

Comunicaciones digitales en medios de transporte



Este artículo expone las repercusiones de los avances de la tecnología en los medios de transporte. Desde hace algunos años, el Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid, en colaboración con la empresa Sistemas Electrónicos de Potencia S.A., desarrolla sistemas digitales de comunicaciones para el mundo ferroviario basados en un estándar de comunicaciones abordo de un tren (IEC 61375). A raíz de esto, ha surgido una tesis doctoral, que se está desarrollando en el Instituto de Investigación Tecnológica, cuyo objetivo es modelar y validar un sistema digital de comunicaciones que compatibilice los rápidos avances de la tecnología con los antiguos sistemas de comunicaciones embarcados en los trenes.

A nadie se le escapa el hecho de que la tecnología (circuitos digitales integrados, microprocesadores, comunicaciones, equipos electrónicos digitales...) avanza a gran velocidad tanto en su desarrollo como en su comercialización. Cada día aparecen noticias en los medios de comunicación sobre nuevas tecnologías digitales, teléfonos móviles con nuevos servicios multimedia, sistemas "inteligentes" con más prestaciones, ordenadores personales con más capacidad de procesamiento, sistemas de navegación para automóviles, y así un sin fin de nuevos dispositivos que cada día utilizamos en casa, en el trabajo, en el transporte... y a los que nos amoldamos y habituamos a cambio de una mejora en la calidad de vida.

El uso de las nuevas tecnologías conlleva factores socio-económicos muy importantes, tales como:

- mayor productividad en la industria,
- aumento de la necesidad de trabajar fuera de la oficina (en casa o en la calle),
- incremento de la "dependencia" de los ordenadores personales, del correo electrónico, del fax y de las grandes bases de datos.

Los avances tecnológicos están impulsados por la disminución del tamaño y del consumo de los circuitos integrados, y el aumento de la potencia de cálculo y de procesamiento. Ejemplos claros de estos adelantos son

los teléfonos móviles, los cuales cada vez se hacen más pequeños y con más funcionalidades tales como sincronización con el correo electrónico, calendario, cámara fotográfica, *Bluetooth*⁽¹⁾... capaces de almacenar cada vez más información y de comunicarse con los dispositivos que le rodean. Otro ejemplo son las agendas electrónicas, también conocidas como PDA (*Personal Digital Assistant*), que permiten almacenar tareas, citas, contactos, enviar y recibir correos electrónicos, editar textos, realizar hojas de cálculo, etc., y comunicarse con distintos tipos de redes de datos mediante conexiones inalámbricas. Por último, se pueden mencionar los ordenadores personales portátiles, cada vez más ligeros y autónomos, con mayor potencia de procesamiento que los anteriores.

Otra línea de avance tecnológico se basa en las comunicaciones entre dos terminales o equipos. Las **comunicaciones por cable** son cada día más rápidas, lo que favorece un mayor intercambio de información en menos tiempo. Sirvan como ejemplo las redes *Gigabit-Ethernet*, capaces de transmitir 1.000 millones de bits por segundo a larga distancia; o el USB (*Universal Serial Bus*) en su versión 2.0, capaz de transmitir 480 millones de bits por segundo entre dispositivos cercanos, como por ejemplo entre un ordenador personal y una cámara digital o un disco duro externo.



Carlos Rodríguez-Morcillo García

Ingeniero Industrial del ICAI (Promoción 2001) es investigador en formación en el Grupo de Electrónica y Automática del Instituto de Investigación Tecnológica, donde está elaborando su tesis doctoral.

⁽¹⁾ Tecnología de comunicaciones inalámbrica local de corto alcance.

En cuanto a las **comunicaciones inalámbricas** los avances han sido acogidos espectacularmente por la sociedad, la cual demanda cada vez más servicios digitales en cualquier lugar y en cualquier momento aprovechando la potencia de estas comunicaciones. Un ejemplo de este desarrollo se puede constatar en el tremendo auge de las tecnologías inalámbricas para redes de área local (LAN-Local Area Network), concretamente del estándar IEEE 802.11², aplicadas en pequeños espacios públicos altamente ocupados, como hoteles, centros de convenciones, aeropuertos, universidades, etc.

Algunos de los factores que contribuyen a la evolución de este tipo de conexiones inalámbricas son:

- componentes baratos y fáciles de instalar;
- espectro de frecuencias sin necesidad de licencia,
- banda ancha,
- interoperabilidad entre equipos garantizada por estándares y certificaciones.

La unión entre el rápido avance tecnológico de los componentes y el de las comunicaciones, especialmente las inalámbricas, potencian la movilidad y el carácter remoto de los sistemas, bien para uso personal, bien para el control de sistemas electrónicos.

Los transportes

Los medios de transporte no son ajenos al rápido avance tecnológico, ni al aumento de la necesidad de los usuarios de estar conectados a las redes de información (Internet), ni a la demanda permanente de servicios multimedia o de control en cualquier lugar y en cualquier momento.

Las redes de transporte están experimentando un crecimiento que tendrá un importante impacto social en el transporte a nivel global, lo que hace que sean objetivo prioritario de la investigación a nivel europeo para los próximos años.

El dibujo de la Figura 1 muestra un ejemplo de las comunicaciones utilizadas en los medios de transporte.

Por ejemplo, para las flotas de camiones y autobuses se están empleando sistemas de control que mantienen comunicación permanente entre la central y el conductor, pudiendo éste solicitar cualquier tipo de información en tiempo real (por ejemplo, mapas de carreteras, áreas de descanso, zonas con

Figura 1. Comunicaciones en los transportes

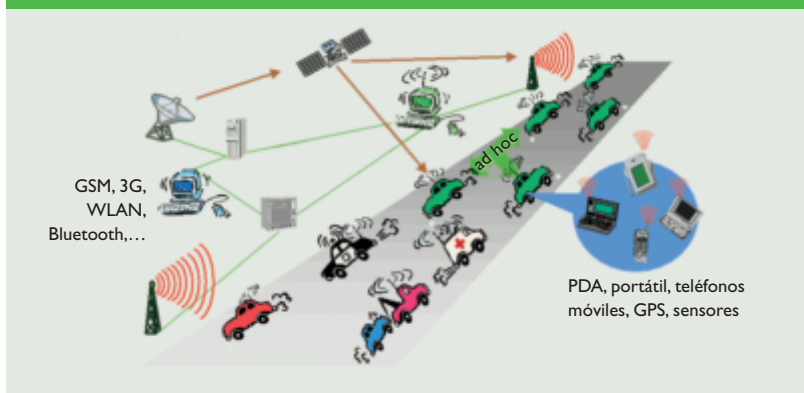
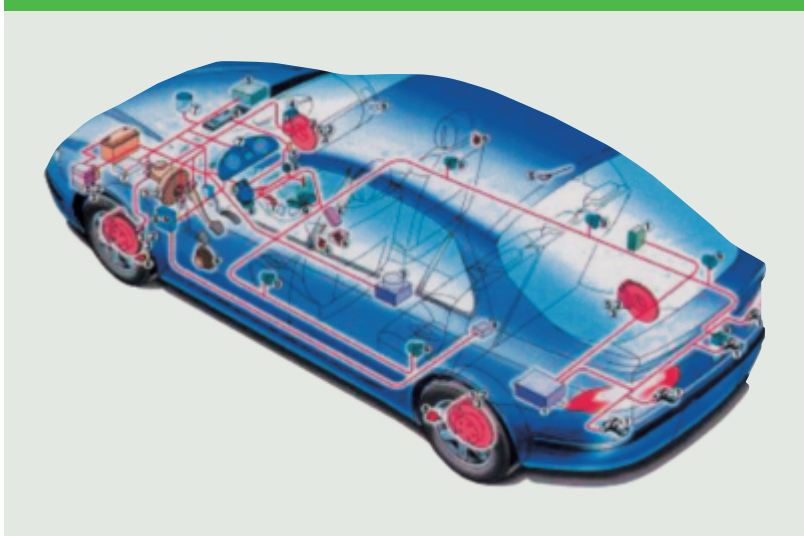


Figura 2. Conexión interna entre los dispositivos de un automóvil



tráfico denso, etc.) y estando localizable para la central en todo momento. Este servicio lo ofrecen, por ejemplo, las empresas de mensajería y paquetería, las cuales permiten conocer, en tiempo real, la ubicación del paquete que se ha enviado.

En cuanto a sistemas embarcados en medios de transporte, el ejemplo más claro está en el automóvil. Todos los dispositivos del vehículo (sensores, *airbags*, frenos, pedales, climatizador, etc.) están conectados mediante un bus de comunicaciones³ a un ordenador central, que es el encargado de controlar todos los subsistemas del vehículo, como por ejemplo los de seguridad: *airbag*, ABS (*Antilock Braking System*), controles de estabilidad y de tracción, entre otros.

En la Figura 2 se muestra un esquema interno de un automóvil en la que se puede

⁽²⁾ Comúnmente conocido como WLAN (*Wireless LAN*) o Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) en sus diferentes versiones.

⁽³⁾ El más empleado es el bus CAN (*Controller Area Network*), aunque actualmente se están desarrollando otro tipo de buses más rápidos y fiables que éste.

Figura 3. Dispositivos de una locomotora y de un vehículo ferroviario

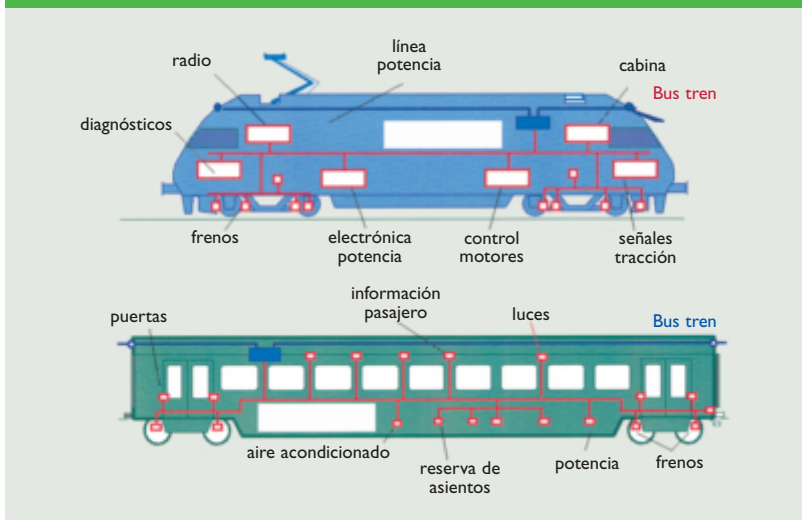
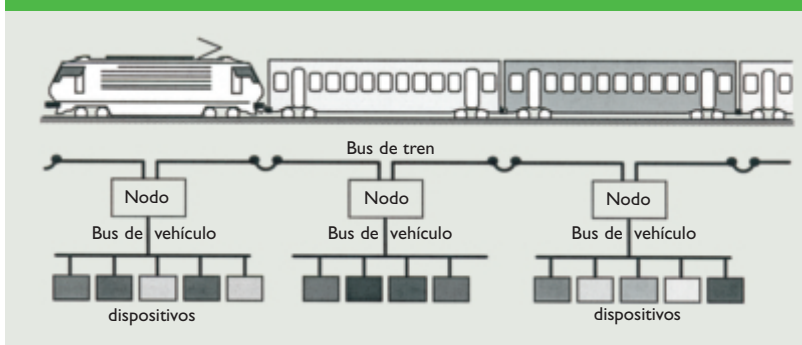


Figura 4. Buses de tren y de vehículo instalados en un tren



apreciar la conexión entre los diferentes dispositivos del vehículo⁴.

El ferrocarril

Particularmente, el transporte ferroviario está adquiriendo una creciente importancia en Europa y en el mundo, ya que es capaz de enfocar y resolver parcialmente algunos de los problemas más extendidos de la sociedad moderna, como por ejemplo:

- problemas de movilidad,
- exceso de tráfico privado (automóviles),
- contaminación y protección del medio ambiente,
- mejor uso de los recursos existentes (eficiencia energética)...

Cada vez más, el ferrocarril necesita desplazar gran número de personas y de mercancías a velocidades mayores. Esto sólo se puede conseguir de una forma eficaz mediante comunicaciones rápidas y efectivas.

Para ello, los operadores de la red ferroviaria necesitan comunicarse rápidamente con las tripulaciones de los trenes y mantener la comunicación por voz o mensajes de datos en cualquier punto de la red donde estén.

Esto requiere un alto grado de innovación en el uso de nuevas tecnologías, en la mejora de la calidad del servicio y en el incremento de la capacidad de transporte. Para ello son necesarios importantes esfuerzos que permitan solucionar las necesidades más urgentes, como la interoperabilidad entre los equipos embarcados en los trenes, el soporte tecnológico para la supervisión y el mantenimiento de dichos equipos, la comunicación con la infraestructura ferroviaria en tierra para acceder a las redes de información y la posibilidad de dar nuevos servicios digitales a los clientes.

Gran parte de la investigación en el transporte ferroviario “moderno” se centra en un sistema de comunicaciones de gran ancho de banda que sea capaz de interconectar todos los subsistemas electrónicos embarcados en el vehículo, cubriendo así las necesidades mencionadas anteriormente.

Estándar IEC 61375

Al igual que en un automóvil, el tren embarca numerosos dispositivos tanto en la locomotora como en los vehículos (véase la Figura 3). Estos equipos deben estar conectados al ordenador central del tren para que éste gestione sus tareas convenientemente, como por ejemplo la apertura y el cierre de puertas, la actuación sobre los frenos, la climatización de los coches, el anuncio de las estaciones en los paneles informativos, etc.

Dentro de las redes de comunicaciones empleadas para conectar los dispositivos de un tren, la más utilizada es la red TCN (*Train Communication Network*), que se desarrolló para permitir la compatibilidad y la comunicación entre los dispositivos de diferentes fabricantes instalados en el mismo coche o en diferentes vehículos del tren.

Esta red de comunicaciones es un sistema estandarizado en el año 1999 como IEC 61375-1 [1] y como IEEE 1473-T [2], y ha sido objeto de un profundo estudio en el Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid [3]. Bajo este estándar se han desarrollado varios equipos [4], y es el punto de partida de una tesis doctoral del Instituto.

⁽⁴⁾ Figura obtenida de la página web <http://www.brauer-it.de/laguna-lounge/bilder/elektronischesysteme/index.html>.

El estándar define una arquitectura de dos buses para las comunicaciones de los equipos embarcados en un tren. Esta arquitectura consta de un **bus de tren** y de un **bus de vehículo** (véase la Figura 4).

El bus de tren especificado en el estándar es el WTB (*Wire Train Bus*), que permite la comunicación entre los equipos de diferentes vehículos del tren. Este bus se conecta a los nodos, que son dispositivos que actúan como puertas de enlace entre el bus de tren y los diferentes buses de vehículos de cada coche, localizados en cada vehículo. La información se transmite a la velocidad de 1 Mbps y es autoconfigurable ante cambios de la composición del tren, es decir, detecta el enganche y desenganche de vehículos en el tren y configura automáticamente los dispositivos de la nueva red.

El otro bus especificado en el estándar, que forma la arquitectura de dos buses de la red TCN, es el MVB (*Multifunction Vehicle Bus*), que se emplea como bus de vehículo para permitir la comunicación entre los equipos de un entorno cercano. A él se conectan los dispositivos de los sensores y actuadores instalados en el vehículo. Su tasa de bits es de 1,5 Mbps y no es autoconfigurable.

Existen buses alternativos (no contemplados por el TCN) para desempeñar las mismas funciones que el WTB y el MVB, como el LonWorks o el WorldFIP, pero no presentan ninguna mejora reseñable frente al TCN.

El estándar TCN se está probando desde hace años con varios proyectos europeos. El primero de ellos fue ROSIN (*Railway Open System Interconnection Network*) [5], [6], financiado bajo el programa de trabajo *Telematics Applications* de la Comunidad Europea. Su objetivo consistió en la validación de una plataforma completa donde una red estándar interconecta todos los sistemas y dispositivos embarcados, buscando la interoperabilidad entre los dispositivos de un mismo coche y los de diferentes vehículos.

La continuación de este proyecto fue Train-Com (*Integrated Communication System for Intelligent Train Applications*) [7], financiado por la Comunidad Europea dentro del programa IST (*Information Society Technologies*). Su objetivo fue definir un enlace estándar entre la red digital embarcada y los servicios en tierra, desarrollando dos importantes aplicaciones relacionadas con la información dinámica a los pasajeros y con la interoperabilidad con la locomotora, permitiendo así la supervisión del equipo embarcado de forma remota.

La tercera y última parte de pruebas de la red TCN es EuRoMain (*European Railway Open Maintenance System*) [8], cuyo objetivo es definir, implementar y validar un completo sistema de soporte de mantenimiento para ferrocarriles, el cual permitirá la monitorización y el diagnóstico remoto de equipos embarcados en trenes, dentro de una locomotora determinada.

Trabajo de investigación

Como se ha comentado anteriormente, el estudio del estándar ferroviario TCN y el desarrollo de dispositivos para el bus MVB en el Instituto de Investigación Tecnológica son la base de la tesis doctoral titulada "*Modelado y validación de un sistema digital de comunicaciones de gran ancho de banda de aplicación en vehículos de transporte*". La Asociación/Colegio Nacional de Ingenieros del ICAI participa en la misma mediante una beca de investigación.

El motivo principal de la tesis es la creciente demanda, en el sistema ferroviario, de un mayor número de servicios por parte de los gestores de la red, tanto para ofrecer al usuario más comodidades como para controlar los trenes y los sistemas embarcados.

Algunos de estos nuevos servicios son:

- control remoto de los equipos embarcados en el tren,
- vídeo-vigilancia,
- servicios multimedia para el pasajero: música, vídeo digital, televisión y radio en tiempo real,
- acceso a Internet desde el tren.

La mayoría de los trenes actuales no incorporan estos servicios pues, cuando se fabricaron, no existía la demanda ni la tecnología capaz de ofrecerlos. Un problema que aparece entonces es el de embarcar, con el mínimo coste posible, los equipos necesarios para ofrecer estos servicios en los trenes que circulan actualmente por la red ferroviaria nacional.

Una posible solución consiste en instalar un cableado nuevo en el tren, por ejemplo fibra óptica, que admita gran ancho de banda y, por lo tanto, resuelva el problema. El inconveniente está en que implantarlo supone detener un tren durante varias semanas o incluso meses, para que desmonten el cableado actual de comunicaciones e instalen el nuevo.

Obviamente esto tiene unos costes muy elevados. Por una parte hay que trabajar en el tren, con el coste económico y en personal que esto supone, y por otra parte para la empresa ese tren no está "produciendo" por-

que no está dando servicio de transporte, lo que se traduce en una pérdida económica.

La solución que se pretende desarrollar en la tesis doctoral es un sistema de comunicaciones que aproveche al máximo la capacidad de transmisión del cable que actualmente hay instalado en los trenes y así obtener el máximo rendimiento minimizando los costes. Esta solución sólo le supone, al gestor del tren, detenerlo durante pocos días para intercambiar las tarjetas de comunicaciones actualmente instaladas a bordo por las del nuevo sistema.

Por lo tanto, el objetivo principal de la tesis es desarrollar un sistema digital de comunicaciones de gran ancho de banda que utilice el cableado actual de los trenes para transmitir información.

Para llevar a cabo el proyecto se van a estudiar posibles alternativas de sistemas de comunicaciones para medios de transporte, se va a analizar la más satisfactoria mediante su modelado teórico y matemático, y, por último, se va a desarrollar y validar algún prototipo representativo, con una especificación orientativa de los requisitos funcionales y no funcionales para el desarrollo en este campo.

Como referencia, se van a estudiar las líneas DSL (*Digital Subscriber Line*) y PLC (*Power Line Communication*), ampliamente conocidas en España por su uso doméstico para conexión a Internet: la primera de ellas mediante el cable telefónico; y la segunda mediante el cable de potencia eléctrica del hogar. En ellas se emplean unas técnicas de modulación y transmisión de datos que pueden resultar de gran interés en el desarrollo de la tesis.

Conclusiones

Este artículo comenta la rápida evolución de la tecnología tanto en componentes como en comunicaciones. Esto aumenta la demanda de servicios digitales por parte de los particulares y de las empresas.

En los medios de transporte y, particularmente, en el mundo ferroviario, el gran interés suscitado por los avances tecnológicos hace que la demanda de nuevos servicios sea muy grande, pues éstos permiten ofrecer un mayor confort a los pasajeros y la empresa de transporte puede mantener un mejor control remoto de sus equipos, además de otros servicios (por ejemplo, vídeo-vigilancia).

Con la amplia experiencia adquirida en el Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid con el desarrollo de dispositivos de comunicaciones

para trenes, ha surgido una tesis doctoral que actualmente se encuentra en fase de elaboración y que intenta solucionar los problemas de compatibilidad entre los rápidos avances tecnológicos, es decir, la demanda de servicios digitales, con los antiguos sistemas de comunicaciones embarcados en los trenes.

Agradecimientos

Agradecemos a la Asociación/Colegio de Ingenieros del ICAI la colaboración prestada mediante la beca de investigación a la tesis doctoral titulada "*Modelado y validación de un sistema digital de comunicaciones de gran ancho de banda de aplicación en vehículos de transporte*", que se está desarrollando en el Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid.

También queremos agradecer a la empresa española Sistemas Electrónicos de Potencia, S.A. (SEPSA) la colaboración prestada mediante el apoyo y el material ferroviario, sin los cuales sería imposible obtener resultados fiables. ■

Referencias

- [1] IEC Standard 61375-1, "Electric railway equipment-Train bus Part 1: Train Communication Network," en *International Electrotechnical Commission*, Génova (Italia), 1999, pp. 1-705.
- [2] H. Kirmann, y P.A. Zuber, "The IEC/IEEE train based on the TCN system," presentado en el 5th *World Congress on Railway Research*, Colonia (Alemania), 2001.
- [3] C. Rodríguez-Morcillo García, S. Alexandres Fernández, J. D. Muñoz Frías, "Análisis del estándar de comunicaciones TCN (Train Communication Network)," póster de la 3^a Conferencia Internacional de Telecomunicación, Electrónica y Control (TELEC'04), Santiago de Cuba (Cuba), 2004.
- [4] C. Rodríguez-Morcillo García, S. Alexandres Fernández, y J. D. Muñoz Frías, "Diseño de dos Controladores de bus MVB para dispositivos de Clases 1, 2 y 3". Universidad Pontificia Comillas. Artículo interno. Marzo de 2004.
- [5] P. Umiliacchi, C. Pentimalli, y A. Piazza, "ROSIN-TR 1045-Summary of the Specification and Development Work," en *Telematics Application Programme TR 1045*, 1997, pp. 1-40.
- [6] P. Umiliacchi, "The role of European research in the railways modernisation process: the ROSIN (Railway Open System Interconnection Network) project," presentado en el 3rd *World Congress on Railway Research*, Florencia (Italia), 1997.
- [7] E. Renner, "Traincom. Integrated Communication System for Intelligent Train Applications," en el proyecto europeo IST-1999-20096, 2001, pp. 1-8.
- [8] J. Tiedemann, "Workshop on user requirements for the EuRoMain Project," en proyecto europeo IST-2001-34019, 2002, pp. 1-6.