

ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES EN OASIS: DESARROLLO DE UNA PILA DE COMUNICACIÓN ITS SIGUIENDO LOS CONCEPTOS DE CALM Y ARQUITECTURA EUROPEA DE COMUNICACIÓN ITS

JOSÉ SANTA LOZANO¹

Doctor en Informática. Profesor Asociado. Universidad de Murcia. Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones, Facultad de Informática, Campus de Espinardo. 30100 Murcia (Murcia).

MANUEL MORA GONZÁLEZ

Ingeniero en Informática. Investigador. Universidad de Murcia.

ANTONIO MORAGÓN JUAN

Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas. Investigador. Universidad de Murcia.

ANDRÉS S. GARCÍA RUIZ

Ingeniero en Informática. Investigador predoctoral. Universidad de Murcia.

PEDRO J. FERNÁNDEZ RUIZ

Ingeniero en Informática. Investigador. Universidad de Murcia.

FERNANDO BERNAL HIDALGO

Ingeniero en Informática. Investigador. Universidad de Murcia.

ANTONIO F. SKARMETA GÓMEZ

Doctor en Informática. Catedrático de Universidad. Universidad de Murcia.

JAIME ARRAZOLA PÉREZ

Ingeniero en Electrónica. Ingeniero de redes. Indra.

RESUMEN: Tras un ciclo de trabajos de investigación centrados en la investigación básica en comunicaciones vehiculares, los esfuerzos actuales en ITS sobre sistemas cooperativos

¹ Autor a cargo de la comunicación durante el congreso.

van dirigidos hacia el siguiente paso: pruebas de entornos reales (del inglés *Field Operational Test* - FOT). En este sentido, el presente artículo describe una pila de comunicaciones lista para servicios vehiculares, que incluye características esenciales para la primera generación de vehículos conectados. Para proporcionar conectividad IPv6 de una forma continua y segura a una red intra-vehicular, se hace uso de las siguientes tecnologías: NEMO (*Network Mobility*), IPSec (*Internet Protocol Security*) y EAP (*Extensible Authentication Protocol*). Sobre esta base mejorada de IPv6 se utiliza IMS (*Internet Multimedia Subsystem*), a modo de red *overlay* para los servicios vehiculares. Además, para gestionar el ciclo de vida del software se utiliza el framework OSGi, el cual facilita la instalación de aplicaciones y sobre el que se ha implementado un HMI (*Human Machine Interface*) extensible. La propuesta que se presenta en este artículo se ajusta a las especificaciones ISO TC 204 y ETSI TC sobre ITS, integra protocolos del IETF ampliamente usados en Internet y está en proceso de mejora en el marco del proyecto CENIT OASIS².

1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la atención que se le ha prestado a las comunicaciones vehiculares ha ido creciendo notablemente. La comunidad investigadora centrada en ITS (*Intelligent Transportation Systems*) ha trabajado durante años en sistemas autónomos, orientados tanto en el lado de la infraestructura como en el del vehículo. Esto se pone de relevancia en los actuales sistemas de seguridad, monitorización de tráfico y entretenimiento que se encuentran integrados en los vehículos comerciales. Sin embargo, se prevé que la inercia de este mercado cambie gradualmente en el próximo lustro, debido a los grandes esfuerzos en investigación sobre sistemas cooperativos en vehículos que se han realizado recientemente. De acuerdo con los nuevos esquemas, la infraestructura y los subsistemas del vehículo no serán independientes nunca más. Las redes de comunicación deberán interconectar los procesos del lado de la infraestructura (*I2I* - infrastructure to infrastructure); facilitarán el modo en que se proporcionan los servicios a los vehículos (*V2I/I2V* - infrastructure to vehicle); y serán la semilla para los futuros servicios cooperativos entre vehículos (*V2V* - vehicle to vehicle). Como resultado de los esfuerzos en investigación en comunicaciones vehiculares, ahora mismo estamos inmersos en una fase de desarrollo de

² <http://www.cenitoasis.com/>

aquellos avances previos con carácter teórico y/o simulado, obteniendo resultados preliminares [15]. La Unión Europea es consciente de estas necesidades, por lo que en el Sexto y, sobre todo, Séptimo Programa Marco ha centrado su inversión en proyectos de pruebas de entornos reales (del inglés *Field Operational Test* - FOT). Los primeros proyectos, como EuroFOT, han dado paso a nuevo conjunto de iniciativas nacionales e internacionales. Algunos proyectos de este tipo son el alemán simTD, el francés SCOR@F, el español OASIS, o los recientes europeos DRIVE C2X y FOTsis. A pesar de que estas iniciativas parten de la base de proyectos anteriores, tales como CVIS o Coopers, se aprecia que existe un hueco entre las implementaciones reales realizadas en estos y las necesidades reales que se requieren de una pila completa de comunicación para realizar pruebas integrales de servicios en funcionamiento en los proyectos FOTs [5]. Debido a esto, la Unión Europea también accedió a financiar el proyecto *IPv6 ITS Station Stack for Cooperative ITS FOTs* (ITSSv6), cuyo principal objetivo es el de proporcionar una pila de comunicación basada en IPv6 lista para ser usada en proyectos FOT.

En paralelo al progreso realizado en el ámbito de la investigación, se han realizado esfuerzos adicionales para la estandarización de la arquitectura de comunicaciones, con tal de asegurar la futura compatibilidad entre diferentes fabricantes. Primero, el ISO TC 204 lanzó el concepto de CALM (*Communications Access for Land Mobiles*), y el reciente grupo ETSI TC ITS ha mejorado dicho concepto en base a los resultados del proyecto europeo COMeSafety. La arquitectura de la actual pila ITS de comunicaciones europea [9], mostrada en la Figura 1, debería ser implementada total o parcialmente en vehículos, dispositivos nómadas, unidades de carretera, y centrales de servicios (o centros de control, según terminología). Como se puede ver, los planos de Gestión y Seguridad enmarcan cuatro capas horizontales, basadas fundamentalmente en la pila de comunicaciones tradicional de OSI. El trabajo que se presenta en este artículo propone una pila de comunicaciones que sigue este enfoque y que se ha probado con éxito en el proyecto OASIS.

De acuerdo con el actual despliegue de las tecnologías de comunicación en los sistemas de transporte, se prevé que el primer segmento ITS sobre el que se hará uso de esta pila de comunicación estandarizada sea el V2I/I2V. Los servicios V2V requieren de una gran diseminación de los dispositivos telemáticos, lo cual no se cumplirá hasta pasados varios años, y comunicar entre sí los actuales centros de tráfico necesitaría de grandes esfuerzos. Es, por tanto, en el segmento V2I/I2V donde se pueden probar y desplegar de manera más inmediata servicios relacionados con el estado del tráfico, el confort y en las aplicaciones orientadas a la seguridad. Debido a esto, la asimilación de comunicaciones IPv6 en el

segmento V2I/I2V resulta de especial interés para ofrecer una capa de red bien conocida en la Internet actual, con visión de futuro, sobre la que es mucho más sencillo desarrollar aplicaciones por el momento. En este sentido, el nuevo paradigma de comunicación global adoptado por el “Internet de las Cosas” recibe un mapeo directo mediante el uso de direccionamiento global IPv6 de gran parte de los sensores de vía y los dispositivos de a bordo.

La pila de comunicaciones que se presenta en este artículo engloba un conjunto de propuestas distribuidas entre las diferentes capas de protocolos de la pila de comunicaciones ISO/ETSI ITS: se han integrado las tecnologías de comunicación 802.11, WiMAX y 3G/UMTS, junto con un algoritmo de selección de red, que puede ser parametrizado de acuerdo a diferentes preferencias; se proporciona una solución de movilidad de red IPv6 para mantener la conectividad frente al cambio de red de una estación vehicular; se ofrecen canales de comunicación seguros y capacidades de control de acceso a la red; se ha integrado el concepto de red de nueva generación (del inglés *Next Generation Network* - NGN) en el vehículo, para facilitar la suscripción a servicios y la gestión de estos; y, por último, se propone una arquitectura software modular para la gestión de la estación ITS del vehículo, integrando un HMI (*Human Machine Interface*) extensible.

El artículo presenta la arquitectura de la pila de comunicaciones en la Sección 2 y el escenario de pruebas en la Sección 3, continuando con los detalles de cada capa de la pila en las secciones 4, 5 y 6. Por último, se presentan trabajos relacionados y las conclusiones finales en las secciones 7 y 8.

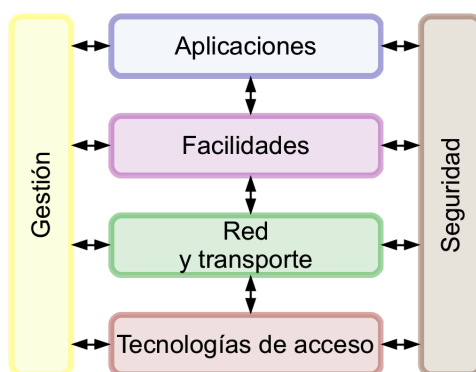


Figura 1. Pila de comunicaciones ISO/ETSI ITS.

2 ARQUITECTURA DE LA PILA

El diseño adoptado por la pila de comunicaciones sigue las pautas marcadas por el ISO/ETSI, como se puede ver en la Figura 2. De acuerdo con esta arquitectura, la pila mostrada en la Figura 1 debería integrarse en forma de estaciones ITS en los vehículos, dispositivos nómadas, unidades de carretera y sistemas centrales. El diseño que aparece en la Figura 2 nos muestra el desarrollo de la pila para el caso de un vehículo, el cual separa la funcionalidad de la pila en dos nodos: el dispositivo de a bordo que ejecuta las aplicaciones (izquierda) y el router móvil del vehículo que ofrece conectividad (derecha). El resto de estaciones ITS no se muestran por razones de espacio, aunque, de acuerdo al escenario que se muestra posteriormente, sólo sería necesario añadir la característica de *border router* en la pila de la derecha, con tal de habilitar el acceso a Internet.

El router móvil posee las características necesarias para abstraer a los dispositivos de abordo del vehículo de las tareas relacionadas con la gestión de la red. A través del router móvil se pueden conectar un número ilimitado de dispositivos a la red ITS, por medio de una conexión WiFi o Ethernet estándar. En cuanto a la conectividad de este router móvil con el exterior, se soportan tres tecnologías: 3G/UMTS, WiMAX y 802.11a/b/g/p. Para efectuar el cambio de interfaz entre estas tecnologías de acceso, se hace uso de un módulo de selección de red parametrizado para elegir la tecnología de comunicación más apropiada en cada momento. EAP (*Extensible Authentication Protocol*) trabaja sobre la capa de acceso o la de red para autenticar al vehículo en una red visitada mediante dos fases: primero, se realiza la autenticación sobre el punto de acceso del lado de la carretera, a nivel de enlace, y segundo contra la central ITS a nivel de red. Después de esto, el vehículo ya dispone de conectividad IPv6 y el material criptográfico necesario para futuros procesos de autenticación, como se puede ver en la Figura 2.

El conjunto de elementos incluidos dentro de la capa de red y transporte del router móvil están orientados a asegurar la conectividad IPv6. NEMO (*Network Mobility*) se encarga de mantener un direccionamiento IPv6 constante para la red intra-vehicular. Además, IPSec proporciona un canal seguro para las comunicaciones, que se establece mediante el material criptográfico negociado previamente por IKEv2 (*Internet Key Exchange version 2*).

La pila de la izquierda mostrada en la Figura 2 pertenece a los dispositivos finales, que se encargan de ejecutar aplicaciones que podrían acceder a servicios remotos. Éstos se

encuentran localizados en todo momento mediante GPS, aunque también suele ser habitual que el mismo router móvil incorpore esta capacidad. Como se puede ver, la pila incorpora, además, una implementación de los protocolos TCP (*Transport Control Protocol*) y UDP (*User Datagram Protocol*), para facilitar el desarrollo de aplicaciones.

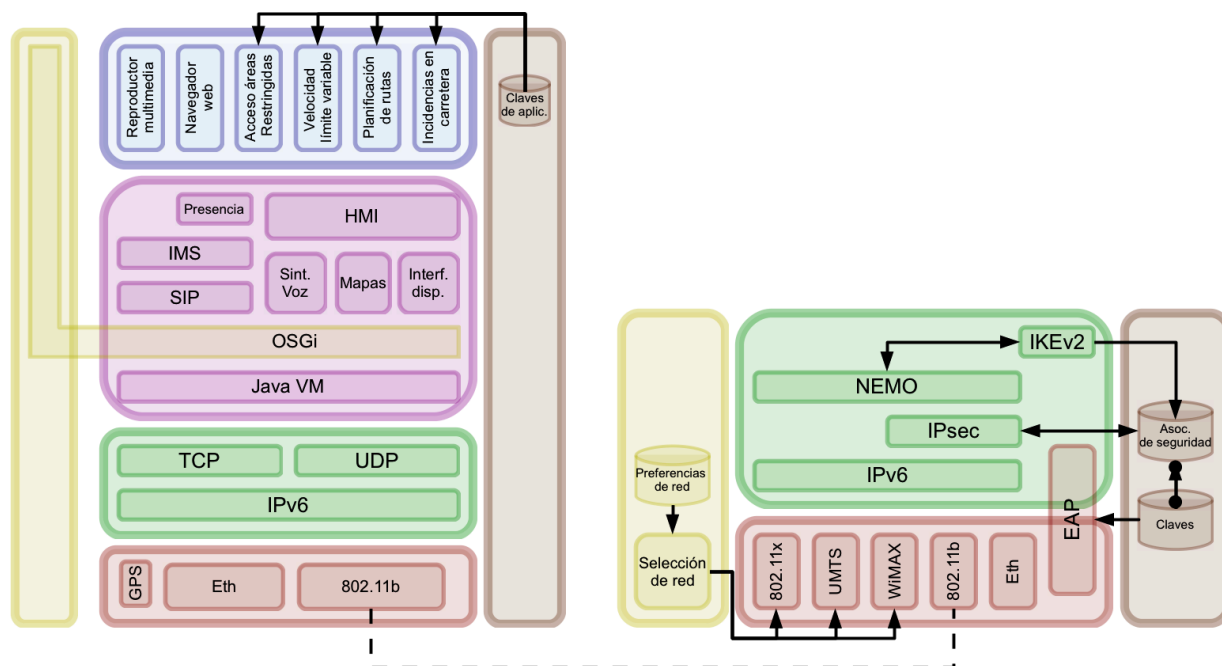


Figura 2. Diseño de pila de comunicaciones.

Una parte esencial de la pila de comunicaciones del dispositivo final es la capa de facilidades. Como se puede ver en la Figura 2, se utiliza una máquina virtual Java como base para el *framework* OSGi. Éste se encarga de la gestión del ciclo de vida de las aplicaciones y del middleware alojado en este dispositivo. Sobre OSGi se pueden ver también SIP (*Session Initiation Protocol*), utilizado por el cliente IMS (*IP Multimedia Subsystem*) como protocolo encargado de la señalización de las comunicaciones; el cliente IMS, del cual hacen uso las aplicaciones para acceder a los servicios remotos de un modo normalizado; y el Servicio de Presencia, descrito en las especificaciones de IMS, el cual lo podrían utilizar las aplicaciones que dependan del estado del terminal (localización, temperatura, estado de un vehículo de emergencia, etc.). Por último, se ha incluido un conjunto de aplicaciones bajo el marco del proyecto OASIS en la última capa.

3 ESCENARIO Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS

En la Figura 3 se puede ver el escenario completo con una estación ITS vehicular, una estación ITS del lado de la carretera y la estación ITS central. El vehículo puede conectarse a la red mediante cualquiera de los tres interfaces de los que dispone el vehículo: 802.11x, WiMAX o 3G/UMTS. En este último caso, es necesario proporcionar una solución al direccionamiento IPv4 que proporcionan la mayoría de los proveedores de 3G (incluido en nuestro caso), para poder usar IPv6. Así pues, se ha utilizado 6over4 para establecer un túnel entre el router móvil y el router de acceso de la central ITS. Sin embargo, las comunicaciones a través de los puntos de acceso 802.11x y WiMAX hacen uso de IPv6 directamente, ya que la red subyacente soporta dicho protocolo de comunicaciones.

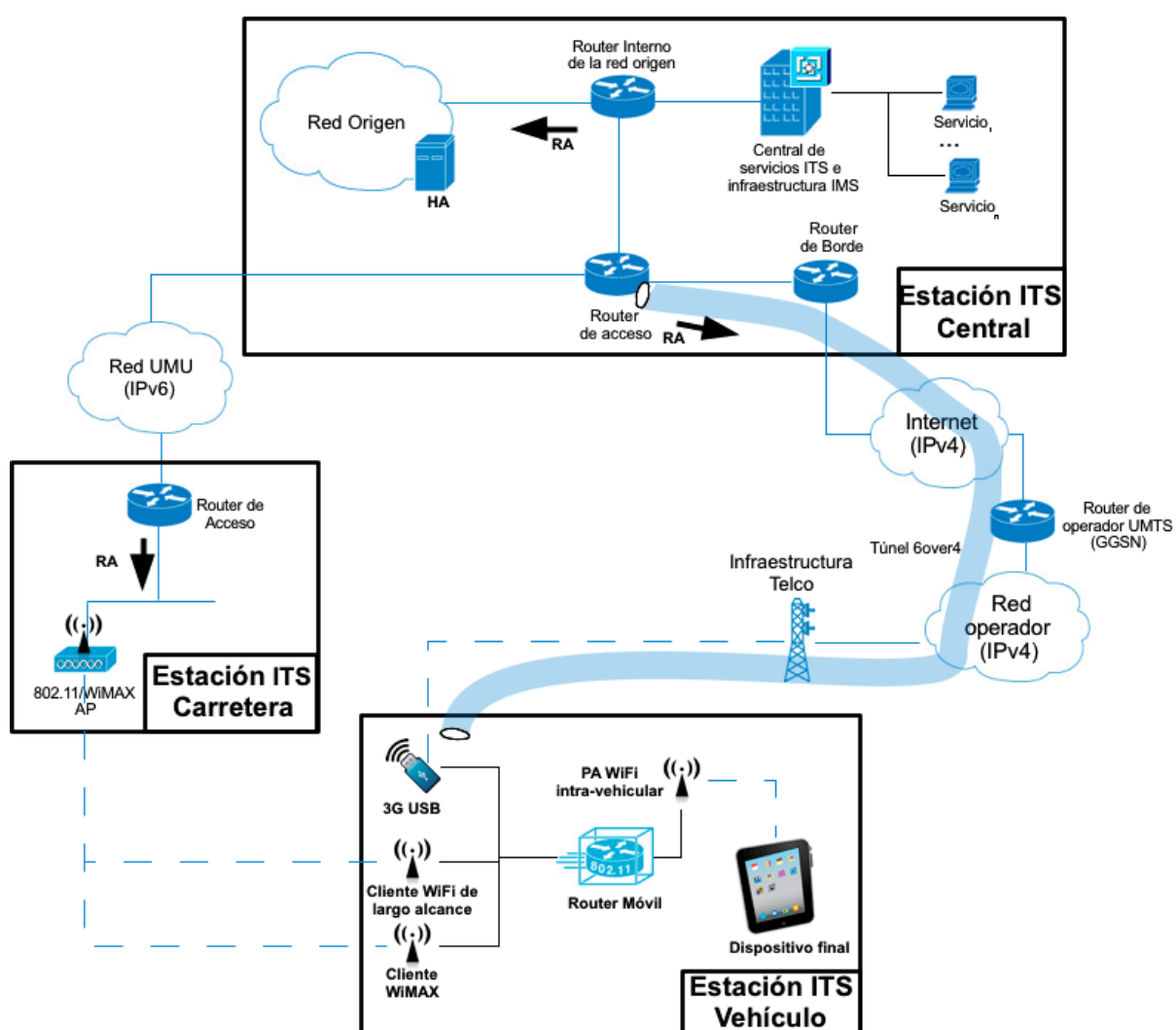


Figura 3. Escenario.

El router interno de la central y los routers de acceso hacen uso de la misma pila de comunicaciones IPv6. Además, el router de acceso incluido en la central ITS también sirve como extremo del túnel 6over4 cuando se utiliza 3G. Border Router hace uso de una pila

doble IPv4/IPv6, ya que proporciona acceso a Internet a la red ITS. Border Router también proporciona conversión de direccionamiento IPv6 a IPv4 (NAT64) y un DNS (*Domain Name System*) para obtener las direcciones IPv6 de los servicios externos que funcionan con IPv4 (DNS64). De este modo, se puede acceder a servicios IPv4 desde la red ITS de manera completamente transparente para el usuario final. La red de origen del vehículo (del inglés, *Vehicle Home Network*) es el dominio en el cuál mantiene su direccionamiento IPv6 fijo. Dicho de otro modo, cuando un equipo fuera de este dominio se comunica con uno de los dispositivos del vehículo, hace uso de su dirección IPv6 registrada en su red origen, de modo que los paquetes siguen la ruta hacia la red origen (dentro de la central ITS), y la entidad NEMO Home Agent (HA) es la encargada de reenviar estos paquetes a la dirección IPv6 actual del vehículo, la cual está asignada al router móvil por cada una de las unidades de carretera visitadas. Otra parte importante de la central ITS es el centro de servicios, el cual está distribuido en una serie de nodos que ejecutan el núcleo de IMS. A dicho núcleo está conectado un servidor de aplicaciones donde se encuentran los diferentes servicios ofrecidos a los vehículos. La relación de hardware y software de cada nodo se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Equipamiento hardware utilizado.

Nodos de red			
Nodo	Modelo	CPU/Mem	Sistema Operativo
Terminal del vehículo	PC Viliv X70	Atom 1.3Ghz/1GB	Windows 7
Router móvil	PC Asus EB150U	Atom 1.8Ghz/2GB	Ubuntu 10.4
HA and RA carretera	mini-ITX PC	Via 532Mhz/476MB	Ubuntu 10.4
RA Central ITS	PC	i5 3.1Ghz/3GB	Ubuntu 10.4
Núcleo IMS x 4	Máquina virtual Xen	PentiumD 2Ghz/256MB	Ubuntu 10.4
Servidor app. IMS	Máquina virtual Xen	PentiumD 2Ghz/1GB	Ubuntu 10.4
Interfaces de red			
Tecnología	Hardware		
3G/UMTS	Ovation MC950D modem		
802.11p (Wave)	Cliente y punto de acceso 802.11p Laguna LGN-00-11		
802.11b/g (Wi-Fi)	Transceiver ALFA AWUS036 y punto de acceso Lobometrics 924TS		
802.16e (WiMAX)	Cliente y estación base Alvarion Breeze Max 5000		
Software relevante			
Nodo	Descripción		
Terminal del vehículo	OSGi Equinox framework 3.6		
MR / HA	NEMO (UMIP 0.4) and IKEv2 (OpenIKEv2 0.96)		
Núcleo IMS	Fraunhoffer Open IMS		
Servidor de app. IMS	Kamailio 3.1.2		

4 SEGURIDAD EN LA MOVILIDAD DE RED

Los trabajos previos sobre seguridad y privacidad de las comunicaciones inalámbricas en entornos vehiculares han identificado amenazas de seguridad [8] e incluso se han propuesto soluciones basadas en enfoques ya conocidos, tales como PKI (*Public Key Infrastructure*) [12]. Por otro lado, los aspectos relacionados con la movilidad y su optimización se han tratado de manera independiente a la seguridad [12], por lo que todavía no se ha abordado un enfoque integrado de ambos problemas en entornos vehiculares.

Cuando la movilidad de red y la seguridad de las transmisiones son aplicadas conjuntamente se presentan ciertos problemas de integración hasta ahora no tratados. En el documento IETF RFC4877 [3] aparece una propuesta donde se explica cómo proteger el tráfico en movilidad entre HA y el router móvil, haciendo uso de IPSec e IKEv2. Sin embargo, para poder poner en marcha esta propuesta es necesario que los servicios de NEMO y de IKEv2 cooperen estrechamente, lo cual no está bien definido por el momento. Las asociaciones de seguridad de IPSec para proteger la movilidad se deberían establecer usando la dirección asignada dentro del dominio origen. Esto permitiría a estas asociaciones sobrevivir a un posible cambio del direccionamiento local, cuando el vehículo sale fuera del dominio origen. Sin embargo, las asociaciones actuales de IKEv2, utilizan el direccionamiento local como direcciones finales, lo que ocasiona que IKEv2 necesite actualizarlas cada vez que ocurre un cambio de red. Para solucionar esto se ha optado por que NEMO sea el encargado de solicitar este cambio a IKEv2 cuando hay un cambio en el direccionamiento [4]. Esto se ha realizado mediante una comunicación mediante ficheros intermedios entre los demonios de NEMO e IKEv2.

5 MIDDLEWARE DE ACCESO A SERVICIOS IMS

Actualmente, coexisten disparidad de servicios en ITS en la literatura, desde una simple vídeo-llamada hasta un avanzado servicio de monitorización de tráfico. Por este motivo se hace necesario un *framework* que ofrezca un acceso homogéneo a dichos servicios. IMS se muestra como una solución eficiente en este sentido, tal y como muestran otros trabajos previos dentro de ITS [6,11]. La propuesta sugerida hace uso de un middleware para acceso a servicios en el marco del 3GPP IMS. Dicha funcionalidad se encuentra en la capa de facilidades de la pila y nos proporciona mecanismos para el establecimiento de sesión y negociación de parámetros entre clientes y servidores de aplicaciones ITS.

En la Figura 4, se muestra el registro a un dominio IMS y la posterior suscripción a un servicio. Primero, el terminal IMS (terminal del vehículo) necesita registrarse en el dominio IMS. Esto se realiza por medio de un intercambio de mensajes SIP con el núcleo IMS, indicando la identidad del suscriptor, el método de autenticación y las credenciales de usuario. En nuestro caso, hemos utilizado el algoritmo de autenticación *challenge-response*. Una vez que el usuario está registrado, el terminal IMS ya está listo para suscribirse a los servicios IMS, por medio de una nueva transacción SIP, adjuntando los parámetros requeridos de funcionamiento, como por ejemplo, la calidad del servicio o la duración de la sesión. Los nodos del núcleo IMS redirigen esta solicitud al correspondiente servidor de aplicaciones SIP (SA-SIP), el cual decide si aceptar o no dicha solicitud con esos parámetros. Tras una negociación exitosa, se establece el inicio de la sesión y comienza un flujo de datos directo entre el terminal del vehículo y el servidor que implementa la parte del servicio de la infraestructura. Esta comunicación se lleva a cabo a expensas de IMS, mediante el protocolo de comunicación negociado.

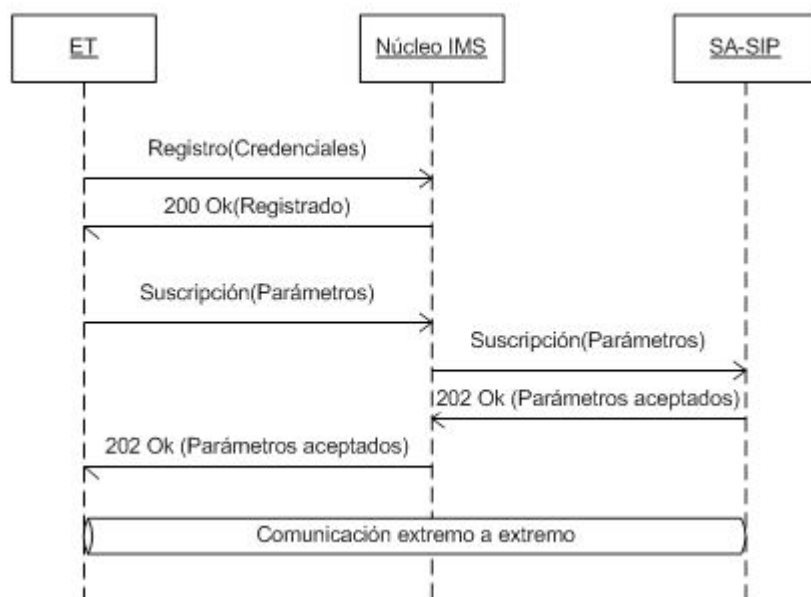


Figura 4. Proceso de negociación IMS para conexión a servicio.

6 GESTIÓN DEL SOFTWARE DE ABORDO

OSGi es un *framework* modular orientado a la gestión de unidades software, lo que nos proporciona muchas ventajas en cuanto a la flexibilidad, despliegue de nuevas aplicaciones y la gestión de las dependencias entre los módulos software. Cada aplicación se puede

implementar como uno o más módulos OSGi, llamados *bundles*. Dichos *bundles* se encapsulan en ficheros .jar, junto con un fichero de meta-información llamado *manifest*. Parte de esta meta-información identifica los paquetes exportados (paquetes visibles por otros *bundles*) y los que se importan (paquetes necesarios para el *bundle*). Con esta información el *framework* gestiona las dependencias de manera automática. Gracias a esto, es posible construir una jerarquía de módulos desde el middleware más básico hasta aplicaciones de usuario. En nuestro caso, el dispositivo final cuenta con *bundles* para usar diferentes dispositivos, como por ejemplo el receptor GPS o una videocámara, los cuales a su vez pasan la información a otros *bundles*.

Un recurso importante a tener en cuenta es la pantalla, en el sentido de que las aplicaciones necesitan de un acceso homogéneo al interfaz visual. Para tal fin y debido a los requisitos que un HMI vehicular debe cumplir [1,7], se ha desarrollado un servicio modular de HMI cuyas principales características son: (1) es el encargado de pintar los objetos de interfaz de todas las aplicaciones. Cada aplicación tiene que definir un XML con la descripción de su interfaz, dicho fichero se pasa al servicio de HMI para pintar los diferentes elementos del interfaz (botones, etiquetas, etc.). (2) El servicio de HMI se encarga de proporcionar el único canal de entrada/salida con el usuario y distribuir la información de las aplicaciones en el interfaz. Y (3), dicho servicio proporciona características de accesibilidad tales como, teclado integrado en pantalla, síntesis de voz e integración de mapas. Dichos mapas funcionan gracias al servicio de *openstreemap.org*, mientras que el sintetizador de voz está basado en el Java Speech API, el cual se utiliza para dar alertas de voz desde las aplicaciones, como incidencias que se reciben u otros eventos relevantes, y así evitar distracciones.

En la Figura 5 se pueden ver dos capturas de pantalla. En la parte izquierda, la pantalla principal está dividida en tres partes. Primero, la barra superior incluye funciones generales, como el nombre de la aplicación activa, los interfaces disponibles del router móvil (incluido sólo con fines informativos) o el estado del sintetizador de voz. En segundo lugar, se puede ver el área principal, donde se alojan los iconos de las aplicaciones instaladas. Finalmente, en la barra inferior, se incluye un icono para acceder al teclado en pantalla y se muestra información acerca del interfaz de comunicación que está siendo usado por el router móvil (incluido sólo con fines demostrativos). En la parte derecha de la figura, se encuentra activa la aplicación “*Servicios integrados*”. Esta aplicación integra un único mapa con la información proveniente de tres servicios diferentes del proyecto OASIS: planificación de rutas, velocidad límite variable y avisos de incidencias. Como se puede ver, el servicio

unificado de HMI posibilita la integración de las aplicaciones de un modo amigable y evitando las distracciones.

7 TRABAJOS RELACIONADOS

Las propuestas con una visión a la vez integral y práctica como la presentada no son muy frecuentes en la literatura de las comunicaciones vehiculares, debido a los esfuerzos necesarios de diseño y desarrollo. El trabajo presentado en [11] propone, por ejemplo, una solución de abordaje para proveer comunicaciones vehiculares a través de una pasarela de comunicaciones en el vehículo, la cual es similar al concepto de router móvil. Sin embargo, esta solución es muy dependiente de la plataforma vehicular presentada y no desarrolla una pila de comunicaciones genérica que pueda integrarse en las diferentes entidades de una red ITS.

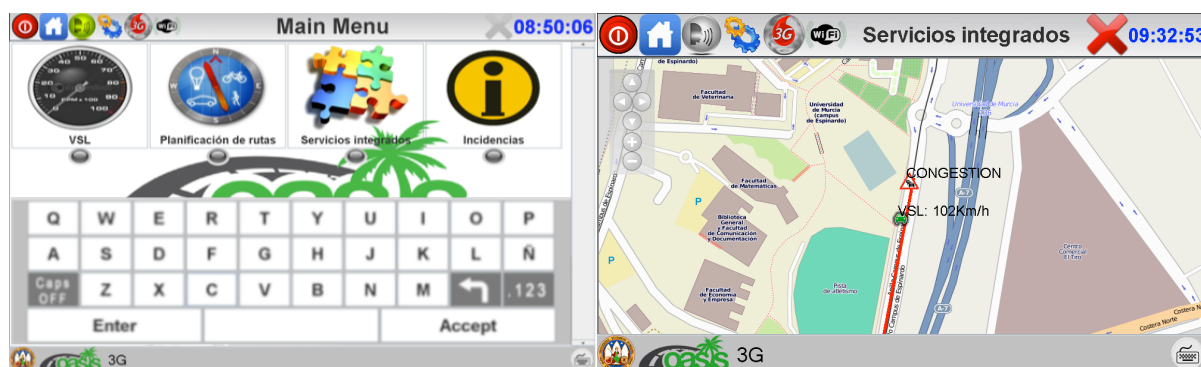


Figura 5. Captura de pantalla del HMI.

Se pueden encontrar algunas soluciones similares a la presentada en recientes propuestas de proyectos FOT, ya que éste es un marco perfecto para la aparición de soluciones reales sobre las que ejecutar servicios, tal y como lo es el proyecto OASIS en este caso. En [13] los autores presentan la estación de comunicación usada en el proyecto Drive C2X, que es similar a la descrita en este artículo, ya que incluso ofrece una plataforma software basada en OSGi y la gestión de las comunicaciones se realiza a nivel de red. Sin embargo, destaca en este trabajo que no se haya tenido en cuenta UMTS como tecnología de comunicación para las aplicaciones, sino solamente para labores de depuración. En [15] también se presenta un trabajo similar dentro del proyecto simTD, en el cual se hace especial énfasis en la seguridad y la privacidad, incluyendo una infraestructura PKI a la arquitectura. No obstante, IPv6 no recibe la importancia necesaria y, como se ha indicado anteriormente, el

uso de este protocolo es clave para el despliegue de los sistemas cooperativos del futuro próximo. En este artículo se defiende una solución que combina movilidad y seguridad de red usando IPv6 para servicios no críticos. El trabajo presentado en [14] también apunta en la misma dirección, aunque se utiliza una pila de comunicaciones restringida en sus capacidades y que no es autónoma frente a los cambios de red, por ejemplo.

8 CONCLUSIONES

El trabajo presenta una pila de comunicaciones que sigue las directrices de ETSI/ESO sobre las arquitecturas de comunicación en ITS. Dicha pila ha sido definida y desarrollada, y soporta diferentes tecnologías de comunicación que se pueden seleccionar de manera automática para proporcionar conectividad al vehículo. Igualmente, se propone una solución para el soporte de movilidad IPv6 de un modo seguro, primero mediante autenticación para el acceso a la red y después, usando una combinación de IPSec/IKEv2, para asegurar el tráfico de control y datos que utiliza NEMO. Además, dentro de la capa de facilidades, se utiliza OSGi para la gestión del middleware y las diferentes aplicaciones del terminal del vehículo. También se usa IMS para facilitar el acceso a los servicios remotos a las aplicaciones de abordaje. Por último, se ha desarrollado un HMI extensible para la integración de las interfaces de las aplicaciones del terminal de usuario de un modo amigable a la vez que eficiente.

La pila de comunicaciones expuesta se ha validado correctamente mediante la puesta en marcha de varios servicios dentro del proyecto OASIS, en pruebas reales de campo realizadas en la Universidad de Murcia durante septiembre de 2011. No obstante, es necesario indagar más en las amenazas relacionadas con la privacidad, inicialmente descritas en [10], por ejemplo, lo cual se está llevando a cabo dentro del proyecto europeo ITSSv6. En cuanto a las diferentes facilidades, el sintetizado de voz se encuentra en fase de mejora, para ofrecer voces en distintos idiomas. Además, se están integrando capacidades de reconocimiento de voz para mejorar el interfaz con el usuario. En el marco de IMS, se están desarrollando nuevos servicios, como un nuevo sistema basado en la funcionalidad Push-to-Talk del 3GPP, el cual ofrece capacidad de comunicación por voz rápida y sencilla, similar a un sistema radio convencional.

9 AGRADECIMIENTOS

La información y resultados que se exponen en la presente comunicación son fruto de los trabajos de investigación realizados en el marco del Proyecto OASIS, subvencionado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) dentro del programa CENIT. Dichos resultados son, pues, propiedad exclusiva de las empresas que promueven dicho proyecto y que constituyen la Agrupación de Interés Económico OASIS CENIT, A.I.E.: IRIDIUM, OHLc, ABERTIS, SICE, INDRA, DRAGADOS, OHL, GEOCISA, GMV, ASFALTOS AUGUSTA, HIDROFERSA, EIPSA, PyG, CPS, AEC, TORRE DE COMARES.

Adicionalmente, este trabajo ha sido posible gracias al Séptimo Programa Marco Europeo, a través del proyecto ITSSv6 (contrato 270519); también al Ministerio de Ciencia e Innovación, a través del proyecto Walkie-Talkie (TIN2011-27543-C03); y a la Fundación Séneca, por medio del programa GERM (04552/GERM/06).

BIBLIOGRAFÍA

1. AMDITIS, A., L. ANDREONE, K. PAGLE, G. MARKKULA, E. DEREGIBUS, M. ROMERA, F. BELLOTTI, A. ENGELSBURG, R. BROUWER, B. PETERS, A. DE GLORIA (2010). Towards the Automotive HMI of the Future: Overview of the AIDE-Integrated Project Results, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 567-578.
2. CÉSPEDES, S., X. SHEN, C. LAZO (2011). IP Mobility Management for Vehicular Communication Networks: Challenges and Solutions, *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 5, pp. 187-194.
3. DEVARAPALLI, V., F. DUPONT, 'Mobile IPv6 Operation with IKEv2 and the Revised IPsec Architecture', *IETF RFC 4877*.
4. FERNANDEZ, P. F., F. BERNAL, C. NIETO, A. F. GOMEZ-SKARMETA, "Mobility and security in a real VANET deployed in a heterogeneous networks", *Security and Communication Networks*.
5. FESTAG. A., L. LE, M. GOLEVA (2011). Field Operational Tests for Cooperative Systems: A Tussle Between Research, Standardization and Deployment. In *Proceedings Eighth ACM international workshop on Vehicular inter-networking*, Las Vegas.

6. FOSCHINI, L., T. TALEB, A. CORRADI, D. BOTTAZZI (2011). M2M-Based Metropolitan Platform for IMS-Based Road Traffic Management in IoT, *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 11, pp. 50-57.
7. GIULI, T., D. WATSON, K. VENKATESH (2006). The Last Inch at 70 Miles Per Hour, *IEEE Pervasive Computing*, vol. 5, no. 4, pp. 20-27.
8. HUBAUX, J., S. CAPKUN, J. LUO (2004). The Security and Privacy of Smart Vehicles, *IEEE Security and Privacy*, vol. 2, no. 3, pp. 49-55.
9. KOSCH, T., I. KULP, M. BECHLER, M. STRASSBERGER, B. WEYL, R. LASOWSKI (2009). Communication Architecture for Cooperative Systems in Europe, *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 5, pp. 116-125.
10. LEE, J., T. ERNST (2011). Security Issues of IPv6 Communications in Cooperative Intelligent Transportation Systems. In *Proceedings 2011 IEEE Vehicular Networking Conference*, Amsterdam.
11. PINART, C., I. LEQUERICA, I. BARONA, P. SANZ, D. GARCÍA, D. SÁNCHEZ-APARISI (2008). DRIVE: a reconfigurable testbed for advanced vehicular services and communications. In *Proceedings 4th International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities*, Innsbruck.
12. RAYA, M., P. PAPADIMITRATOS, J. HUBAUX (2006). Securing Vehicular Communications, *IEEE Wireless Communications*, vol. 13, no. 5, pp. 8-15.
13. STAHLMANN, R., A. FESTAG, A. TOMATIS, I. RADUSCH, F. FISCHER (2011). Starting European Field Tests for Car-2-X Communication: The Drive C2X Framework. In *Proceedings 18th ITS World Congress and Exhibition 2011*, Orlando.
14. TSUKADA, M., J. SANTA, O. MEHANI, Y. KHALED, T. ERNST (2010). Design and Experimental Evaluation of a Vehicular Network Based on NEMO and MANET, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2010, article ID 656407, pp. 1-18.
15. WEIB, C. (2011). V2X communication in Europe – From research projects towards standardization and field testing of vehicle communication technology, *Computer Networks*, vol. 55, no. 14, pp. 3103-3119.