



Departamento de Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla

**Aplicación a sistemas inteligentes de transporte del estándar IEEE 1451
en la integración de sistemas empotrados y sensores. Desarrollo de
entidades y librerías software para NCAP y TIM.**

Autor: Julio Alberto Becerra Gómez
Tutor: Federico José Barrero García

Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Telecomunicación

Sevilla, julio de 2010

Resumen

Este proyecto se sitúa en el marco de las redes de sensores y el transporte inteligente, concretamente en el análisis de las aplicaciones del estándar IEEE 1451 para sensores inteligentes en estos campos. Tras realizar un estudio de dicho estándar y las diferentes tecnologías actuales utilizadas para la creación de redes de control en vehículos, se trata el tema de las redes inalámbricas y su papel en los sistemas de transporte inteligente. Como parte del proyecto, se realizó una implementación tanto de un TIM como de un NCAP, las cuales son lo suficientemente flexibles para ser portadas y utilizadas en diferentes tipos de dispositivos.

Índice

Introducción y objetivos	1
1 IEEE 1451	5
1.1 Historia	6
1.2 IEEE 1451.0	8
1.3 IEEE 1451.1	16
1.4 IEEE 1451.2	17
1.5 IEEE 1451.3	18
1.6 IEEE 1451.4	20
1.7 IEEE 1451.5	21
1.8 IEEE P1451.6	22
1.9 IEEE P1451.7	23
1.10 Algunas aplicaciones	23
2 In-Vehicle Networking	29
2.1 X-by-Wire	31
2.2 Controller Area Network (CAN)	32
2.3 Problemas de CAN	36
2.4 Local Interconnect Network (LIN)	37
2.5 J1850	38
2.6 Time-Triggered Protocol	38
2.7 Time-Triggered CAN	39
2.8 Byteflight	41
2.9 FlexRay	42
3 Redes inalámbricas	45
3.1 Algunas tecnologías radio	47
3.1.1 IEEE 802.11	47
3.1.2 IEEE 802.11e	50

3.1.3	IEEE 802.11p	50
3.1.4	Bluetooth	52
3.1.5	Ultra Wide Band	52
3.1.6	ZigBee	53
3.1.7	WiMAX	54
3.2	El estándar Bluetooth	55
3.2.1	La pila de protocolos Bluetooth	55
3.2.2	Radio Bluetooth	56
3.2.3	Gestor de enlaces	57
3.2.4	Controlador de enlaces	57
3.2.5	Definición de canales	58
3.2.6	Paquetes	59
3.2.7	Dirección de dispositivos Bluetooth	60
3.2.8	Definición de enlaces	60
3.2.9	Establecimiento de conexiones	62
3.2.10	Piconets y Scatternets	64
3.2.11	Modos y procedimientos de operación	64
3.2.12	Procedimiento de intercambio de funciones	67
3.2.13	Transferencia de datos mejorada (EDR)	67
3.2.14	Bluetooth de bajo consumo	67
3.2.15	Protocolos de capas superiores	68
3.2.16	Uso de servicios Bluetooth	69
3.3	Sensores Bluetooth	70
3.4	Bluetooth en vehículos	72
3.4.1	Comunicaciones a nivel de sistema	72
3.4.2	Comunicaciones a nivel de dispositivos de usuario	73
4	Implementación	77
4.1	Plataforma hardware	77
4.2	Plataforma software	79
4.3	TIM	82
4.4	NCAP	84
5	Conclusiones	89

Lista de Figuras

1.1	Arquitectura del conjunto de estándares IEEE 1451	6
1.2	Modelo de referencia IEEE 1451	8
1.3	Diagrama de estados de un transductor	10
1.4	Diagrama de estados de un TIM	10
1.5	Formato mensaje IEEE 1451.0	11
1.6	Mensaje de respuesta IEEE 1451.0	11
1.7	Jerarquía de clases del modelo IEEE 1451.1	17
1.8	Arquitectura propuesta para IEEE 1451.2	18
1.9	Pila de protocolos IEEE 1451.3	19
1.10	Formato de comando IEEE 1451.3	19
1.11	Formato de respuesta IEEE 1451.3	19
1.12	Interfaz IEEE 1451.3	20
1.13	Pila de protocolos Bluetooth IEEE 1451.5	23
1.14	Comparativa entre un módulo CAN y otro IEEE 1451	24
1.15	Diagrama funcional de la aplicación de señalización	25
1.16	Diagrama de tiempo del IEEE 1451.2 en una red distribuida de sensores	25
1.17	Sistema experimental con interfaz IEEE 1451.2 para el control de un motor	26
2.1	Estructura de un sistema CAN	32
2.2	Comunicación en un sistema TTP/C	39
2.3	Matriz del sistema TTCAN	41
2.4	Técnica FTDMA en Byteflight	42
2.5	Ciclo de comunicación en un sistema FlexRay redundante	43
3.1	Conjunto de protocolos IEEE 1809	51
3.2	Pila de protocolos Bluetooth	56
3.3	Duplex por división en el tiempo y saltos de frecuencia en Bluetooth	58
3.4	Mecanismo de selección de saltos en Bluetooth	59
3.5	Formato del paquete básico	59

3.6	Formato del paquete de datos mejorado	59
3.7	Formato de direcciones Bluetooth	60
3.8	Diferentes configuraciones Bluetooth	65
3.9	BTnode de la ETH de Zúrich	71
3.10	iMote de Intel	72
4.1	Pila de protocolos iWRAP	79
4.2	Diagrama de bloques del WT12	80
4.3	Herramientas utilizadas para la programación del ATmega8	81
4.4	Interfaz WEB realizado para el NCAP	87

Lista de Tablas

1.1	Familia IEEE 1451.0	7
1.2	Formato general para cualquier TEDS	12
1.3	Estructura de identificación de un TEDS	13
1.4	Bloque de datos de un <i>Meta-TEDS</i>	14
1.5	Bloque de datos de un <i>TransducerChannel TEDS</i>	15
1.6	Bloque de datos de un <i>User's Transducer Name TEDS</i>	15
1.7	Resumen API HTTP IEEE 1451.0	16
1.8	Bloque de datos de un <i>PHY-TEDS</i>	22
2.1	Comparativa entre sistemas <i>event-triggered</i> y <i>time-triggered</i>	30
2.2	Trama de datos CAN	35
2.3	Longitud del bus CAN	35
3.1	Diferentes tasas de transmisión en IEEE 802.11a	49
3.2	Comparativa entre tecnologías inalámbricas	55
3.3	Clases de dispositivos Bluetooth	57
3.4	Aplicaciones de Bluetooth en diferentes fases de la vida de un vehículo	74
4.1	Resumen de aplicaciones para la programación AVR	82

Introducción y objetivos

Transductores inteligentes

Un transductor es un dispositivo que recibe energía de una determinada naturaleza (por ejemplo, mecánica) y la transforma en otro tipo de energía (por ejemplo, eléctrica). Un transductor funciona por tanto como un conversor de energía entre diferentes dominios físicos. Normalmente el transductor es colocado en la frontera de un sistema, bien para recibir estímulos del mundo exterior o bien para transmitirlos. En la práctica un transductor de entrada recibe el nombre de sensor, mientras que un transductor de salida recibe el nombre de actuador.

Sensores y actuadores son utilizados hoy en día en una amplia gama de aplicaciones: sistemas de fabricación, control de procesos, la industria automovilística y la aeronáutica son algunos ejemplos. El desarrollo de la microelectrónica ha generalizado el uso de microcontroladores como complementos de cualquier tipo de transductor, aportándole otras funcionalidades que van más allá de la simple conversión de energía. El microcontrolador puede ejecutar programas de corrección, calibración, diagnóstico e identificación del transductor, además de ofrecer la posibilidad de relacionarse con otros transductores o sistemas formando redes. Especialmente cuando todas estas características se integran en un mismo dispositivo, se suele hablar de transductores inteligentes

Actualmente los fabricantes compiten por desarrollar transductores cada vez con más capacidades, más baratos y auxiliados por mejores herramientas de software. Esta progresiva digitalización de los sistemas de medida y control facilita la instalación, el mantenimiento y la expansión del propio sistema.

No obstante, el mercado de los transductores inteligentes padece un grave problema. La proliferación de numerosos protocolos de redes -cada uno con sus ventajas e inconvenientes- dificulta la integración de productos de diferentes fabricantes, y propicia la adopción de soluciones propietarias, normalmente más caras y menos flexibles. La solución de este problema pasa por adoptar un interfaz universal para transductores inteligentes que permita la integración automática de cualquier transductor en cualquier tipo de red. En este sentido surge la familia de normas IEEE 1451.

In-Vehicle Networking y transductores inteligentes

Los vehículos inteligentes se han convertido en el centro de interés en el campo de investigación de automóviles, vehículos militares, transporte público, etc. Estos vehículos ofrecen potencial para mejorar significativamente la seguridad tanto para pasajeros como para conductores. Como uno de los componentes de los sistemas de transporte inteligentes, los vehículos inteligentes utilizan sensores y algoritmos de control para evaluar el entorno y asistir al conductor en una conducción más segura. Estos algoritmos incluyen aplicaciones tales como la asistencia al conductor para controlar el vehículo parcialmente a su conveniencia o sistemas de alerta ante posibles colisiones.

Mientras los vehículos se vuelven más inteligentes, el número de componentes electrónicos au-

menta rápidamente. Estos pueden incluir sensores de aceleración, temperatura, radares, y motores para diversas funciones. En sistemas convencionales donde una unidad de control electrónico (ECU) está directamente conectada a sus componentes, el número de cables crece exponencialmente. Esto causa problemas de mantenimiento y hace más difícil añadir nuevos componentes.

Para evitar estos problemas, los fabricantes de automóviles han desarrollado los denominados sistemas *in-vehicle networking* (IVN), donde los distintos componentes se conectan al ECU a través de un cable de red compartido, desarrollándose distintos protocolos como CAN (Controller Area Network), J1850 o LIN (Local Interconnect Network). Además, se han desarrollado otros protocolos para extender la aplicación de los sistemas IVN a aplicaciones de tiempo real, como time-triggered CAN (TTCAN) o FlexRay.

Como ya se ha comentado, gracias al abaratamiento de los microcontroladores y al desarrollo de la microelectrónica, se ha introducido el concepto de transductor inteligente, que permite reducir la carga computacional de la ECU. Estos módulos ejecutan diversas funciones y transmiten directamente los datos a la ECU. Sin embargo, esto trae consigo dos nuevos problemas:

- El módulo o transductor inteligente debe ser independiente del protocolo IVN. Debido a la existencia de los diversos protocolos comentados, los fabricantes de transductores deben desarrollar módulos inteligentes para soportarlos todos, lo cual no es fácil y ha retrasado su introducción.
- Si un módulo inteligente falla, el reemplazamiento debe ser barato. En general el coste del microcontrolador y del transceptor es relativamente alto comparado al del transductor, por lo que el coste de un transductor inteligente resulta más alto que el de un transductor convencional.

IEEE 1451 proporciona una solución para construir transductores independientes del sistema IVN. Al mismo tiempo, gracias a que sólo el sensor puede ser reemplazado si el módulo falla, los costes de reparación se reducen. Un caso especialmente interesante es su aplicación con una capa física inalámbrica, que simplifica aún más la conexión de dispositivos o el acceso a los ya existentes.

Objetivos

En este trabajo se abordará el problema del análisis de la familia de estándares IEEE 1451 y su implementación en un sistema Linux como NCAP y en un microcontrolador como TIM, utilizando un interfaz inalámbrico entre ellos. IEEE 1451 define un conjunto de interfaces de comunicación abiertos para conectar transductores a microprocesadores, sistemas de instrumentación y redes. A pesar de que existen cada vez más y mejores transductores, acompañados de mejores redes de campo, parece cada vez más difícil seleccionar las mejores opciones y construir un buen sistema distribuido que no se vea afectado por problemas de integración entre distintos productos.

Una vez analizados los estándares y estudiadas las diferentes opciones, se llevará a cabo su implementación. El objetivo de esta implementación es que sea lo suficientemente abierta y flexible para ser adaptada a diversos sensores, de aplicación en un automóvil o en cualquier otro entorno. Se eligió Bluetooth como capa física por la facilidad de acceso al hardware y por estar recogida en la familia de estándares 1451, sin requerir ningún tipo de revisión. Es por ello que una parte importante de este proyecto se dedica al estudio de esta tecnología y sus aplicaciones en vehículos.

Únicamente nos podremos basar en las normas publicadas por el IEEE y en determinados artículos ya publicados en los que se estudia la aplicación de este estándar a diferentes casos. Parte de la familia está siendo revisada, mientras que otra parte es relativamente reciente, así que no toda la documentación disponible resulta de utilidad.

Estructura de la documentación

El capítulo 1 presenta el modelo IEEE 1451: sus objetivos, su historia y una descripción de las normas aprobadas y en desarrollo. También se comentan varios proyectos que han hecho uso de este estándar.

Seguidamente, en el capítulo 2 se intenta dar una visión general de las tecnologías actualmente existentes en el campo de las redes en vehículos, su evolución y los objetivos que se plantean para el futuro.

En el capítulo 3 se hace una introducción de las posibles aplicaciones de las redes inalámbricas en vehículos, tanto en el caso de las comunicaciones entre vehículos como entre vehículos e infraestructuras. A continuación se hace un repaso de diversas tecnologías inalámbricas existentes, tratando con más detalle la tecnología Bluetooth y sus aplicaciones en el caso de sensores y vehículos.

Finalmente, en el capítulo 4, se comentan diversos aspectos de las implementaciones de TIM y NCAP realizadas. Se termina el proyecto extrayendo algunas conclusiones.

