Sistema de comunicaciones cooperativas I2V para asistencia a la conducción: Semáforo Inteligente a Bordo

I. Iglesias[1], L. Isasi[1], M. Larburu[1], V. Martinez[1] y B. Molinete[2]

([1]) Tecnalia-Automoción y ([2]) Tecnalia-Telecom
TECNALIA-ROBOTIKER
Parque Tecnológico, Edif. 202 – 48170 Zamudio
{iiglesias, lucia, mlarburu, vmartinez, bmolinete}@robotiker.es

***Abstract* — Los sistemas cooperativos inteligentes basados en comunicaciones inalámbricas vehículo a vehículo (V2V) y vehículo a infraestructura (V2I) ofrecen perspectivas muy interesantes de aplicación para contribuir a la mejora de la seguridad vial y al incremento de la eficiencia de los medios de transporte. En el ámbito de la seguridad preventiva, los sistemas cooperativos de asistencia a la conducción extienden la funcionalidad de los propios sistemas de seguridad integrados en el vehículo, ampliando el horizonte espacio-temporal del conductor así como la calidad y la fiabilidad de la información del entorno a su alcance y contribuyendo a mejorar su capacidad de respuesta frente a los eventos que se produzcan. En este documento se propone un sistema de asistencia a la conducción que traslada la información visual de los semáforos al interior de los vehículos a lo largo de su trayectoria de aproximación mediante tecnologías de posicionamiento y comunicaciones cooperativas I2V, permitiendo así predecir su estado en el momento del alcance y notificarlo al conductor mediante una interfaz gráfica intuitiva (HMI).**

I. Introducción

La integración de sistemas inteligentes basados en tecnologías de comunicaciones inalámbricas en el entorno vehicular (V2V/V2I) para mejorar la seguridad y la eficiencia en el transporte es una tendencia cada vez más marcada en el panorama de la investigación actual y apoyada mundialmente tanto a nivel institucional como industrial con numerosas iniciativas como VSCC (*Vehicle Safety Communications Consortium*) [1] y VII (*Vehicle-Infrastructure Integration*) en EEUU, SMARTWAY y VICS (*Vehicle Information and Communication System*) [2] en Japón y un gran número de actividades de I+D promovidas por la Comisión Europea en el marco de su "*i2010: Intelligent Car Initiative*" (*Smarter, Cleaner and Safer vehicles*) [3], como los proyectos PReVENT, CVIS, SAFESPOT y COOPERS, entre otros [4].

Existen importantes actividades de estandarización en curso como CALM (*Continuous Air Interface for Long and Medium Range*) para establecer un marco regulador estable y globalmente compatible que favorezca su impacto en el mercado [5]. Paralelamente en el sector industrial, el consorcio Car2Car (C2C-CC) promueve un estándar abierto e interoperable para sistemas de comunicaciones vehiculares basado en tecnologías WLAN y apoya la asignación de una banda específica de frecuencia a 5,9GHz para aplicaciones críticas en cuanto a la seguridad [6].

En el ámbito específico de la seguridad preventiva los sistemas cooperativos aportan un valor añadido excepcional, complementando y ampliando la función de los sistemas de seguridad activa integrados en los vehículos y haciendo posible el intercambio de información entre dichos vehículos y con elementos de la infraestructura viaria. Esta información puede ser utilizada directamente por los sistemas a bordo o mostrada al conductor a través de interfaces multimodales (imagen, voz, sonido…etc.). Los sistemas cooperativos de asistencia a la conducción constituyen un grupo particular de aplicaciones en las que predomina la comunicación I2V como el caso que se presenta: Semáforo Inteligente a Bordo (SIB).

En la sección II se describen los componentes de SIB. Se emplea tecnología WLAN 802.11, concretamente el estándar IEEE 802.11a (banda de 5,8GHz), por razones de convergencia con las tendencias de asignación de espectro. La sección III profundiza en su funcionamiento y desarrollo, mientras que la IV presenta el escenario de experimentación y las pruebas realizadas. Finalmente, en la sección V se exponen los resultados obtenidos y en la VI se extraen las conclusiones.

II. Componentes del sistema

El sistema SIB predice e informa al conductor del estado futuro de un semáforo (rojo, ámbar, verde) al que se aproxima teniendo en cuenta información adquirida por el propio vehículo (posición y velocidad) e información recibida del semáforo (posición del semáforo, estado actual, tiempo restante hasta el próximo cambio de estado e intervalo de duración de los 3 estados posibles) mediante un enlace de comunicaciones inalámbricas 802.11a.

A. Hardware

Tanto la infraestructura (semáforo) como el vehículo disponen de configuraciones básicas de hardware similares con dos ordenadores con arquitectura PC por elemento, uno dedicado a la gestión de las comunicaciones 802.11a y el otro a las aplicaciones software de control. Estos dos ordenadores de comunicaciones y de aplicaciones de control están conectados entre sí mediante conexión Ethernet.

La configuración hardware a bordo del vehículo está basada en:

- KONTRON 986LCD-M/mITX: plataforma de procesamiento dedicada a las aplicaciones de control, alimentada a través del conector ATX (12V) con la batería del coche.
- DELL Latitude D800: PC portátil dedicado a la gestión de las comunicaciones.
- XENARC 700IDT 7": pantalla táctil de interfaz al conductor (HMI). Monitor VGA LCD integrado en el hueco DIN de la radio del vehículo.
- Wintec G-Rays WBT-300: receptor GPS USB/Bluetooth basado en chipset Atmel-uBlox ATR 0625. Transmite información de posición y velocidad del vehículo en formato NMEA.

La configuración hardware para la infraestructura (semáforo) está basada en:

- DELL Latitude D800: PC portátil dedicado a la gestión de las comunicaciones.
- DELL Latitude D800: PC portátil dedicado a las aplicaciones de control.

El hardware de comunicaciones común tanto al vehículo como a la infraestructura (semáforo) es el siguiente:

- UBIQUITI SRC 300mW: tarjeta wireless cardbus tri-modo 802.11a/b/g (2,4 y 5GHz) basada en chipset Atheros.
- MOBILE MARK PSKN3-24/55S: antena dual (2,4 y 5GHz) con conector SMA. Se emplean 2 antenas por elemento para mejorar la transmisión/recepción mediante diversidad.

Fig. 1. SIB: diagrama de comunicaciones del sistema

Fig. 2. Configuración de equipos a bordo del vehículo

B. Software

En la configuración final se ha optado por un Sistema Operativo Linux Debian 4.0 junto con el *driver* MadWifi 0.9.4 para el ordenador dedicado a la gestión de las comunicaciones 802.11a, y Windows XP SP2 para el ordenador donde operan las aplicaciones de control. La amplia disponibilidad de herramientas de administración y configuración de las comunicaciones inalámbricas en Linux ha sido un factor decisivo a la hora de elegir este S.O. para el ordenador de comunicaciones.

Todas las aplicaciones de control han sido desarrolladas bajo el entorno LabVIEW 8.2 (National Instruments), operando sobre S.O. Windows XP SP2.

III. Principios del sistema y software de control

A. Funcionamiento del sistema

SIB proporciona asistencia al conductor, facilitándole con un margen temporal considerablemente superior al del alcance visual el estado (rojo, ámbar, verde) del siguiente semáforo con el que se encontrará en su trayecto, información que es difundida continuamente (cada 100 ms.) por el semáforo a través de un canal de comunicación 802.11a. Se ha seleccionado el canal superior de la banda disponible (Ch165 a 5,825GHz) por ser el más próximo a la banda de 5,9GHz, en la que se realizará la asignación de espectro para aplicaciones V2V/V2I de carácter crítico para la seguridad vial. Una vez que el vehículo entra en el radio de cobertura de este canal, establece comunicación con el semáforo y comienza a recibir tramas de datos conteniendo la siguiente información:

- Coordenadas UTM del semáforo
- Estado actual en el que se encuentra el semáforo (rojo, ámbar, verde), así como el tiempo que resta hasta cambiar al siguiente estado
- Intervalos de duración de cada uno de los tres estados del semáforo (rojo, ámbar, verde) en segundos
- Además, durante todo el trayecto, el vehículo conoce su posición y su velocidad gracias al receptor GPS a bordo

Con la información proveniente del semáforo y del receptor GPS, el algoritmo de control de SIB permite predecir e informar al conductor del estado del semáforo en el preciso instante en que el vehículo lo cruce con anterioridad suficiente para que pueda adaptar su patrón de conducción a la situación.

Siempre que el vehículo esté en movimiento, el algoritmo calcula la distancia en metros existente entre el vehículo y el semáforo a partir de las coordenadas de ambos. El vehículo dispone de ambas posiciones: la propia, gracias al receptor GPS a bordo y la del semáforo, recibida periódicamente a través del canal 802.11a. Seguidamente, con la velocidad y la distancia, se calcula el tiempo que le resta al vehículo hasta llegar al semáforo. Conocido dicho valor y el tiempo restante hasta el cambio de estado del semáforo, se puede finalmente predecir el estado del semáforo cuando sea alcanzado por el vehículo.

B. Desarrollo de la aplicación

El algoritmo de control de la aplicación SIB ha sido desarrollado en el entorno LabVIEW 8.2. Se ha elegido este software por su orientación a la instrumentación y la adquisición de señales, lo que permitirá continuar esta línea de trabajo en el futuro equipando los vehículos con sensores y actuadores para dotarlos de mayor inteligencia y capacidad de percepción.

La aplicación se estructura en módulos: uno de configuración inicial, el núcleo central (multimodular a su vez) y finalmente la presentación de resultados.

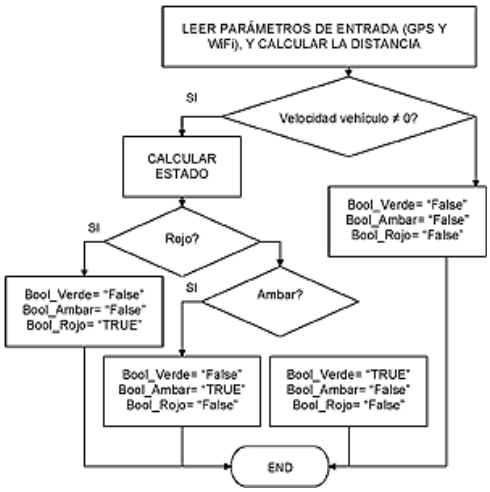

Fig. 3. Diagrama de bloques del algoritmo de control

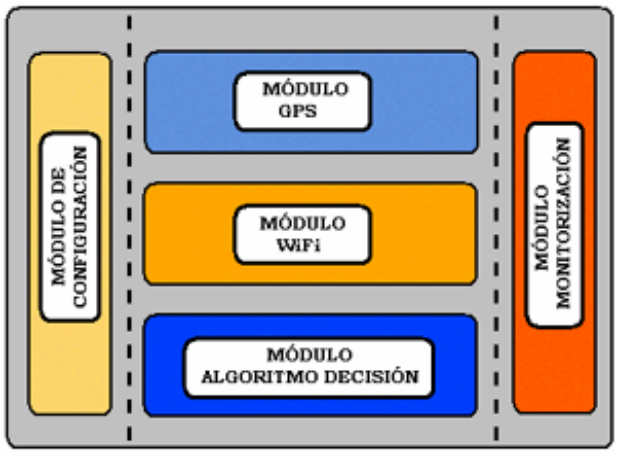

Fig. 4. Estructura modular de la aplicación

- Módulo de **configuración**: permite especificar si la aplicación actuará como vehículo o como semáforo e introducir los parámetros de entrada adecuados en cada caso para su correcto funcionamiento.
  - En modo "semáforo":
    - Posición del semáforo en coordenadas geométricas (fija)
    - Intervalo de permanencia en cada uno de los tres estados (rojo, ámbar, verde)
    - Estado inicial en que se desea que el semáforo comience a funcionar
  - En modo "vehículo":
    - Nombre del vehículo
    - Velocidad de referencia en km/h
    - Número del puerto serie para la conexión con el dispositivo GPS
    - Número de iteraciones que se desea realizar en el ciclo de decisión, como ajuste estadístico del algoritmo de control, con objeto de evitar resultados ambiguos
- Módulo **GPS**: controla la adquisición de datos procedentes del receptor GPS a bordo para detectar la posición y la velocidad del vehículo, fracciona dichas tramas y realiza operaciones de conversión para que los datos de salida sean posición en coordenadas UTM y velocidad en Km/h.
- Módulo **WiFi**: gestiona las comunicaciones en el canal 802.11a, tanto en transmisión como en recepción. Se ha optado por emplear el protocolo UDP (*User Datagram Protocol*), que agiliza el establecimiento de redes ad-hoc sin que exista una conexión previa, ya que incorpora la información necesaria de direccionamiento en las cabeceras de los mensajes, si bien no garantiza plenamente por sí mismo la correcta recepción de los datos transmitidos en el extremo remoto del enlace.
  - En modo "semáforo" opera como transmisor y envía una trama formada por los siguientes parámetros:
    - Posición del semáforo en coordenadas UTM
    - Intervalo de duración de cada estado en segundos
    - Estado actual en el que se encuentra
    - Tiempo en milisegundos que resta hasta el cambio al siguiente estado
  - En modo "vehículo" el módulo de comunicación opera como receptor, recibe la trama enviada por el semáforo, extrae la información contenida en ella y la suministra al módulo Algoritmo Decisión.
- Módulo **Algoritmo Decisión**: determina, en función de los parámetros de entrada, el estado del semáforo cuando el vehículo lo alcance.
- Módulo **Monitorización**: visualiza los resultados del algoritmo de control en cada caso.

IV. ESCENARIO Y PRUEBAS REALIZADAS

Las pruebas de campo se han llevado a cabo en el Parque Tecnológico de Zamudio conforme a un plan de pruebas definido a tal efecto, sobre un trazado recto de 500m de longitud con línea de visión directa (LOS) entre semáforo y vehículo en trayectoria de aproximación y preferentemente en días soleados, para facilitar la adquisición del mayor número posible de satélites por el receptor GPS. Para garantizar que la información de posicionamiento proporcionada por dicho receptor es mínimamente consistente y no afecta al resultado de las pruebas, se establece un umbral de visualización de 7 satélites para que una prueba se considere aceptable.

Se han definido 5 casos de prueba (*Test Cases*) a partir del cruce de dos variables: la velocidad de aproximación del vehículo al semáforo (constante y de valor 30, 50 o 80Km/h) y la tecnología de radio empleada para la transmisión (802.11a o 802.11g), con objeto de estudiar comparativamente su rendimiento. Para cada caso de prueba se han identificado los hitos del trazado en los que SIB ha presentado al conductor el resultado del algoritmo de decisión en pantalla, esto es, el estado en que se encontrará el semáforo al que se aproxima en el momento de alcanzarlo. El experimento se ha repetido 15 veces para cada caso de prueba con objeto de extraer valores medios y óptimos de distancia, así como porcentajes de fiabilidad (acierto) del sistema. De este modo se han realizado un total de 105 pruebas, de las cuales se han descartado 30 por no cumplir los requisitos mínimos de aceptabilidad (número de satélites a la vista, tráfico imprevisto en la zona de pruebas o interferencias en la señal provocadas por equipos ajenos indeseados, como ciertos inhibidores de frecuencia presentes en la zona).

Los resultados obtenidos de todas las pruebas se han registrado detalladamente: por un lado, los relativos al funcionamiento del algoritmo de decisión de SIB, en los que se recoge su proceso iterativo; por otro, todas las tramas WiFi enviadas por el semáforo y recibidas en el vehículo, que aportan información sobre el tráfico de datos entre ambos; el nivel de señal de radio, monitorizado a través del *driver* Madwifi y finalmente, todas las tramas recibidas por el receptor GPS a bordo, que permiten efectuar el cálculo de distancias al semáforo a lo largo de la trayectoria del vehículo.

A partir de la información recopilada se han evaluado fundamentalmente cuatro parámetros operativos de SIB:

- **Eficacia**: medida en términos de su tiempo de respuesta y, en consecuencia, de la distancia a la que el conductor recibe anticipadamente la información sobre el estado del semáforo que va a encontrar a continuación. El sistema se considerará eficaz si dicha distancia permite al conductor reaccionar con tiempo suficiente ante la situación que se producirá a la altura del semáforo. Se tendrán en cuenta tanto distancias óptimas como medias, para cada uno de los 5 casos de prueba definidos.
- **Fiabilidad**: medida en términos de porcentaje de acierto en la asistencia a la conducción. Se considerará acierto cuando el estado del semáforo predicho por SIB y visualizado anticipadamente en pantalla a bordo coincida con el estado real del semáforo en el instante en que es alcanzado por el vehículo.
- **Nivel de señal radio**: medida en términos de potencia de señal detectada en el vehículo (RSSI). Se analizará su evolución en función de la distancia a lo largo de la trayectoria de aproximación hacia el semáforo de forma comparativa entre las dos tecnologías de radio utilizadas (802.11a/g) y a las distintas velocidades predefinidas para el vehículo.
- **Tráfico de datos**: medido en términos de número de mensajes enviados por el semáforo y recibidos a bordo del vehículo desde el instante en que ambos establecen conexión hasta que el semáforo es rebasado. Igualmente, se analizará para cada caso de prueba su evolución en función de la distancia a lo largo de la trayectoria de aproximación hacia el semáforo.

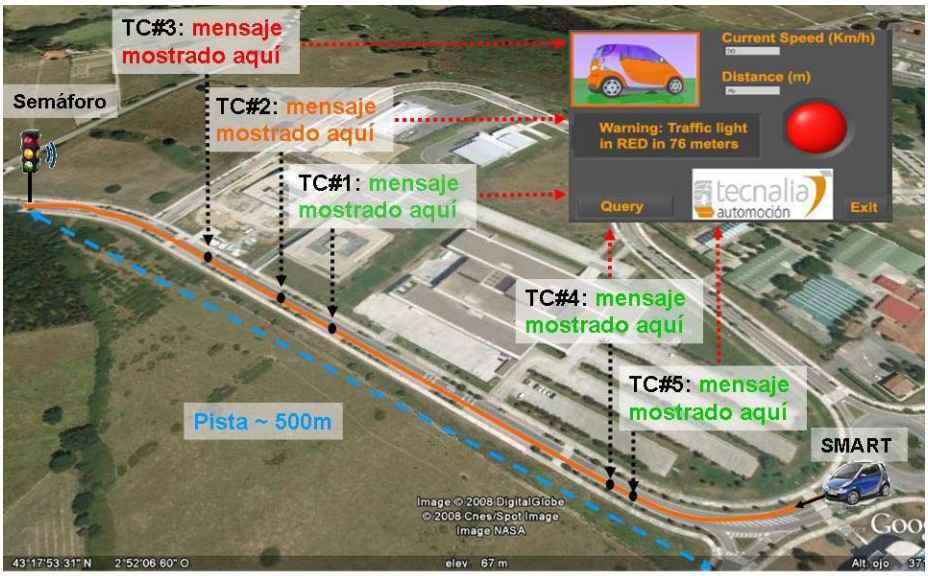

Fig. 5. Escenario de pruebas e interfaz de usuario (HMI) de la aplicación SIB en modo "vehículo"

V. RESULTADOS

En la figura 6 se representan gráficamente los valores de distancia a la que SIB ha asistido anticipadamente al conductor en cada una de las pruebas realizadas. Se observa un grado de variabilidad significativo, superior al esperado, en dichos valores dentro de cada caso de prueba, en torno a 150m. Como cabía esperar, las distancias obtenidas utilizando 802.11g son notablemente superiores a las resultantes del empleo de 802.11a, circunstancia que se deriva de su mayor alcance en términos generales con las tarjetas utilizadas, debido a su potencia máxima de transmisión (300mW frente a 100mW para 802.11a), su sensibilidad en recepción (-96dBm frente a -92dBm para 802.11a) y su banda de frecuencia de trabajo (2,4GHz frente a 5,8GHz para 802.11a).

En cuanto a las variaciones de velocidad del vehículo para los distintos casos de prueba realizados con un mismo estándar de radio, se aprecia una tendencia generalizada y razonable según la cual, la prestación de asistencia a bordo por parte de SIB se produce más cerca del semáforo, esto es, con menor anticipación, cuanto mayor es la velocidad a la que se circula. Esta tendencia es más marcada en el caso de 802.11a (TC#1, TC#2 y TC#3), si bien no presenta un comportamiento coherente y existen casos puntuales en los que el mayor grado de anticipación se ha obtenido a la mayor de las velocidades de prueba (80Km/m), por lo que no se puede considerar concluyente.

Teniendo en cuenta que existe un breve intervalo de procesamiento entre el instante en que se establece el canal de comunicación inalámbrica entre vehículo y semáforo y el instante en que el mensaje de SIB se visualiza en pantalla, se infiere que las distancias correspondientes al alcance de dicho enlace de comunicación para cada una de las pruebas serán ligeramente superiores. Registrando ambos instantes y comparando sus respectivas distancias asociadas, se obtienen alcances en torno a 25m superiores por término medio a las distancias que reflejan las gráficas.

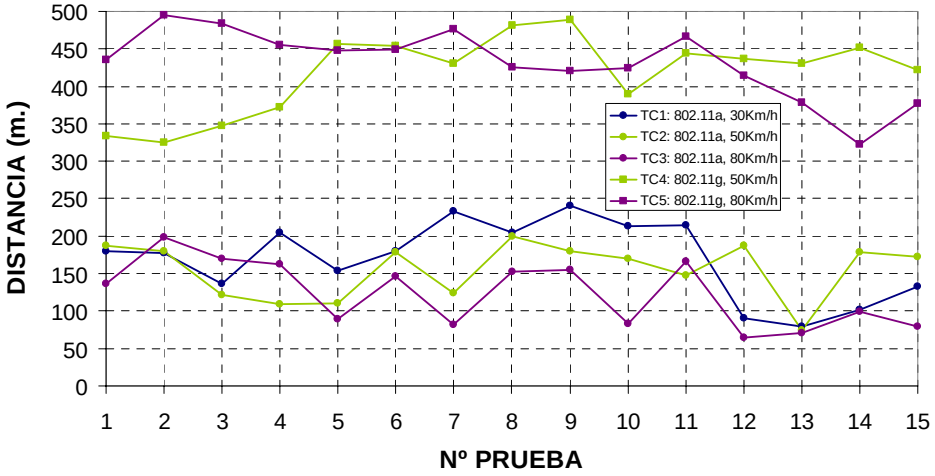

Fig. 6. Distancia del semáforo a la que el conductor recibe asistencia de SIB en pantalla

Los resultados más significativos en cuanto a la eficacia y fiabilidad del sistema se muestran en la Tabla I. Cuanto mayor es la distancia entre semáforo y vehículo en el momento en que se visualizan los resultados en pantalla a bordo, más eficaz es el sistema ya que es mayor la expansión de la percepción visual del conductor conseguida a través del canal de comunicación y por consiguiente, su capacidad de reacción, además del factor predictivo, que constituye la principal fortaleza de SIB. Por su parte, a mayor porcentaje de acierto obtenido en cada caso, mayor es la fiabilidad del sistema. La combinación de ambos factores aporta una medida global de la robustez de SIB.

TABLA I
RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Test Case	**Velocidad (Km/h)**	**Tecnología de radio utilizada**	**Distancia al semáforo en el instante de predicción**		**Porcentaje de acierto (%)**
			Distancia media (m)	**Distancia óptima (m)**	
#1	30	802.11a	180	241	93,4
#2	50	802.11a	173	200	93,4
#3	80	802.11a	141,5	199	100
#4	50	802.11g	431	489	93,4
#5	80	802.11g	436	495	100

El porcentaje de acierto, y con él la fiabilidad de SIB, se revelan como muy elevados, si bien cabe reseñar que, contrariamente a lo esperado, la mayor tasa de acierto (100%) se produce en los casos de prueba en los que la velocidad del vehículo es mayor (80Km/h, TC#3 y TC#5). En el resto de los casos, el porcentaje es del 93,4%, lo que se traduce en una prueba fallida entre las 15 realizadas por cada caso y en un total de 3 pruebas fallidas en todo el proceso. Analizando en

detalle las causas de estos errores se observa que se corresponden con pruebas en las que se detectaron cortes de conectividad en el enlace de comunicación semáforo-vehículo, que han afectado directamente al proceso iterativo del algoritmo de decisión, alterando su resultado.

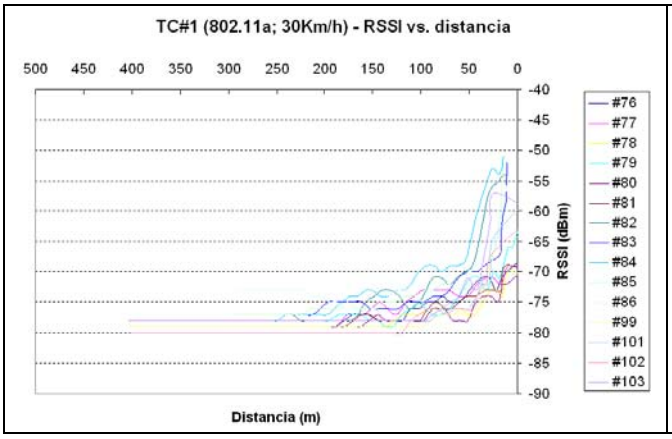

Fig. 6. TC#1 (802.11a; 30Km/h): RSSI vs. distancia

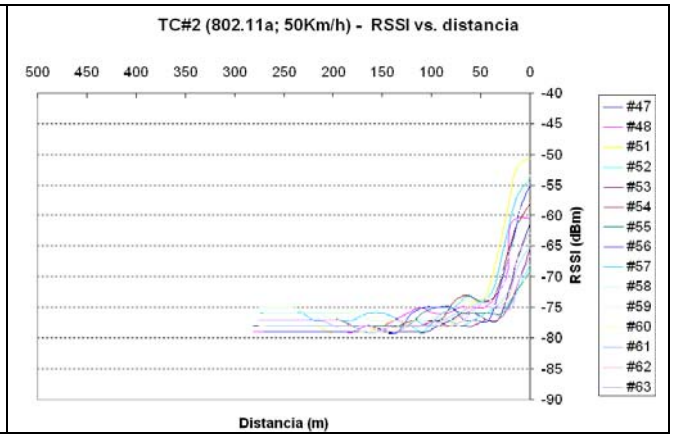

Fig. 7. TC#2 (802.11a; 50Km/h): RSSI vs. distancia

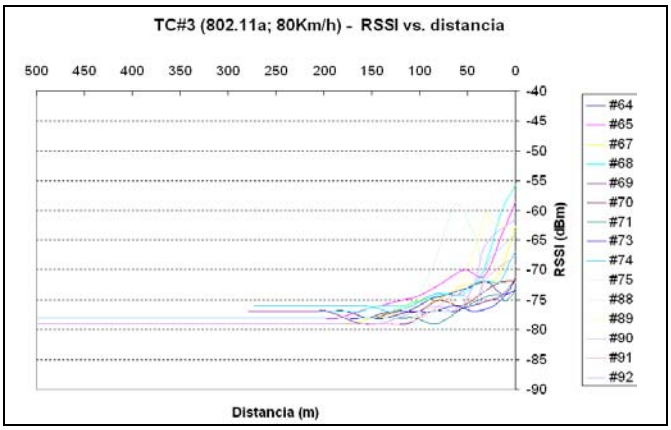

Fig. 8. TC#3 (802.11a; 80Km/h): RSSI vs. distancia

Las figuras 6-10 reflejan la evolución del nivel de señal radio (RSSI) detectada a bordo del vehículo a lo largo de su trayectoria de aproximación hacia el semáforo para cada uno de los casos de prueba. En su análisis se pueden considerar varios aspectos. La RSSI presenta un comportamiento razonablemente coherente en todas las repeticiones del experimento dentro del mismo caso de prueba, aumentando de forma progresiva desde el nivel mínimo detectable (sensibilidad de la tarjeta) hasta alcanzar su máximo a la altura del semáforo, por lo que se puede extraer una curva media RSSI vs. distancia consistente para cada caso.

En cuanto a la tecnología de radio y como cabía esperar, el incremento de RSSI se produce de forma más gradual con 802.11g debido a la mayor sensibilidad de la tarjeta, lo que se traduce en curvas más largas y de pendiente más suave. En cambio, con 802.11a se obtienen curvas de pendiente más abrupta, ya que la menor sensibilidad provoca una detección más tardía de la señal y, por tanto, más próxima a la ubicación del semáforo. En cuanto al efecto de la variación de velocidad para una misma tecnología de radio, se observa que el comportamiento de las curvas es similar en términos generales pero que a medida que la velocidad es menor, la variabilidad de la curva relativa a cada repetición del experimento por separado es mayor. De este modo, las curvas más sinuosas se obtienen a la menor velocidad probada (30Km/h) y las menos sinuosas a la velocidad más alta (80km/h), tanto para 802.11a como para 802.11g. Esto puede deberse a que el número de datos (puntos de la gráfica) obtenidos en las pruebas a menor velocidad es mayor, ya que la duración de la trayectoria y por tanto, el intervalo de adquisición de datos es mayor. De ahí la variabilidad más marcada en las curvas obtenidas por interpolación.

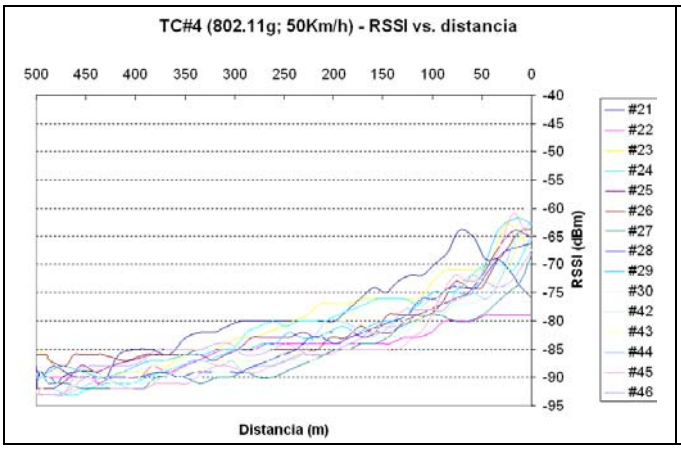

Fig. 9. TC#4 (802.11g; 50Km/h): RSSI vs. distancia

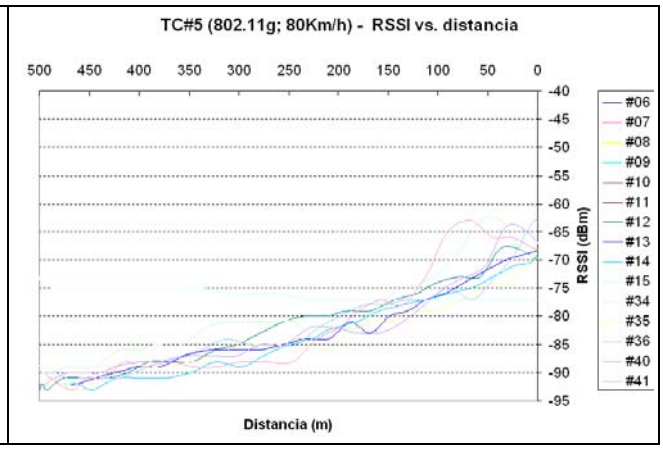

Fig. 10. TC#5 (802.11g; 80Km/h): RSSI vs. distancia

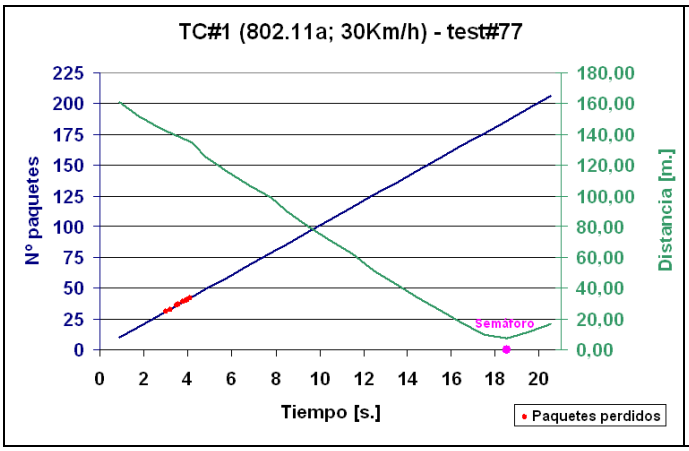

Fig. 11. TC#1 (802.11a; 30Km/h): tráfico de datos prueba #77

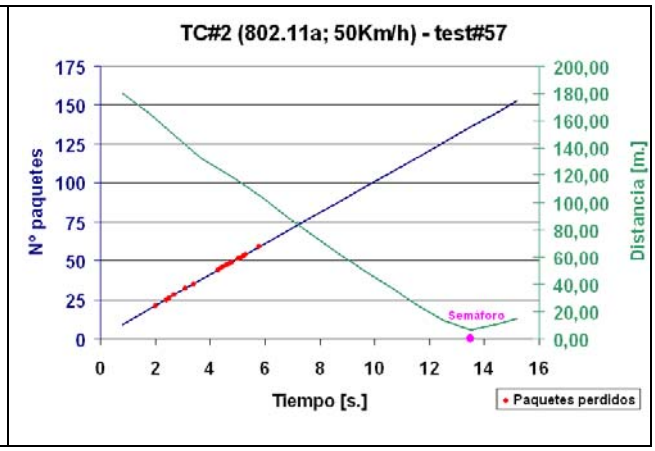

Fig. 12. TC#2 (802.11a; 50Km/h): tráfico de datos prueba #57

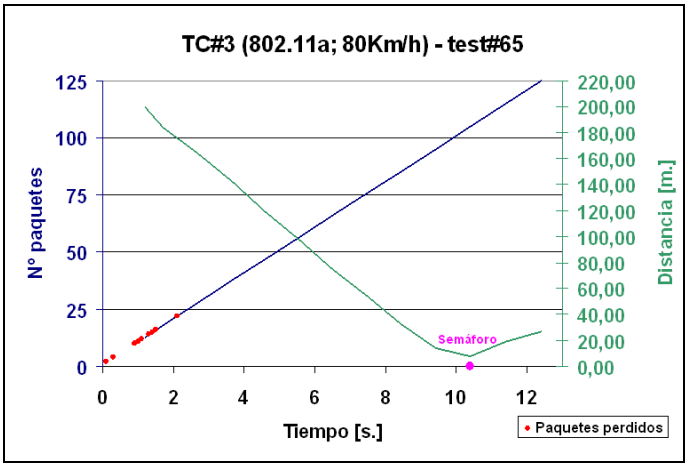

Fig. 13. TC#3 (802.11a; 80Km/h): tráfico de datos prueba #65

Las gráficas 11-15 muestran la evolución del tráfico de datos recibido a bordo del vehículo a lo largo de su trayectoria de aproximación hacia el semáforo para uno de los 15 experimentos realizados en cada caso de prueba. En líneas generales se observa que la distancia a la que se activa la recepción de paquetes en el vehículo es mayor al emplear 802.11g, de forma análoga a lo que sucede con la RSSI y todo ello ligado al mayor alcance que proporciona este estándar. En consecuencia, la cantidad total de paquetes intercambiados en los experimentos con 802.11g así como la duración de los mismos es significativamente superior frente a los experimentos realizados con 802.11a. A su vez, dentro de las pruebas realizadas con un mismo estándar, a mayor velocidad del vehículo, tanto la distancia inicial de recepción como el número de paquetes intercambiados y la duración global del experimento son menores.

El rendimiento de la comunicación entre semáforo y vehículo evaluado en cuanto a proporción entre datos enviados y recibidos arroja resultados de pérdidas de paquetes entre un 1% y un 15%. En la práctica totalidad de los casos, estas pérdidas no han supuesto impacto alguno sobre el funcionamiento del algoritmo de decisión de SIB, ya que su mensaje de predicción ha sido correcto en casi todos los casos, salvo en 3 de las 105 pruebas realizadas. No se ha encontrado una relación coherente entre la tecnología de radio empleada y las variaciones en el rendimiento de la comunicación de una prueba a otra, sino que éstas se producen indistintamente sea cual sea el estándar utilizado. Por lo general, las pérdidas de paquetes se producen en el primer tramo del recorrido, hasta que el enlace de comunicación se estabiliza completamente. Finalmente y en contra de lo esperado, cabe reseñar que, al igual que sucede con la eficiencia del sistema, el rendimiento global de la comunicación ha sido notablemente mejor en las pruebas realizadas a 30 y 80Km/h (<10% pérdidas de paquetes) que en las pruebas a 50Km/h (>10% pérdidas de paquetes). Este comportamiento anómalo se ha producido de forma común a los dos estándares de radio utilizados: 802.11a y 802.11g.

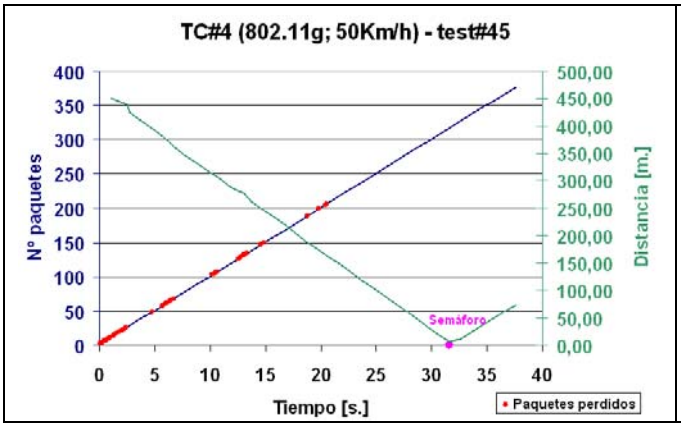

Fig. 14. TC#4 (802.11g; 50Km/h): tráfico de datos prueba #45

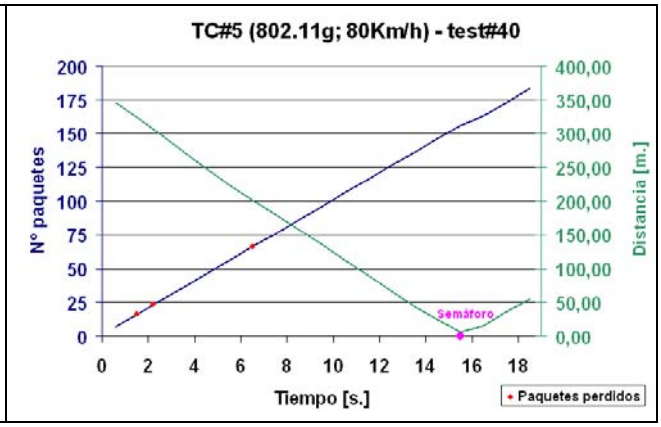

Fig. 15. TC#5 (802.11g; 80Km/h): tráfico de datos prueba #40

VI. Conclusiones

SIB se revela como un instrumento realmente útil en la asistencia a la conducción trasladando la información visual del semáforo al interior del vehículo, ampliando el horizonte espacio-temporal de percepción del conductor, es decir, proporcionándole información de entorno con una anticipación superior a la habitual y con carácter predictivo; en definitiva, concediéndole mayor libertad de actuación.

El canal principal de comunicaciones empleado (802.11a, a 5,8GHz) muestra un rendimiento aceptable en el escenario de pruebas en términos de alcance (hasta 500m con LOS) y de estabilidad de enlace. El establecimiento de la conexión inalámbrica y la red ad-hoc han mejorado ostensiblemente con la utilización del S.O. Linux y el *driver* Madwifi para la gestión de la comunicación. El estudio comparativo de funcionamiento empleando una tecnología de radio alternativa (802.11g a 2,4GHz) arroja resultados igualmente aceptables e incluso superiores en la mayoría de los casos en lo que respecta al alcance de la comunicación y, por extensión, a la distancia de decisión del sistema, en la que el mensaje de asistencia es mostrados en pantalla a bordo del vehículo. No obstante, por cuestiones de saturación de la banda de frecuencias de 2,4GHz y de posibles interferencias entre equipos operando en la misma, es recomendable trasladar la operativa de este tipo de sistemas y aplicaciones críticas para la seguridad a otra banda cuyo rendimiento sea adecuado, como es el caso de la banda de 5GHz y el estándar 802.11p,

La versión actual de SIB presenta una limitación debida al receptor GPS, de uso doméstico y que permite la adquisición de tramas con un refresco máximo de 1 segundo. Ello conlleva un empeoramiento de los resultados y una cierta pérdida de valor añadido del sistema para velocidades superiores a 70Km/h. Teniendo en cuenta que en España la limitación de velocidad dentro del área urbana es de 50 Km/h, esto no supone un grave problema, aunque podría serlo a velocidades mayores. El empleo de un receptor de precisión y de alta frecuencia de refresco contribuiría a minimizar su impacto. Una de las líneas de mejora previstas consiste en la sensorización interna del vehículo para obtener directamente su velocidad, en lugar de hacerlo a través del receptor GPS. Otras líneas de trabajo consideradas pasan por la definición de escenarios más complejos: introduciendo varios semáforos con distinta orientación para evaluar la capacidad de discernimiento del sistema, estudiando el uso de otras pistas de pruebas con obstáculos que dificulten la visión directa (NLOS) y diseñando nuevas aplicaciones orientadas a las comunicaciones entre vehículos que hagan posible el despliegue de un sistema integral V2V-I2V para la realización de pruebas más ambiciosas.

Finalmente, cabe reseñar el impacto ecológico de SIB: predecir el estado de un semáforo con suficiente antelación asiste al conductor para adaptar su patrón de conducción desde el punto de vista del *eco-driving* y la eficiencia energética [7].

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca dentro de los proyectos INNOCAR: Conceptos Innovadores en un Entorno de Inteligencia Ambiental para el Automóvil de la Próxima Generación e INCAVE: Integración de Comunicaciones Avanzadas en Plataformas Vehiculares, financiados por el Gobierno Vasco a través del programa SAIOTEK.

Referencias

[1] Vehicle Safety Communications Consortium (VSCC) results - http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-12/060419-0843/MainTOC.htm
[2] Vehicle Information and Communication System (VICS) - http://www.vics.or.jp/english/index.html
[3] i2010 Intelligent Car Initiative (3rd eSafety Communication) – European Commission - http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l31103.htm
[4] eSafety Compendium – Addendum I - http://www.esafetyoffice.com/en/learn_about_esafety_systems/publications/publications.htm
[5] The CALM HandBook (*ISO TC204-WG16)* - http://www.tc204wg16.de/Public/The%20CALM%20Handbookv2-060215.pdf
[6] Car2Car Communication Consortium Manifesto - http://www.car-to-car.org/index.php?id=570
[7] Ecodriving Official Website - http://www.ecodrive.org/