

Metodología y herramientas de medida para sistemas telemáticos para la seguridad vial

Cárdenas Angelat, Carlos. Plaza Ortega, Antonio. Guijarro Moreno, Miguel Ángel.
Centro de Tecnología de las Comunicaciones, SA (AT4 wireless).
Calle Severo Ochoa, 2. Parque Tecnológico de Andalucía (PTA). Málaga.
Tfn: 952619323, Fax: 952619113
ccardenas@at4wireless.com, aplaza@at4wireless.com

Resumen

La aplicación eCall permitirá salvar la vida de muchos ciudadanos. Para asegurar que las unidades telemáticas de los vehículos (TCU) son interoperables con las redes celulares y los proveedores de asistencia (PSAP) es importante no solo desarrollar los protocolos del sistema sino también las herramientas de prueba. En esta ponencia se describen las actividades desarrolladas por AT4 wireless para establecer una metodología de I+D de desarrollo de especificaciones formales así como la implementación de un prototipo de sistema de pruebas de conformidad para la aplicación eCall que ha sido validado con prototipos de TCU desarrollados por otros miembros del consorcio GST (Global System for Telematics).

1. Introducción

La red vial es uno de los factores claves en las economías modernas. El transporte por carretera recoge el 10% del PIB (Producto Interior Bruto) y proporciona empleo a una gran cantidad de ciudadanos de la UE (Unión Europea). El beneficio de esta red tiene un coste crítico: los accidentes en carretera son una de las causas de mortalidad con más tasa. El crecimiento geopolítico de la UE en los últimos años implica directamente un incremento de la demanda de servicios de transporte necesitados. De ahí que optimizar este sistema para reducir la tasa de mortalidad se ha convertido en un objetivo perseguido por la UE desde hace décadas. Las actividades de I+D promovidas por la UE son recogidas principalmente bajo el amparo de los Programas Marco (FP, Framework Programme). En el apartado 2 se detalla este esfuerzo en I+D y estandarización llevado a cabo por la UE. Actualmente está en vigor el FP6 comprendido entre el año 2002-2006 y entre sus objetivos se propone dedicar un gran esfuerzo en la inversión en proyectos I+D enfocados a la optimización del sistema de transporte en carreteras. Para que haya un impacto efectivo y los resultados de los programas de I+D lleguen a implantarse hay que considerar que el mercado del automóvil es global, que el espectro de frecuencia debe estar disponible, que es necesario un acuerdo entre los Estados Miembros y que una solución multi-fabricante debe ser factible. Este escenario lleva a una conclusión clave en este trabajo: la estandarización es crucial y como consecuencia inmediata es necesario desarrollar una tecnología de medida y ensayo para que la estandarización sea efectiva. Viendo la red vial como un sistema de telecomunicación es claro que un primer reto a abordar es el carácter heterogéneo que tendrán las tecnologías empleadas: comunicaciones entre vehículos, comunicación de vehículo a infraestructura ubicada en carretera, comunicación de satélite a vehículo y comunicación

entre infraestructuras. Para garantizar un sistema interoperable en un contexto tecnológico tan heterogéneo el presente trabajo presenta en el apartado 3 una metodología formal de pruebas cuyo objetivo es definir qué y cómo probar un elemento de dicho sistema.

El presente trabajo se desarrolló en el contexto de uno de los proyectos I+D europeos promocionados por la UE, el proyecto GST (Global System for Telematics) [1]. Este proyecto persigue crear las tecnologías y cooperaciones necesarias para el desarrollo, despliegue y explotación de servicios telemáticos en un entorno abierto e interoperable en el dominio de la automoción. Esto permitirá a los diferentes actores desarrollar y operar servicios usando una infraestructura común de despliegue de servicios y unos terminales para los vehículos multifabricante. GST está organizado en siete subproyectos a su vez clasificados en subproyectos orientados a servicios y subproyectos orientados a tecnología. La metodología de pruebas desarrollada por AT4 wireless es aplicada en el servicio eCall (llamada de emergencia) definido en el subproyecto orientado a servicio RESCUE [1], aunque también es usada en aplicaciones como V2V (Vehículo a vehículo) y EFCD (Sistema de captura de datos mejorada en vehículo) [1]. El apartado 4 define la arquitectura y funcionalidad de la aplicación eCall que consiste en la activación automática, tras un accidente, de una llamada de voz y de datos sobre la red celular al 112 con información relevante del vehículo. Seguidamente se aplica la metodología aquí descrita sobre eCall y los resultados obtenidos son expuestos en el apartado 5. Finalmente se ha realizado la validación del prototipo implementado usando equipos bajo prueba desarrollados por otros miembros del proyecto GST.

2. Esfuerzos de investigación y estandarización

GST es un Proyecto Integrado (IP, Integrated Project) promocionado por la UE bajo el FP6. El proyecto empezó en Abril de 2004 y finalizará en Febrero de 2007. GST se encuadra dentro de las líneas I+D establecidas por directivas europeas para la reducción de la tasa de mortalidad en las carreteras de la UE. Los esfuerzos de I+D en este campo se ilustran en la Fig. 1 y son clasificadas como sigue:

- Seguridad pasiva: dispositivos encargados de absorber la energía del accidente para evitar daño en conductor y pasajeros. Por ejemplo el Airbag.
- Seguridad activa: dispositivos como ABS (Sistema de Antibloqueo) o ESP (Programa Electrónico de Estabilidad) están concebidos para dar al conductor el máximo control en situaciones de emergencia.
- Seguridad después de accidente: no se pretende reducir el número de accidentes sino la fatalidad de las consecuencias. Un sistema automático de llamadas de emergencia desde el vehículo que proporcione entre otros datos, su localización, puede reducir el retraso de la intervención del servicio de urgencias. Varios proyectos I+D europeos progresan para este objetivo: E-Merge [2], AIDER (Accident Information and Driver Emergency Rescue) [2] pertenecientes a FP5 y también GST, perteneciente a FP6, define aplicaciones de este tipo.
- Seguridad preventiva: en todas las soluciones previas los sistemas pretenden reducir la posibilidad de accidente o los efectos. En este caso si embargo, se trata de evitar la situación de emergencia que provoque dicho accidente. Pertenecientes al FP5, se pueden destacar los proyectos ADAS [2] (Advanced Driver Assistance Systems) desarrollando sistemas de visión avanzado y PREVENT [2] desarrollando funciones de seguridad preventiva en el vehículo mediante sensores. Pertenecientes a FP6 es destacable SAFESPOT [2] que define un sistema de comunicación cooperativo entre vehículos y la infraestructura de carretera para aumentar la seguridad preventiva en la red vial.

La UE también ha patrocinado proyectos I+D para el aumento del confort en carretera. En este campo cabe destacar CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure System) [2] que mediante un sistema cooperativo de comunicación entre vehículo e infraestructura pretende optimizar el flujo del tráfico de la red vial (por ejemplo reducción de atascos). GST también se ubica en este ámbito ya que define una arquitectura telemática abierta para el desarrollo de aplicaciones sobre la red vial, por ejemplo telepeaje, triángulos emergencia de radiofrecuencia, información del estado de carreteras, etc. Además de proyectos derivados de los programas marco de la UE muchos otros grupos en ámbito global han

iniciado actividades de I+D relacionados con la red de carreteras. C2C (Car to Car Consortium) persigue establecer un estándar europeo abierto para las comunicaciones vehículo a vehículo y vehículo a infraestructura. NOW (Network-On-Wheels) tiene entre sus objetivos, la resolución técnica de las características claves de los protocolos y de la seguridad en comunicaciones vehículo a vehículo. En paralelo la ETSI ha iniciado actividades en el ámbito concreto de la aplicación eCall; EMTEL (ETSI's Special Committee on Emergency Telecommunications) es la sección de ETSI que centra sus objetivos en la coordinación de requisitos implicados en sistemas de emergencias.

En cuanto a las tecnologías inalámbricas subyacentes, 3GPP (3rd Generation Partnership Project) sigue involucrado activamente en el desarrollo de una especificación de una arquitectura e interfaces común para la inclusión de nuevas funcionalidades para dar soporte a los servicios de emergencia mencionados sobre redes celulares GSM (Global System Mobile) y 3G (3rd Generation). En cuanto a comunicaciones vehículo a vehículo el proyecto DSRC (Dedicated Short Range Communication) desarrolla tecnología inalámbrica a 5.98 GHz para proporcionar servicios de comunicación a media-corta distancia dentro de carreteras entre vehículos y vehículos e infraestructura con fines de seguridad. DSRC está concebido como complemento a las comunicaciones celulares proporcionando altas tasas de transferencia en circunstancias donde el tiempo de latencia del enlace de comunicaciones debe ser mínimo.

Proyectos e instituciones desarrollando tecnologías y aplicaciones están provocando la definición de un sistema global telemático cuyos nodos son vehículos tejiendo una red de telecomunicaciones heterogénea de estudio nada trivial. Por tanto para asegurar que este nuevo sistema se incube en un entorno no dependiente de plataformas ni fabricantes, es necesario desarrollar una nueva metodología de medidas que asegure una interoperabilidad absoluta y que se adapte a la complejidad del problema.

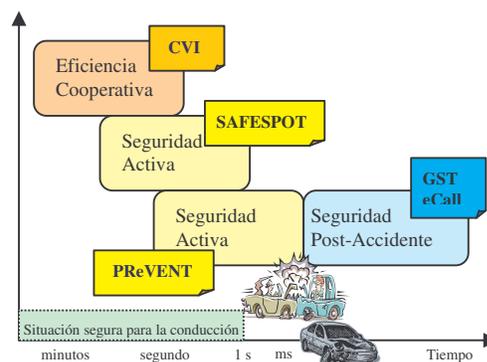


Fig. 1. Ámbito de los proyectos de la UE

3. Metodología de medidas

Metodología se define como el conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica [3]. Particularizando esta definición a tecnología de medidas, el presente trabajo consiste en la definición y óptima planificación de este conjunto de métodos con el propósito final de asegurar la interoperabilidad entre sistemas participantes en un sistema de telecomunicación heterogéneo procedentes de diferentes fabricantes. El sistema de medidas es en sí un sistema que ha de ser diseñado siguiendo un enfoque sistemático¹ consistiendo en una serie de fases de desarrollo, partiendo de un análisis formal de requisitos hasta una validación del sistema de medidas. Estas fases se ejecutan en paralelo al desarrollo del sistema a probar (de aquí en adelante SUT, System Under Test). Es importante aclarar que la tecnología de medidas no se inicia en las postrimerías del desarrollo del SUT sino en las fases iniciales del mismo.

Se considera punto de entrada a la metodología aquí presentada las especificaciones del SUT. Más en concreto el documento de análisis de requisitos y el documento de arquitectura e interfaces (normalmente perteneciente a la fase de diseño). La ejecución paralela del diseño de sistema de medidas y SUT se pone también de manifiesto en la interacción mutua de las últimas fases de desarrollo de ambos sistemas. El sistema de pruebas implementado debe ser validado para tener potestad para validar al SUT, esto provoca la siguiente paradoja: “Un sistema de pruebas concebido para validar un SUT y así finalice su proceso de desarrollo, debe ser previamente validado para cerrar su propio proceso de desarrollo”. La Fig. 2 muestra la fuerte interdependencia entre ambos procesos desde el punto de vista sistemático. Cabe destacar que las fases del desarrollo del sistema de pruebas son particularizadas y redefinidas como objeto del presente trabajo.

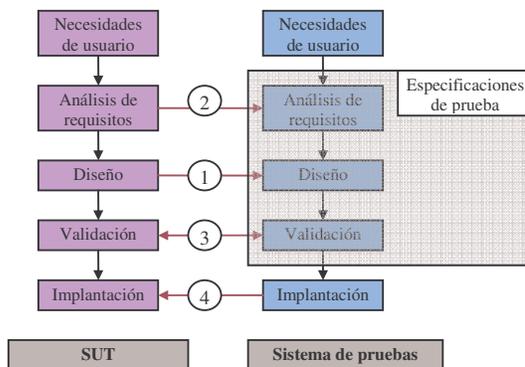


Fig. 2. Desarrollo de SUT y de sistema de pruebas teóricos

¹ El enfoque sistemático para el desarrollo de sistemas aquí considerado consiste de etapas de ejecutadas en serie. La complejidad en este aspecto no influye en la metodología de pruebas presentada y sí en la claridad de su exposición.

La metodología aquí presentada ataca la problemática expuesta: inicialmente se establecen las normas de facto (ISO 9646 [4] e ISO 10746 [5]) bases de la metodología, se explica el alineamiento con las recomendaciones de ETSI para el desarrollo de las especificaciones de prueba y finalmente se justifica la elección de tecnologías empleadas para modelar (UML) e implementar (TTCN-3) la herramienta de medidas.

3.1. Extracción de puntos de conformidad

Permitir la ejecución paralela de dos procesos de desarrollo sistemáticamente interdependientes hace compleja la fase inicial de uno de ellos. En este caso del desarrollo del sistema de medidas al ser su entrada un especificación muy abstracta del SUT (en sus fases iniciales del desarrollo). Se hace por tanto necesario un marco de trabajo que proporcione técnicas de descripción de sistemas distribuidos que facilite su procesamiento. La norma ISO-10746 RM-ODP (Reference Model – Open Distributed Processing) propuesto por ITU- Rec. X.901 se basa en la abstracción de sistemas distribuidos mediante objetos que contienen información y ofrecen servicios. Los objetos y las interacciones entre objetos forman parte de la especificación. Para estructurar dicha especificación se utiliza un enfoque de “puntos de vista” o clases de proyección. Los niveles de complejidad de objetos pueden abarcar desde muy simples hasta otros de complejidad excesiva. El paradigma RM-ODP propone el concepto de “composición – descomposición” para tratar el amplio abanico de niveles de complejidad.

Las interacciones e interfaces de una relevancia determinada entre diferentes objetos se denominan “puntos de referencia” y son interacciones candidatas a ser probadas. RM-ODP define cuatro clases de puntos de referencia:

- Punto de referencia programática: interfaz que es implementado mediante una unión lógica de programación.
- Punto de referencia perceptivo: interacción entre el sistema y el mundo real.
- Punto de referencia “*inter-working*”: interfaz establecida para la comunicación de sistemas o subsistemas.
- Punto de referencia de intercambio: interfaz del sistema con medios de almacenamiento externos.

Por ejemplo, un interfaz entre objetos de protocolo es un punto de referencia “*inter-working*”. De todos los puntos de referencia extraídos de la especificación abstracta del SUT, se deben seleccionar un conjunto de ellos que son definidos como los puntos de conformidad y que será los sometidos a medidas. El especificar puntos de referencia representa una restricción de la implementación y por tanto debe realizarse de manera cuidadosa.

Se resume el proceso explicado en los siguientes cuatro pasos:

1. Enumerar los objetos que participan en la arquitectura del sistema (en Fig. 2 relación de interdependencia 1).
2. Enumerar los puntos de referencia definidos en la arquitectura del sistema.
3. Realizar un ejercicio de asociación lógica (mapeo) entre los casos de uso del sistema y las interacciones ejecutadas en los puntos de referencias para así ponderar su relevancia.
4. Seleccionar los puntos de referencia más relevantes y denominarlos puntos de conformidad.

Por tanto se concluye que el primer método de la metodología es aplicar la norma ISO-10746 para la extracción de puntos de conformidad a partir del diseño abstracto del SUT.

3.2. Especificación de pruebas

La primera fase de dicha especificación es establecer formalmente las declaraciones de conformidad a partir de los requisitos² del SUT (en Fig. 2 relación de interdependencia 2). Estas declaraciones son empleadas para elaborar un catálogo de requisitos formal y el documento llamado PICS (Protocol Implementation Conformance Statement). El siguiente paso es definir la estrategia de pruebas. Pruebas de conformidad son útiles cuando los interfaces de implementación son claros y los requisitos de conformidad establecidos en el paso previo resultaron semánticamente unívocos. Pruebas de interoperabilidad son apropiadas cuando los detalles de la tecnología subyacente no están estrictamente definidos.

Una vez el enfoque es decidido, se procede a la organización estructural-funcional de las pruebas y a la descripción de los propósitos de las mismas en lenguaje natural. El documento resultante recibe el nombre de TSS&TP (Test Suite Structure & Test Purposes). Finalmente una descripción abstracta de la herramienta de pruebas y una lista de los casos de prueba detallados son recogidos en un documento llamado ATS (Abstract Test Suite).

Al tratarse el SUT de un sistema de telecomunicación, los puntos de conformidad normalmente seleccionados son del tipo “*inter-working*”. Por tanto es necesario usar como base el modelo de capas OSI [6] para modelar los objetos que interactúan y la norma ISO-9646 como guía de desarrollo de las especificaciones de prueba. En definitiva, el método definido en esta sección, y

² En concreto, la declaración de conformidad se crea a partir del subconjunto de requisitos del SUT relacionados con sus puntos de conformidad.

segundo de la metodología, es aplicar la norma ISO-9646 sobre los puntos de conformidad del SUT

3.3. Especificación del sistema de prueba

ISO-9646 exige qué debe contener el documento ATS, pero no pone restricciones sobre cómo se debe implementar. La metodología propone un método para la elaboración formal del documento ATS que da contenido a esta sección. Diseñar un sistema de pruebas es tan complejo como diseñar el SUT en sí mismo. De ahí que un enfoque de modelado formal sea necesario. Para tal efecto se escoge UML (Unified Modeling Language), especificado por OMG (Object Modelling Group) y utilizado para modelado de sistemas mediante un lenguaje gráfico. Más concretamente se escoge el perfil de UML llamado U2TP (UML 2.0 Testing Profile) [7] como especialización del lenguaje para la implementación formal de un ATS: modelo del sistema de prueba y de los casos de prueba. El perfil U2TP se basa en la norma ISO-9646 por lo que mantiene la coherencia entre los métodos que forman la metodología.

En este caso el SUT es un elemento externo al sistema (o actor) con un comportamiento ideal conforme a la norma o normas por las que se rija. Es decir, se permite la independencia entre la fase de diseño del sistema de pruebas y del SUT. Además, la elección de UML para modelar el sistema de pruebas no solo proporciona formalidad a la especificación. Existen herramientas específicas para UML en distintos ámbitos. En concreto existen Verificadores de modelo que facilitan un modelado correcto del sistema. De este modo se consigue verificar el buen diseño del sistema de pruebas sin la necesidad de disponer de un SUT de referencia implementado. O más aún sin la necesidad de esperar a que las tecnologías inalámbricas subyacentes estén bien definidas y validadas.

Un ejemplo ayuda a aclarar este punto. Supuesto un sistema de comunicación vehículo a vehículo de señales de aviso de accidente cercano. Se decide que la tecnología inalámbrica sea IEEE 802.11p [8] (nueva especificación 802.11 adaptada para entornos vehiculares). En la fase de diseño de SUT y del sistema de pruebas pueden existir escasos o ningún prototipo de implementaciones de IEEE 802.11p. Más aún puede que esta norma permanezca en estado borrador. Por tanto invertir esfuerzos en verificar el modelo del sistema de pruebas previo inicio de la implementación supone un alivio en la posterior fase de Validación del sistema implementado relajando así fuertemente la restricción expuesta en Fig. 2 (relación de interdependencia 4).

3.4. Implementación del sistema de prueba

Para proporcionar una implementación para los casos de prueba no dependiente de la plataforma de ejecución, TTCN-3 [9], otro lenguaje formal, ha

sido seleccionado. De este modo se consigue separar en dos sub-fases la fase de implementación del sistema de pruebas. Una fase no dependiente de la plataforma y una fase sí dependiente. La fase dependiente de la plataforma consiste en la implementación de dos capas de adaptación: SA (Adaptador de SUT) y PA (Adaptador de plataforma). El SA implementa la comunicación del código TTCN-3 con la implementación bajo prueba. El PA implementará la comunicación entre el código TTCN-3 y elementos externos auxiliares del sistema de pruebas (por ejemplo temporizadores o funciones nativas).

Este enfoque plantea dos ventajas. Escritos los casos de pruebas en TTCN-3 pueden ser publicados libremente como parte de la especificación del SUT y dejar la implementación al laboratorio de ensayo proveedor de sistema de pruebas. Esta ventaja actualmente la lleva a cabo ETSI en la especificación de protocolos como SIP (Session Internet Protocol) o IPv6 (Internet Protocol version 6). La segunda ventaja es un concepto también promovido por ETSI llamado “Virtual Testing”. Este consiste en realizar los casos de prueba en TTCN-3 y posteriormente Validarlos realizando la implementación dependiente de la plataforma sobre una tecnología disponible y bien conocida, por ejemplo Ethernet. Gran utilidad cuando la tecnología radio subyacente es muy cara o aún no está disponible.

La metodología al completo queda resumida en la Fig. 3 desde las especificaciones del SUT hasta la validación del sistema de prueba.

4. Aplicación de Llamada de Emergencia (eCall)

La metodología expuesta anteriormente se desarrolló en el contexto del proyecto GST para proporcionar un marco de referencia de medidas sólido para aplicaciones desarrolladas sobre sistemas inalámbricos heterogéneos. Una de las aplicaciones principales es eCall. El principal objetivo de esta aplicación consiste en reducir sustancialmente los tiempos de respuesta de los servicios de rescate en carretera a través de la activación automática o manual tras un accidente o desastre similar. La aplicación puede ser generada automáticamente mediante la activación de un conjunto de sensores que se encuentran distribuidos en el vehículo o de manera manual, mediante la interacción de los ocupantes del vehículo con una interfaz instalada en el mismo. Independientemente de la forma en que la aplicación es lanzada, se establece una comunicación con el servicio de emergencia PSAP (Public Safety Answering Point) más cercano mediante llamada de datos con información relevante al vehículo, especialmente la posición geográfica del vehículo, conocida como MSD

(Minimum Set of Data) y una llamada de voz al número 112 sobre la red celular.

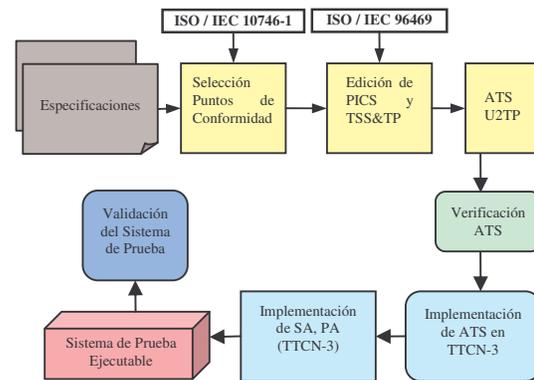


Fig. 3. Metodología desarrollada por AT4 wireless

La cobertura que ha de proporcionar esta aplicación debe ser lo más amplia posible, es decir, en cualquier localización geográfica en la que se encuentre un vehículo, éste debería ser capaz de establecer una comunicación con un centro de servicio e informar de un posible accidente. Hoy día existe un amplio rango de tecnologías de comunicación inalámbrica, Wi-Fi, WiMAX, GSM, UMTS, etc., sin embargo, dentro de este amplio abanico de posibilidades es la red celular la que ofrece una mayor cobertura y alcance en cualquier punto geográfico. Por este motivo y por la capacidad de establecer llamadas de datos y voz, el proyecto GST seleccionó la red celular GSM como medio de comunicación entre un vehículo siniestrado y el centro de servicio, utilizándose para la transmisión de los datos el servicio suplementario USSD (Unrestricted Supplementary Service Data) [10] y empleando el servicio de llamada de emergencia [11] para el establecimiento de la llamada de voz.

4.1. Arquitectura del sistema

La Fig. 4 muestra la arquitectura del sistema eCall. Los datos emitidos por el vehículo hacia el PSAP llevan información relativa a la localización del vehículo permitiendo de esta manera conocer la posición exacta del vehículo, y consecuentemente reduciendo el tiempo de respuesta de los servicios de emergencia. Esta información se obtiene mediante un receptor GPS (Global Position System) en el vehículo. Como muestra la Fig. 4, para que el vehículo pueda hacer uso de la aplicación de eCall debe llevar incorporado un elemento que sea capaz de soportar todo el control de la comunicación de la red celular, mediante la incorporación de un modem GSM, el receptor GPS y el procesado de los sensores que incorpora. Este elemento es el sistema telemático dentro del vehículo y es conocido como TCU (Telematic Control Unit).

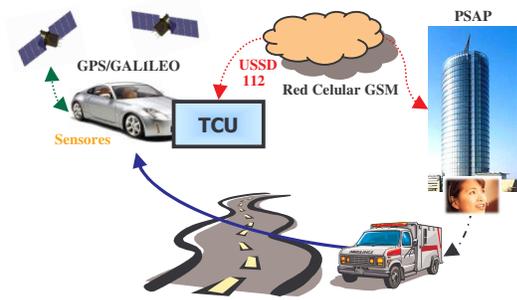


Fig. 4. Arquitectura eCall

4.2. Modelo de Referencia

El desarrollo de la aplicación eCall dentro de la arquitectura descrita anteriormente implica la integración de un modelo de referencia para cada elemento del sistema. Para comprender mejor las partes del modelo, éste será dividido en dos partes, por un lado un modelo de referencia focalizado en la descripción de la aplicación eCall en sí misma y por otro lado, el modelo de la red celular GSM utilizado como medio de transporte para la información intercambiada en eCall.

El modelo de referencia empleado para la aplicación eCall es representado en la torre de protocolos que muestra la Fig. 5. La información encapsulada dentro de mensaje USSD es “procesada” (ver Fig. 6) antes de ser enviada hacia el modem GSM. En primer lugar, la información se encuentra representada y codificada sin ambigüedad en notación ASN.1 (Abstract Syntax Notation) [12]. Posteriormente, la información descrita en ASN.1 es encapsulada en el protocolo TCAP (Transaction Capabilities Application Protocol). TCAP es un protocolo originalmente definido en SS7 (Signalling System 7) para el transporte de mensajes de señalización entre nodos de la red celular. En la aplicación eCall, TCAP es extraído de contexto y se emplea para dotar de un control de flujo el intercambio de mensajes utilizados en eCall entre la TCU y el PSAP, es decir terminal a terminal. Finalmente, toda la información es codificada en base64 ya que los mensajes USSD únicamente pueden transportar cadenas ASCII.

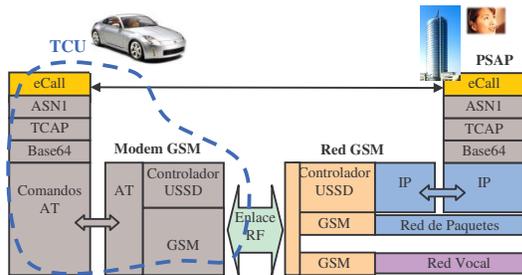


Fig. 5. Modelo de referencia de aplicación eCall

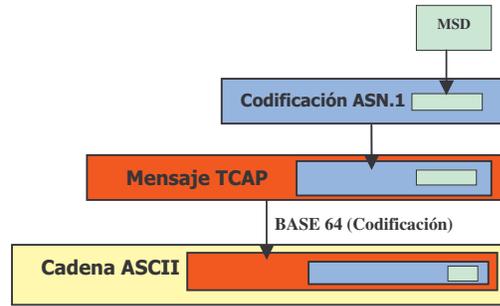


Fig. 6. Encapsulamiento de MSD

Para establecer las comunicaciones de datos y de voz con la red celular, la TCU incorpora un modem GSM para tal propósito. Con el fin de que la aplicación eCall inicie una comunicación de datos o de voz, ésta y el modem GSM intercambian comandos AT. Los comandos AT utilizados para este propósito son los siguientes:

- AT+CUSD=1,"*SC*SI#",15: este comando permite invocar el establecimiento de una sesión USSD por parte del modem GSM.
- ATD112: este comando permite invocar el establecimiento de una llamada de emergencia a través del 112.

La especificación de la aplicación eCall establece que el formato seguido por el mensaje USSD es: *SC*SI#. Donde el SC (Service Code) identifica el código del servicio y el SI (Supplementary Information) transporta los datos del USSD, en este caso codificados en base64.

En el caso del modelo de referencia para la red celular GSM, la siguiente figura muestra en detalle la torre de protocolos de dicha red. El nivel de complejidad de la red GSM es apreciable, y a continuación se enumeran los niveles más relevantes. Destacar que la implementación del servicio USSD se lleva a cabo sobre el nivel CM (nivel 3 GSM). No obstante, el análisis más profundo de estos niveles queda fuera del ámbito de este trabajo.

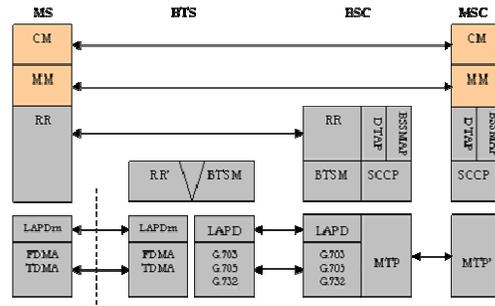


Fig. 7. Modelo de referencia GSM

Tabla 1. Lista de niveles GSM

Nivel	Descripción
CM	Connection Management
MM	Mobility Management
RR	Radio Resource Management
BTSM	Base Transceiver Station Management
MTP	Message Transfer Part
SCCP	Signalling Connection Control Part
DTAP	Direct Transfer Application Part
MAP	Mobile Application Part
TCAP	Transaction Capabilities Application Part

Focalizando el estudio en el servicio suplementario USSD y de llamada de emergencia, los mensajes de protocolo de transporte empleados son de nivel CM y son:

- Servicio USSD: REGISTER, FACILITY y RELEASE COMPLETE.
- Servicio de llamada de emergencia: EMERGENCY SETUP.

4.3. Mensajes y Protocolo de aplicación

Como en todo protocolo de comunicación es necesario establecer el conjunto de mensajes que compondrán el protocolo de aplicación, el contenido de los mismos y el intercambio de mensajes entre las entidades involucradas. Los mensajes definidos en eCall a nivel de la aplicación están enfocados al envío de la información relevante al vehículo. En el caso de la llamada de emergencia, está es generada a nivel GSM a través del comando AT ATD112 comentado anteriormente. Los mensajes empleados son descritos en la Tabla 2.

Tabla 2. Lista de mensajes de aplicación

Mensaje	Dirección	Descripción
MSD	TCU→PSAP	Mensaje inicial para indicar que el vehículo se encuentra accidentado.
ACK	PSAP→TCU	Confirmar la recepción del mensaje MSD.
EOS	PSAP→TCU	Cierra el servicio MSD.

Cada uno de estos mensajes está compuesto de un conjunto de atributos tal y como describe la Tabla 3. De manera opcional, el PSAP puede responder al mensaje MSD por medio de un mensaje de ACK y posteriormente con un mensaje de EOS (*End of Services*).

Tabla 3. Atributos del mensaje MSD

Atributo	Descripción
Latitud	Indicar la latitud GPS del vehículo.
Longitud	Indicar la longitud GPS del vehículo.
Dirección	Indica la dirección del vehículo.
Activadores ON	Número de activadores ON.
Matrícula	Número de identificación del vehículo.
FV	Fabricante del vehículo.
MV	Modelo del vehículo.
CV	Color del vehículo.
Activadores	Identifica los activadores ON.
Timestamp	Instante del accidente.
TFSP	Número de teléfono del proveedor de servicio.
IPSP	Dirección IP del proveedor de servicio.

La Fig. 8 muestra un escenario completo del protocolo de ejecución de la aplicación eCall.

4.4. Estado de estandarización

La actividad desarrollada en GST fue seguida y será continuada por 3GPP y ETSI para la edición completa de unos estándares abiertos para la aplicación eCall. ETSI como socio de 3GPP solicitó a través de MSG (Mobile Standard Group) que SA1 (grupo de trabajo de 3GPP) desarrollase un conjunto de requisitos para el soporte de eCall. En Julio de 2005 3GPP inició la elaboración de un informe técnico denominado “Transferring of Emergency Call Data” cuyo fin estuvo planificado para Diciembre de 2005. Además indicar que existen otras líneas de discusión establecidas en 3GPP para la inclusión de eCall en la redes de nueva generación NGN (Next Generation Networks). En este aspecto el principal tema tratado es la definición de la señalización asociada a esta aplicación sobre IMS (IP Multimedia Subsystem).

Finalmente remarcar que ISO más en concreto TC-204 (Technical Committee 204) está desarrollando un nuevo estándar llamado “Intelligent Transport Systems – Wireless Communications – Emergency Call using cellular networks” que actualmente se encuentra en estado borrador.

5. Aplicación de la metodología en eCall

AT4 wireless ha realizado para el presente trabajo la especificación y un prototipo de la herramienta de prueba de conformidad de la aplicación eCall a partir de las especificaciones definidas en el proyecto GST basándose en la metodología descrita en el apartado 3. Concretamente, los puntos de conformidad, la especificación de prueba y la herramienta de prueba están descritos y desarrollados para el caso de que el SUT sea la TCU instalada dentro del vehículo.



Fig. 8. Escenario completo de aplicación eCall

5.1. Selección de puntos de conformidad

La especificación GST sobre la aplicación cuya arquitectura es mostrada en Fig.4 es descompuesta en objetos aplicando el principio de composición-

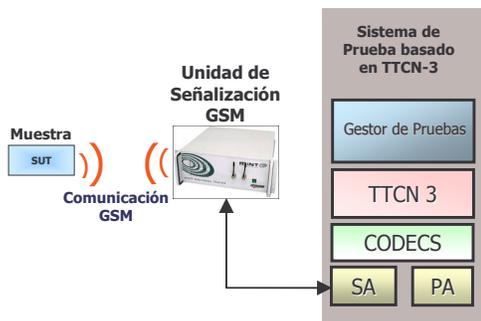


Fig. 10. Arquitectura de prueba eCall

El módulo TTCN-3 viene definido por la configuración de prueba y la edición de cada uno de los casos de prueba de la aplicación eCall (Ver la Fig. 11). La configuración de prueba está formada por dos componentes. Uno de los componentes simula el controlador de la red celular cuyo objetivo es recibir y procesar toda la información procedente de esta red (a través del adaptador). El otro componente es un simulador del PSAP, que recibirá los mensajes MSD y las notificaciones de establecimiento de una llamada de emergencia del simulador de red y le enviará a este los mensajes ACK y EOS generados. Este componente implementa la lógica de veredictos.

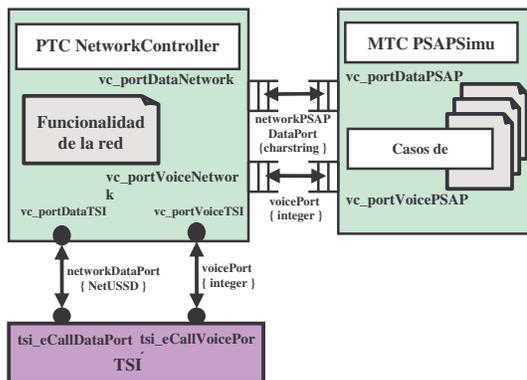


Fig. 11. Configuración de prueba TTCN-3 eCall

El módulo SA (System Adaptor) por definición proporciona la facilidad de comunicación del módulo TTCN-3 con el sistema bajo prueba. En este caso el sistema bajo prueba usa como tecnología de comunicación GSM. Por tanto es necesaria una red GSM para facilitar la comunicación entre la asignación de veredicto (TTCN-3) y aplicación bajo prueba eCall en la TCU. Se utilizó la unidad de señalización GSM desarrollada en *AT4 wireless* y validada oficialmente para certificación de terminales GSM. El adaptador por tanto es la implementación de la comunicación entre TTCN-3 y el hardware de señalización abstrayendo así al primero de los detalles de la red GSM (real, emulada, etc.). Este es la esencia de TTCN-3 como lenguaje de descripción pruebas: su edición no depende de la plataforma hardware.

El módulo PA en este caso consiste de la implementación de rutinas auxiliares en lenguaje nativo (en este caso C) para dotar de más potencia algorítmica al comportamiento de TTCN-3.

5.6. Validación del sistema de pruebas

Una vez la herramienta de prueba es desarrollada e integrada, ésta debe de ser validada para asegurar su correcta implementación. Para tal propósito, *AT4 wireless* ha utilizado dos muestras (TCUs) acorde a la especificación de eCall desarrollados por otros miembros del proyecto GST. El objetivo de esta validación es comprobar la correcta integración e implementación de cada uno de los bloques que componen la herramienta de pruebas, desde los casos de pruebas escritos en TTCN-3 hasta la integración del sistema de pruebas con la unidad de señalización.

La primera muestra es un software Java que implementa únicamente el comportamiento de la TCU para el envío del mensaje MSD y el establecimiento de llamada al 112. Fue necesario conectar el ordenador anfitrión con un móvil que asumiera el rol de modem GSM. Han sido validados los casos de prueba relacionados con el envío del mensaje MSD y la llamada de emergencia. Para ilustrar uno de los casos de prueba, la Fig. 12 muestra el intercambio de mensajes a nivel AT y GSM que se producen para obtener un veredicto 'PASA' en el caso de prueba de envío correcto de un mensaje MSD ejecutado sobre la muestra descrita.

La segunda muestra contra la que se validó la herramienta de prueba era un sistema computador de propósito específico que incorporaba el software y un modem GSM Wavecom. El procesador y el modem se comunican a través de comandos AT. Esta muestra implementa las mismas funcionalidades que la anterior, por tanto han sido validados los casos de prueba relacionados con el envío del mensaje MSD y la llamada de emergencia.

Los resultados de la validación y las incidencias encontradas son recopilados en la Tabla 7.

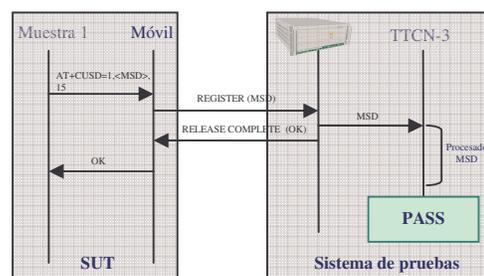


Fig. 12. Escenario de caso de prueba para muestra 1

Tabla 7. Resultados de validación

	Muestra 1	Muestra 2
Plataforma	Software	Hardware
Grado de Conformidad (pass, fail, NA)	40% (3,2,5)	40% (3,2,5)
	No implementa envío de ACK y EOS	No implementa envío de ACK y EOS.
	Tiempos de respuesta elevados.	
Incidencias Sistema de Pruebas	Ninguna.	La unidad de señalización no soporta dos procesos de señalización simultáneos.

Una incidencia es obtenida con la muestra 2 y es debida que la TCU envía en secuencia los comandos AT de envío de USSD y de llamada a 112 lo cual en el plano de señalización GSM implica una ejecución simultánea de dos procesos de señalización, para lo cual la unidad de señalización no estuvo inicialmente concebida. Esta incidencia está fuera del ámbito de eCall como aplicación pero deja patente lo expuesto en el apartado 4.4: la necesidad de estandarización de la tecnología subyacente a la aplicación eCall. En el plano de aplicación el sistema de pruebas no presentó ningún error de comportamiento lo que cual demuestra la validez de la metodología expuesta para la elaboración de un diseño óptimo del sistema de pruebas.

6. Conclusiones

Con el objetivo de garantizar interoperabilidad entre sistemas pertenecientes a entornos heterogéneos se ha desarrollado una metodología formal de pruebas. Se ha aplicado esta metodología para la elaboración de especificaciones formales de prueba para la aplicación eCall y a la implementación de un prototipo de sistemas de pruebas de conformidad. Las especificaciones y el prototipo permiten medir el grado de conformidad de las especificaciones desarrolladas para las unidades telemáticas (TCUs) instaladas en los vehículos. Finalmente se ha validado la herramienta de pruebas con prototipos de unidades desarrolladas por BMW, Renault, FIAT, etc. Los resultados obtenidos muestran la optimización del tiempo de desarrollo del sistema de pruebas de eCall gracias a la metodología aplicada (ver Fig. 13). Además la concurrencia de este desarrollo con el del SUT permitió una realimentación mutua entre ambos desarrollos que detectó errores de implementación tal y como se observó en el proceso de validación.

Las relaciones de interdependencia teóricas representadas en la Fig. 1 se plantearon como objetivo de diseño de la metodología. En la aplicación de esta metodología se obtuvieron unas relaciones prácticas mostradas en la Fig. 13. y detalladas en la siguiente tabla.

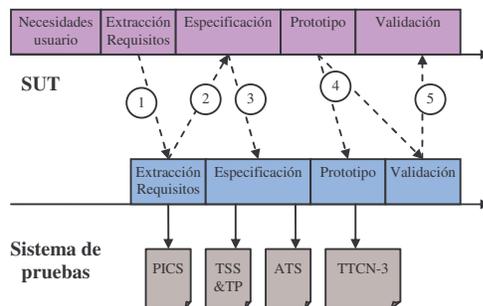


Fig. 13. Desarrollo de SUT y de sistema de pruebas para eCall

Tabla 8. Relaciones de interdependencia obtenidas

1. Los requisitos del SUT son la base para la elaboración de PICS
2. El análisis minucioso produce una detección de problemas de diseño y solicitud de actualización.
3. La especificación del SUT es la base para la extracción de puntos de conformidad y la elaboración del documento TP.
4. El prototipo del SUT es utilizado para implementar el sistema de pruebas.
5. La validación del sistema de pruebas detecta errores en el prototipo del SUT.

Por tanto, aplicando dicha metodología se consiguió elaborar la especificación y la implementación del prototipo del sistema de pruebas en los plazos deseados además de aportar una realimentación a las especificaciones del SUT para su depuración.

Agradecimientos

El desarrollo de la metodología para la formalización de especificaciones ha sido parcialmente subvencionado por la Junta de Andalucía.

El trabajo de desarrollo de especificaciones y desarrollo del prototipo de sistema de medida ha sido parcialmente subvencionado por la EU (proyecto GST).

Referencias

- [1] GST Project web page. Disponible en: www.gstforum.org.
- [2] European Union – Information Society Technologies – eSafety. http://ec.europa.eu/information_society/activities/esafety/index_en.htm
- [3] RAE – Real Academia Española. Disponible en: www.rae.es.
- [4] ISO/IEC 9646-1: 1994. “Information technology - Open Systems Interconnection - Conformance testing methodology and framework - Part 1: General concepts”.
- [5] ISO/IEC 10746: 1996. “Information technology - Open Distributed Processing -Reference Model: Foundations”.
- [6] ISO/IEC 7498: 1994. “Information technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model: The Basic Model”.

- [7] “UML Testing Profile (Version 1.0 formal/05-07-07). Object Management Group (OMG)”, 2005.
- [8] IEEE 802.11p: 2005. “Supplement to 802.11-1999, Wireless LAN MAC and PHY specifications: Wireless in Vehicular Environments (WAVE)”.
- [9] ETSI ES 201 873-1, V3.1.1: (2005-06). “Methods for Testing and Specification (MTS); The Testing and Test Control Notation version 3; Part 1: TTCN-3 Core Language”.
- [10] 3GPP TS 2x.090. Unstructured Supplementary Service Data (USSD) – Stage 1, 2 and 3 (Release 6).
- [11] 3GPP TS 24.008. Mobile Radio Interface Layer3 Specification; Core Network Protocols – Stage 3.
- [12] ITU-T Rec. X.680: Specification of basic Notation.
- [13] “Detailed Specification of inspection methodologies & test system, 2006”, DEL_3_3, GST Deliverable.