extra se emplearía para estimar la gravedad de las heridas de los ocupantes, basándose en la información proporcionada por los sensores del vehículo. Asimismo, disponer de más información permitiría determinar el conjunto óptimo de recursos humanos y materiales a enviar a una situación de accidente, con la consecuente reducción de costes e incremento de la calidad de asistencia de los heridos.

En este trabajo se presenta el sistema e-NOTIFY, diseñado para la detección, notificación y asistencia automática de los accidentes viales utilizando las ca-

¹Depto. de Informática e Ingeniería de Sistemas, Universidad de Zaragoza, e-mail: {m.fogue, piedad, f.martinez}@unizar.es.

²Depto. de Informática de Sistemas y Computadores, Universitat Politècnica de València, e-mail: {calafate, jucano, pmanzoni}@disca.upv.es.

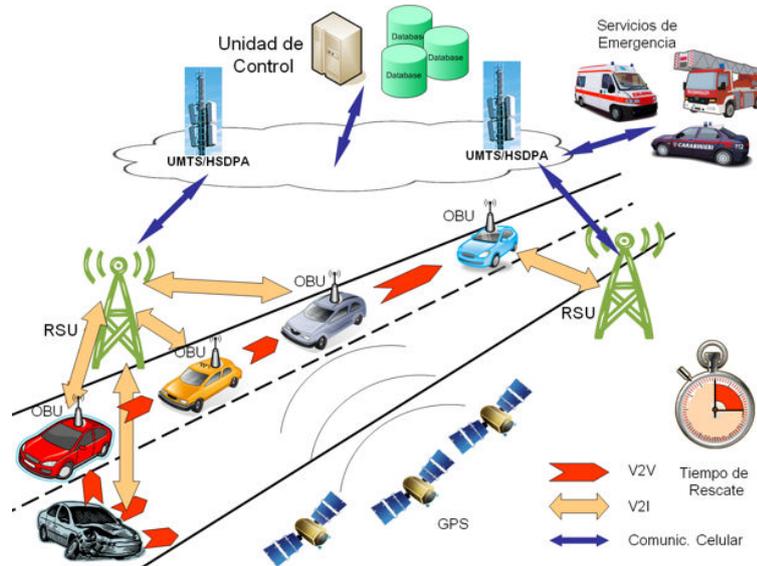


Fig. 1. Arquitectura e-NOTIFY basada en combinación de comunicaciones V2V y V2I.

pacidades que brindan las nuevas tecnologías de comunicación vehicular. Esta propuesta no se centra en reducir el número de accidentes, sino en mejorar la asistencia post-colisión mediante una gestión rápida y eficiente de los recursos de emergencia disponibles, lo cual incrementa las posibilidades de recuperación y supervivencia para los heridos en accidente de tráfico.

El resto de este artículo se estructura como sigue. La Sección II incluye la arquitectura del sistema propuesto. La Sección III muestra los pasos para diseñar un prototipo con dispositivos de propósito general que aporten la funcionalidad requerida por el sistema. La Sección IV presenta el entorno en el que se llevó a cabo la validación del sistema y los resultados de su evaluación. Por último, la Sección V presenta las conclusiones obtenidas de la realización de este trabajo.

II. ARQUITECTURA DEL SISTEMA e-NOTIFY

La Figura 1 presenta la estructura básica empleada para desarrollar el sistema e-NOTIFY. El objetivo del sistema consiste en proporcionar una arquitectura que permita: (i) comunicación directa entre los vehículos involucrados en el accidente, (ii) el envío automático de un conjunto de datos al Centro de Coordinación de Emergencias, y (iii) una evaluación preliminar automática de los daños, tanto en el vehículo, como en los ocupantes basándose en la información recibida y los datos sobre accidentes previamente acaecidos, lo cual permitiría adaptar los recursos de rescate necesarios para su correcta asistencia.

El sistema e-NOTIFY combina comunicaciones tanto V2V como V2I para conseguir notificar de forma eficiente una situación de accidente al Centro de Control. Los diferentes vehículos deben incorporar una Unidad de a Bordo (*On Board Unit*, OBU) que se encarga de detectar cuándo se ha producido un impacto peligroso para los ocupantes, de recoger

la información disponible de los sensores instalados en el automóvil y de comunicar la situación a una Unidad de Control (*Control Unit*, CU) que se ocupará del tratamiento del mensaje de aviso y su posterior envío. Entre otros aspectos, la CU debe integrar mecanismos de estimación de la gravedad del accidente y de las heridas de los pasajeros, por lo que debe tener acceso a una base de datos lo más completa posible con información sobre otros siniestros. Esta estimación puede llevarse a cabo con modelos de clasificación de minería de datos usando los registros de bases de datos existentes [5].

La definición de las OBUs es de gran importancia para el sistema propuesto. Este dispositivo debe ser técnicamente y económicamente factible, ya que su implantación en vehículos de diversa gama podría llegar a ser masiva cuando se comiencen a extender los sistemas de comunicación entre vehículos. Además, este sistema debe estar abierto a futuras actualizaciones de software. Aunque en el diseño del hardware a incluir en los vehículos consistía inicialmente en sistemas de propósito específico, esta tendencia está dirigiéndose hacia sistemas de propósito más general dada la inclusión constante de nuevos servicios. Por tanto, la OBU tiene que incluir suficientes interfaces que le permitan conectarse al sistema de comunicación.

El intercambio de información entre las OBUs y la CU se produce a través de Internet, bien mediante vehículos que tengan instalado un acceso a Internet (mediante UMTS, por ejemplo), o bien alcanzando unidades de infraestructura (*Road-Side Units*, RSU) que proporcionen este servicio. En el caso de que el vehículo no consiga acceso directo hasta la CU por sus propios medios, puede generar mensajes de difusión que serán retransmitidos por los vehículos cercanos hasta que se alcance una de las dos posibilidades. Estos mensajes que se van difundiendo entre los vehículos en el área cercana al accidente también tienen la función de alertar a los conductores que se

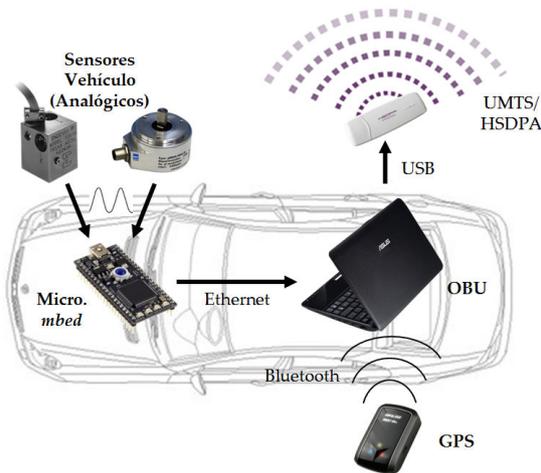


Fig. 2. Estructura del prototipo de Unidad de a Bordo.

dirijan a la zona afectada por el siniestro sobre las condiciones en que se encuentra el vehículo accidentado y su posible interferencia en el flujo de tráfico habitual.

III. DISEÑO DEL PROTOTIPO E-NOTIFY

Usando esta arquitectura como marco de referencia, se ha desarrollado un prototipo empleando dispositivos de propósito general que pueda servir para llevar a cabo pruebas preliminares hasta que la tecnología (como el estándar IEEE 802.11p) y la infraestructura (RSUs) necesaria esté disponible para su despliegue en un entorno real. La configuración de cada uno de los componentes del sistema se detalla a continuación.

A. Diseño de la Unidad de a Bordo (OBU)

El principal objetivo de una OBU reside en obtener la información disponible a partir de los sensores instalados en el vehículo para determinar cuándo se ha producido una situación de peligro que deba ser notificada al punto de respuesta más cercano, así como al resto de vehículos cercanos que puedan enfrentarse a esta situación. La estructura del prototipo desarrollado aparece en la Figura 2, en el cual la unidad empleada es un netbook Asus Eee PC [6] dotado con disco de estado sólido (SSD) para minimizar la posibilidad de deterioro debido al impacto. La posición y velocidad del vehículo se obtiene mediante un dispositivo GPS *Qstarz BT-Q818XT* [7] accesible por Bluetooth.

Cuando se desarrolla un prototipo de Unidad de a Bordo, la conexión con la sensorica del vehículo puede llegar a ser complicada ya que cada fabricante presenta diferencias en la forma de representar los datos. Además, gran parte de estos sensores son analógicos, de forma que para poder tratar correctamente los datos proporcionados es necesario realizar una transformación previa a un formato digital. Estos problemas se han resuelto empleando un microcontrolador ARM *mbed NXP LPC1768* [8] que permite generar prototipos rápidamente ya que, entre

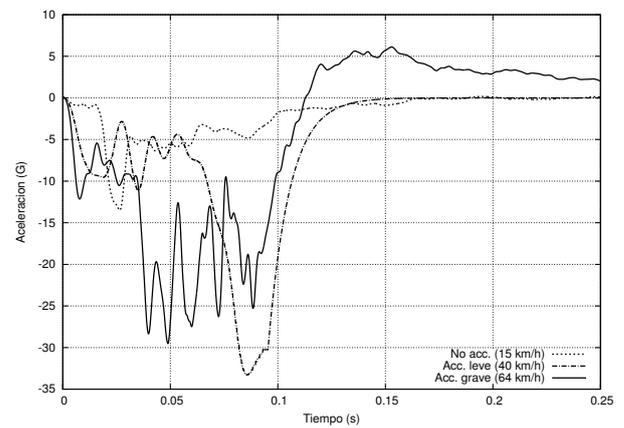


Fig. 3. Pulsos de aceleración para diferentes clasificaciones de accidente frontal. Datos proporcionados por Applus+ IDIADA [10].

otras funcionalidades, incorpora un compilador para el lenguaje C++, permite leer directamente una entrada analógica y puede comunicarse con un PC mediante diversas interfaces, entre las que se incluye USB y un puerto Ethernet. Otros trabajos ya han empleado este sistema con éxito en tareas de control automático [9].

El microcontrolador está programado para recoger periódicamente los datos de los sensores que permitirán determinar cuándo un vehículo ha sufrido un accidente que sería necesario informar a las autoridades pertinentes. Básicamente, se trata de acelerómetros y giroscopios que indican la severidad de los golpes recibidos por el automóvil o si ha sufrido un vuelco que haga peligrar la integridad de los ocupantes. La comunicación del microcontrolador con la Unidad de a Bordo se realiza enviando paquetes UDP con frecuencia variable (en las pruebas de funcionamiento, se empleó una frecuencia de 50 paquetes por segundo) a través de la interfaz Ethernet incorporada.

La OBU se encarga de recoger los datos enviados por el microcontrolador y generar una serie temporal con los valores medidos. La evolución tanto en las medidas de aceleración como en las de inclinación respecto a la horizontal permitirán determinar cuándo el vehículo ha sufrido daños de consideración. El tratamiento de la inclinación es bastante sencillo, puesto que mediciones que se desvíen más de 90° de la horizontal indicarán que el vehículo ha volcado y precisa de medios de rescate. Interpretar los valores de aceleración es más complicado debido a que los pulsos que se reciben tienen una duración muy limitada y debe considerarse en su clasificación tanto su amplitud como su duración. Este efecto se aprecia en la Figura 3, en la que aparecen representados diferentes pulsos correspondientes a un accidente frontal de diversa consideración (desde no considerarlo un accidente, hasta accidentes severos donde los ocupantes pueden haber sufrido heridas graves). Puede apreciarse que el pico de aceleración registrado en el accidente leve supera al máximo en la colisión grave, aunque la duración de su pulso es mu-

cho menor. Emplear simples umbrales de aceleración registrada para diferenciar los pulsos no es suficiente, por lo que el enfoque empleado será utilizar el valor de la integral de la función definida como la variación de la aceleración respecto al tiempo. Esta aproximación sí permite definir umbrales que diferencian con suficiente margen las distintas situaciones. La integral de la función se aproxima mediante el método numérico de la regla del trapecio, con la que la integral de una función f definida en una serie n de intervalos regulares es igual a:

$$\int_{x_0}^{x_n} f(x)dx \approx \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i-1}) \frac{f(x_i) + f(x_{i-1})}{2} \quad (1)$$

La función de la aceleración se comienza a integrar cuando se detecta una medición con valor absoluto superior a un umbral, que está fijado entre 3 y 5 Gs (1 G = 9.80665 m/s²) dependiendo del tipo de impacto (frontal, lateral o trasero) y del segmento al que pertenece el vehículo. Tras un periodo de tiempo (que aproxima la duración del pulso), el valor de la integral determinará el tipo de accidente dependiendo de si superan o no los límites fijados en las trazas de prueba. Si el accidente ha sido de suficiente gravedad, la OBU pasará a enviar paquetes UDP con información sobre el suceso a sus vecinos para alertar del peligro de la situación. Además, se abrirá una conexión TCP con el punto de respuesta para alertar del accidente y solicitar el envío de un operativo de emergencia. Para ello, el mensaje transmitido contendrá tanta información relevante como sea posible sobre el siniestro.

B. Estructura del mensaje de aviso

Los mensajes que se intercambien entre los vehículos y la Unidad de Control deberían ser concisos y no incluir información irrelevante, pero no deberían obviar ningún posible dato que pudiera servir a los servicios de emergencia para determinar los recursos necesarios. Así, la información destinada al punto de respuesta debe incorporar datos sobre las condiciones en que se produjo el accidente, sobre los ocupantes del vehículo y sobre los diversos sistemas de seguridad incluidos. Estos datos están dirigidos a los equipos de asistencia para proporcionarles una visión más detallada de las condiciones del siniestro antes de llegar a la zona afectada [11]. Para el sistema diseñado se propone enviar un mensaje que contenga los siguientes campos, accesibles a través de los sensores incluidos en el propio vehículo (ver Figura 4):

TIEMPO (FECHA/HORA)

- para informar exactamente sobre el momento del accidente.

LOCALIZACIÓN

- **posición geográfica del vehículos**, para determinar la localización exacta de los heridos.

VEHÍCULO-OCUPANTES

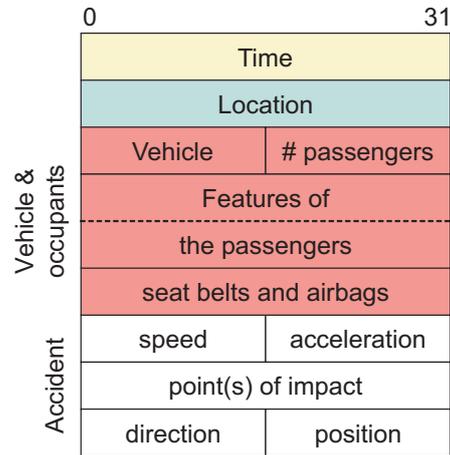


Fig. 4. Formato de paquete de aviso para el sistema propuesto.

- **características del vehículos**, para adecuar el equipamiento a enviar al escenario del accidente y avisar al equipo de rescate sobre el nivel de complejidad y peligros.
- **número de pasajeros**, para adecuar el equipo médico requerido para atenderlos.
- **características de los pasajeros**: peso, altura, edad, etc. Mejor cuanto más información esté disponible.
- **información sobre cinturones de seguridad y airbags**, para estimar la severidad de los heridos, cómo sucedió el accidente y la gravedad del mismo.

ACCIDENTE

- **velocidad y aceleración** del vehículo justo antes del impacto, para estimar la severidad del siniestro.
- **punto/s de impacto**, es decir, dónde exactamente se ha producido el impacto contra otro objeto de la vía.
- **dirección de la fuerza de impacto**. Éste es un concepto mecánico. Si consideramos la planta del vehículo como un reloj, puede describirse la dirección de impacto como una hora: 12 para impacto frontal, 3 para impacto lateral derecho, 6 para impacto trasero, etc.
- **posición del vehículo** después de la colisión para estimar la gravedad del accidente y avisar al equipo de emergencia sobre la complejidad del rescate.

C. Diseño de la Unidad de Control (CU)

La Unidad de Control (CU) está asociada al centro de respuesta encargado de recibir las notificaciones de accidente provenientes de las OBU instaladas de los vehículos. La Unidad de Control se encarga de tratar los mensajes de aviso, obtener la información contenida en los mismos y notificar a los servicios de emergencia sobre las condiciones en que se ha producido el accidente. El prototipo de la Unidad de Control tiene la estructura que aparece en la Figura 5.

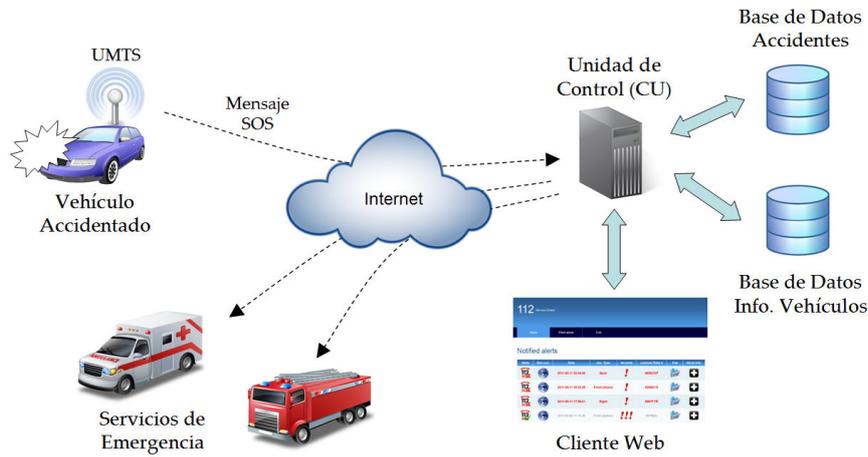


Fig. 5. Estructura del prototipo de Unidad de Control.

Una vez recibido el mensaje, la CU debe almacenar los datos del accidente en una base de datos para registrar que ha sido asistido correctamente. Debería existir a disposición de la CU una base de datos que aporte diferente información sobre los posibles modelos y marcas de vehículos existentes en el parque automovilístico. Las áreas críticas del vehículo que deben ser evitadas durante procedimientos de rescate (por ejemplo, los depósitos de combustible) no están señalizadas en la mayoría de los casos y podrían causar situaciones de peligro para el personal de emergencia. De esta forma, ante una notificación de accidente puede conocerse la información referente al vehículo siniestrado (manuales de operación, información sobre áreas peligrosas, etc.) antes de que los equipos de rescate lleguen a la zona en la que ocurrió.

El prototipo de CU incluye una interfaz Web que (con autenticación previa) incluye información sobre las diversas notificaciones recibidas hasta el momento. De cada una de ellas puede obtenerse información detallada y visual sobre posición y condiciones de los pasajeros (uso de cinturón de seguridad, despliegue del airbag, zonas de corte para la excarcelación de los ocupantes, etc.), fecha y hora, localización del accidente (con visualización mediante la API de Google Maps [12]), etc. La Figura 6 presenta un ejemplo de un accidente simulado con 3 ocupantes.

IV. VALIDACIÓN DEL SISTEMA

El prototipo diseñado fue validado en las instalaciones del Departamento de Seguridad Pasiva de Applus+ IDIADA [10] en Santa Oliva (Tarragona). Estas instalaciones albergan uno de los laboratorios de choque más sofisticados del mundo y constituyen un centro oficial para la homologación según el programa EuroNCAP [13].

Debido al coste de emplear vehículos reales en los experimentos de choque, las pruebas con el prototipo e-NOTIFY se realizaron empleando una plataforma (conocida como "trineo") que se desplaza sobre raíles hasta impactar contra una serie de barras metálicas

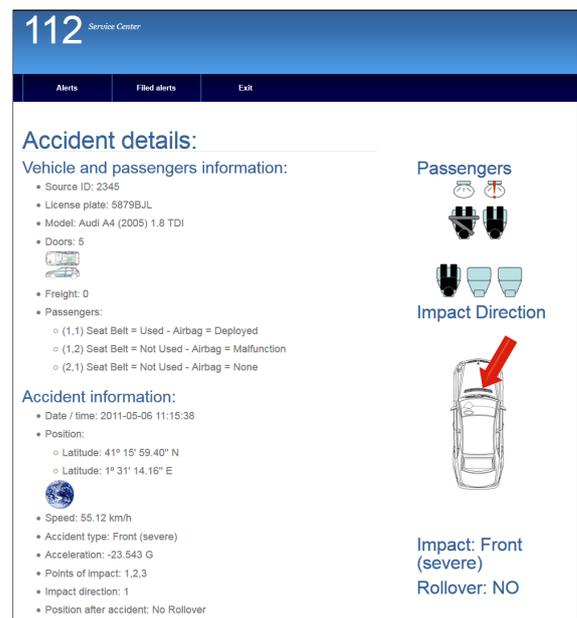


Fig. 6. Captura de la interfaz Web con información sobre un accidente notificado.

que simulan la deformación que sufriría la carrocería del vehículo para amortiguar el golpe. La velocidad a la que se produce el golpe y la configuración de barras utilizada en el test determinan, respectivamente, la clase de accidente detectado y el segmento al que pertenecería el vehículo que se está simulando.

La Figura 7 muestra el trineo utilizado en las pruebas, al cual se fijaron una serie de pesas para completar la simulación del comportamiento de un vehículo convencional. En la Figura 8 aparecen las fijaciones empleadas para instalar el prototipo de OBU a la plataforma. Los ensayos consistieron en pruebas de colisión frontal (que representaron situaciones de accidente severo, accidente leve y no accidente), colisión lateral (situaciones de accidente y no accidente) y colisión trasera (de nuevo, situaciones de accidente y no accidente). La clasificación de la severidad de la colisión viene impuesta por los parámetros que emplea Applus+ IDIADA en los tests EuroNCAP y

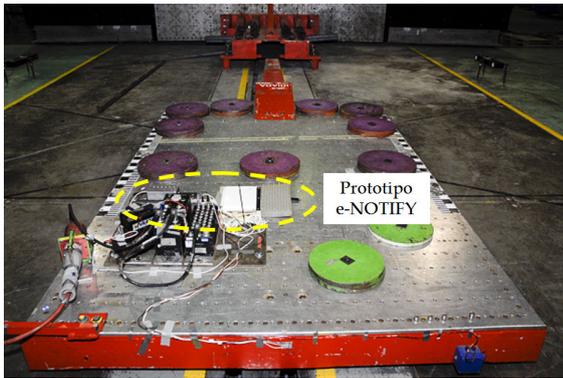


Fig. 7. Trineo con el prototipo e-NOTIFY instalado antes de una prueba de detección de accidente.

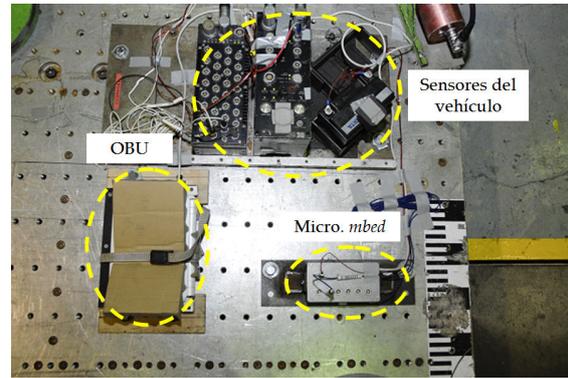


Fig. 8. Primer plano del prototipo montado sobre el trineo.

RCAR [14].

El sistema de prueba incluía un ordenador externo al trineo que recibía información periódica (mediante una red inalámbrica *ad hoc*) de las mediciones registradas por la OBU para asegurar el correcto funcionamiento del módulo de lectura, junto con otro ordenador que simulaba la Unidad de Control encargada de recibir los mensajes de alerta. La prueba permitió demostrar que la OBU era capaz de detectar correctamente tanto la fuerza como la dirección del impacto, así como generar un mensaje de aviso adecuado a partir de los datos de los sensores y enviarlo mediante la tecnología UMTS a la Unidad de Control en todos los ensayos realizados.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se ha presentado el sistema e-NOTIFY, el cual permite mejorar la asistencia de los heridos en accidentes de tráfico, mediante la reducción del tiempo de respuesta de los servicios de emergencia y el envío de información relevante sobre las condiciones del siniestro empleando una combinación de comunicaciones V2V y V2I. Esta arquitectura sustituye los mecanismos habituales de notificación de accidente, basados en testigos presenciales que pueden aportar información incompleta o incorrecta en un tiempo no adecuado. Además, el desarrollo de un prototipo de costo reducido demuestra que es factible la incorporación de este sistema al parque de vehículos a gran escala, siempre que se disponga de la infraestructura externa adecuada (RSUs, servidores dedicados para el tratamiento de los mensajes de aviso, y bases de datos con información suficiente sobre accidentes de tráfico y procedimientos de actuación ante siniestros de esta naturaleza).

Como trabajo futuro se desarrollará una nueva versión del sistema utilizando el estándar 802.11p. Además, se pretende realizar un despliegue del sistema en un entorno real con las OBUs instaladas en los vehículos, para comprobar el comportamiento del sistema con nodos en movimiento a grandes velocidades.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado parcialmente por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante la Ayuda TIN2008-06441-C02-01, y por la Diputación General de Aragón mediante la Ayuda “Subvenciones destinadas a la formación y contratación de personal investigador”.

REFERENCIAS

- [1] Dirección General de Tráfico (DGT), “Las principales cifras de la siniestralidad vial. España 2009,” 2009, Disponible en: http://www.dgt.es/portal/es/seguridad_vial/estadistica.
- [2] H. Hartenstein and K.P. Laberteaux, “A tutorial survey on vehicular ad hoc networks,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 46, no. 6, pp. 164–171, June 2008.
- [3] Hyunseo Oh, Chungil Yae, Donghyon Ahn, and Hanberg Cho, “5.8 GHz DSRC packet communication system for ITS services,” in *Vehicular Technology Conference, 1999. VTC 1999 - Fall. IEEE VTS 50th*, 1999, vol. 4, pp. 2223–2227 vol.4.
- [4] Task Group p, “IEEE P802.11p: Wireless access in vehicular environments (WAVE),” IEEE Computer Society, 2006.
- [5] Miao Chong, Ajith Abraham, and Marcin Paprzycki, “Traffic Accident Analysis Using Machine Learning Paradigms,” *Informatica*, vol. 29, pp. 89–98, 2005.
- [6] AsusTek Computer Inc., “ASUS Eee PC 901 Review,” 2011, Disponible en: <http://www.asus.com/Eee/Eee.PC/Eee.PC.901>.
- [7] Qstarz International Co., “Qstarz BT-Q818XT Bluetooth GPS: Features and Specification,” 2011, Disponible en: <http://www.qstarz.com/Products/GPS%20Products/BT-Q818XT-F.htm>.
- [8] “MBED NXP LPC1768: Información de referencia,” 2011, Disponible en: <http://mbed.org/nxp/lpc1768>.
- [9] Kenneth B. Hornfeck, “A Customizable Socially Interactive Robot with Wireless Health Monitoring Capability,” M.S. thesis, Case Western Reserve University, Cleveland, OH, USA, 2011.
- [10] Applus+ IDIADA: Instituto de Investigación Avanzada del Automóvil, “Información y recursos,” 2011, Disponible en: <http://www.idiada.es>.
- [11] F.J. Martinez, C.-K. Toh, J.-C. Cano, C.T. Calafate, and P. Manzoni, “Emergency services in future intelligent transportation systems based on vehicular communication networks,” *Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE*, vol. 2, no. 2, pp. 6–20, summer 2010.
- [12] “Google Maps API Family,” 2011, Disponible en: <http://code.google.com/apis/maps>.
- [13] EuroNCAP (European New Car Assessment Programme), “Procedimientos de evaluación y resultados de tests,” 2011, Disponible en: <http://www.euroncap.com/testprocedures.aspx>.
- [14] RCAR, the Research Council for Automobile Repairs, “Guías de diseño e información para fabricantes,” 2011, Disponible en: <http://www.rcar.org>.