

Interoperabilidad en Sistemas Domóticos Mediante Pasarela Infrarrojos-ZigBee

Gonzalo B. Asencio, J. M. Maestre*, Juan M. Escaño, C. Martín Macareno, M. A. Molina, E. F. Camacho

Departamento de Ingeniería y Automática, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla. Camino de los descubrimientos s/n, 41092, Sevilla, España.

Resumen

La domótica consiste en la aplicación de técnicas provenientes de la automática industrial al hogar con objeto de ofrecer servicios que aporten, entre otras cosas, confort, seguridad y eficiencia energética a los usuarios. Hasta el momento la penetración de dichas técnicas en los hogares ha sido reducida. Una de las razones fundamentales de esta lenta transposición de técnicas de control al hogar es la dificultad de integración entre los diferentes sistemas presentes en el hogar. En este artículo se presenta un desarrollo encaminado a mejorar la integración de los sistemas domóticos con aquellos dispositivos que sean controlables mediante infrarrojos. En concreto se ha desarrollado una pasarela inalámbrica que permite a una red domótica el envío de tramas de infrarrojos. De esta manera se posibilita un despliegue rápido y económico de los nodos que sean necesarios para integrar dispositivos tales como los sistemas de aire acondicionado en una red domótica. *Copyright © 2011 CEA. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.*

Palabras Clave: Control a través de redes de comunicación, impacto social de la automática.

1. Introducción

El paradigma de la inteligencia ambiental ofrece a los usuarios el sueño de un entorno inteligente que aprende y se adapta a las necesidades de sus ocupantes. Indudablemente este paradigma marca el horizonte a largo plazo hacia el que tiende la domótica y cuyo impacto en la sociedad es especialmente notable en el caso de personas mayores o dependientes ((Chan et al., 2009)). Para convertir este sueño en realidad existen todavía muchos obstáculos en la práctica que deben ser resueltos y que justifican la escasa penetración de la domótica en los hogares. Por ejemplo, en España solamente un 8.23 % de las viviendas construidas en 2007 disponían de algún tipo de instalación domótica ((Casadomo.com, 2008)). Entre los diferentes problemas a resolver destaca especialmente el de la ausencia de estandarización, es decir, no hay definido ningún mecanismo globalmente aceptado que proporcione interoperabilidad real entre diferentes sistemas. Dada la magnitud del problema se han propuesto diferentes estándares encaminados a proporcionar interoperabilidad entre sistemas heterogéneos ((Dixit and Prasad, 2008)). El primer estándar de interoperabilidad destacable fue

CORBA (Common Object Request Broker Architecture), desarrollado en 1991. CORBA utiliza una arquitectura distribuida orientada a objetos que permite integrar en una aplicación diferentes ordenadores con independencia de su hardware o sistema operativo ((Aleksy et al., 2005)). En 1998, Sun propuso otro estándar, Jini, con el objeto de proporcionar el soporte necesario para la definición, publicación y búsqueda de servicios dentro de una red ((Arnold, 1999)). Otra iniciativa similar es UPnP (Universal Plug and Play), desarrollada por Microsoft y el foro UPnP ((Jeronimo, 2008)). A nivel doméstico, UPnP ha sido muy exitosa en el campo de la interoperabilidad entre dispositivos multimedia. Por este motivo, otros estándares de interoperabilidad orientados a este tipo de aplicaciones como DLNA (Digital Living Networks Alliance) lo utilizan como base ((Kim et al., 2007)). Otro estándar destacable es OSGi (Open Services Gateway Initiative), que está centrado fundamentalmente en lograr la interoperabilidad a nivel doméstico. OSGi define una arquitectura propia, pero está pensado también para servir de pasarela entre diferentes protocolos como UPnP o Jini ((Zeadally and Kubher, 2008)). Finalmente, algunos autores ((Miori et al., 2006)) apoyan la utilización de servicios web como alternativa para lograr la interoperabilidad entre diferentes sistemas. Como puede comprobarse, el número de opciones disponibles es elevado, pero ninguna se ha consolidado como la solución definitiva a este problema. Desde el punto de vista de la automática se tiene aquí un auténtico factor limitante que imposibilita la aplicación técnicas de control avanzadas en el hogar.

*Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: gonzaloasencio@gmail.com (Gonzalo B. Asencio), pepemaestre@cartuja.us.es (J. M. Maestre), jmesca@cartuja.us.es (Juan M. Escaño), cris.martinmacareno@gmail.com (C. Martín Macareno), miancaba@gmail.com (M. A. Molina), eduardo@cartuja.us.es (E. F. Camacho)

El papel que puede desempeñar el control en la gestión eficiente de la energía en los hogares y edificios es innegable. En concreto, se estima que el ahorro potencial de energía que se puede conseguir en los edificios gracias a la domótica es de un 20 % ((Varo Navarro et al., 2008)). En este sentido son las aplicaciones de gestión de iluminación, ventilación y calefacción las más apropiadas para el uso de técnicas de control. No obstante, la automatización de estas aplicaciones no está exenta de dificultades. En particular, la ausencia de un estándar de interoperabilidad ampliamente aceptado exige que la elección de los equipos que serán instalados deba realizarse con cuidado para evitar incompatibilidades. Por ello, es frecuente que los fabricantes ofrezcan pasarelas para la interconexión con los sistemas domóticos cableados más utilizados como Konnex o Lonworks. Debido al incremento de costes causado por la inclusión de pasarelas en la instalación, es razonable que se instalen equipos con sistemas de control independientes o que se busquen mecanismos más económicos de integración como por ejemplo los infrarrojos. Por ejemplo, equipos como el GC-100 de la empresa Global Cache permiten la integración de televisores o sistemas de aire acondicionado estándar¹ dentro de una instalación domótica. Por desgracia, estos dispositivos tienen un precio lo suficientemente elevado como para descartar su presencia en la gran mayoría de hogares así como en muchas empresas. Más aún, por lo general se trata de dispositivos orientados para su utilización con sistemas domóticos cableados, lo que impone una serie de restricciones importantes con respecto a su utilización. Asimismo, las pocas pasarelas de infrarrojos capaces de funcionar inalámbricamente, como la gama de productos Pronto de Philips, utilizan WiFi como mecanismo de comunicación, lo que se traduce en la imposibilidad de que la pasarela pueda funcionar autónomamente sin un punto de corriente para su fuente de alimentación.

En este artículo se presenta un dispositivo cuyo fin es el de posibilitar la integración y la aplicación de técnicas más avanzadas de control para aquellos dispositivos controlables a través de un puerto de infrarrojos. Desde un punto de vista técnico, la característica más importante y novedosa del dispositivo es que funciona inalámbricamente utilizando Zigbee ((Zigbee, 2004)) como tecnología de transmisión. A diferencia de otros estándares de comunicación inalámbricos, Zigbee se caracteriza por el reducido consumo energético de sus transceptores, lo que ha permitido que el dispositivo desarrollado pueda ser alimentado exclusivamente por baterías. Además del servicio proporcionado como pasarela de infrarrojos, el dispositivo ofrece prestaciones adicionales. Por una parte, cuenta con sensores de humedad, luminosidad y temperatura que proporcionan información al sistema domótico. Por otra, también puede utilizarse como baliza de un sistema de localización basado en Zigbee tal y como se muestra en ((Lobillo, 2008)). Finalmente, con el objeto de simplificar la interconexión del prototipo desarrollado con sistemas domóticos se ha desarrollado una pasarela UPnP para el mismo. De este modo es resulta sencillo integrarlo con otros sistemas que cuentan con soporte para este estándar ((Maestre,

2009)).

El resto del artículo está estructurado de la siguiente forma: la sección II está dedicada a explicar los fundamentos del control a través de infrarrojos con objeto de explicar la forma empleada para almacenar las tramas infrarrojas. A continuación, en la sección III, se detallan los pormenores del desarrollo a nivel electrónico del prototipo realizado. La sección IV se dedica a explicar la aplicación para ordenador personal (PC) que fue desarrollada. Finalmente el artículo termina con una sección de líneas de trabajo futuro y otra de conclusiones.

2. Control a través de infrarrojos

En esta sección se explican los fundamentos del control de dispositivos mediante infrarrojos así como la manera en la que el dispositivo desarrollado se adapta a las codificaciones existentes. A pesar de su antigüedad esta tecnología es todavía la más empleada para el control de dispositivos de electrónica de consumo tales como televisiones o sistemas de aire acondicionado. Asimismo, la mayoría de sistemas domóticos presentes en el mercado también son gobernables por infrarrojos. Por tanto, un adecuado control de los infrarrojos abre la puerta no solo del control de multitud de dispositivos electrónicos, sino también de la integración real de diferentes sistemas domóticos.

Debido a la cantidad de fabricantes de dispositivos que son controlados por infrarrojos, existen multitud de codificaciones diferentes. En otras palabras, no existe una codificación estándar que permita controlar cualquier dispositivo de forma genérica. Por ejemplo, las modulaciones que se utilizan comercialmente suelen ser de tipo ASK (Amplitude Shift Keying)((Prasad, 2004)) y utilizan una señal portadora cuya frecuencia oscila entre 30 y 40kHz. Este es el caso, por ejemplo, de la modulación SIRC de SONY ((Bergmans, 2009)) o la RC-5 de Philips ((Philips, 1992)). Por otra parte, la codificación de bits es muy variable. Por ejemplo, algunos fabricantes utilizan Código Manchester, pero no se puede asumir nada en este sentido. Lo que sí es constante es que las señales se inician con una señal de START a nivel alto durante un determinado tiempo y del mismo modo terminan con una señal de STOP. No obstante, la duración de los pulsos es variable incluso dentro de un mismo código, donde es posible encontrar duraciones diferentes para ciertos bits de información. En lo que respecta a la información portada por la trama de infrarrojos también existen notables diferencias. En general, los comandos de infrarrojos tienen un campo de información del dispositivo y otro con la orden de control remoto. Se utilizan un número de bits que varía de un fabricante a otro y que determina tanto el número máximo de tipos de dispositivos que es capaz de cubrir como el número máximo de órdenes posibles. Por ejemplo, el código SIRC utiliza un bit de START seguido de 7 bits para datos y 5 para direcciones. Como puede comprobarse, existe una gran variedad de codificaciones diferentes. Por lo tanto, es preciso centrarse en las características comunes de los sistemas de codificación por infrarrojos para definir un marco de trabajo lo suficientemente amplio y versátil que dé cabida a la gran variedad de codificaciones existentes. Por ello, se va a proceder a la definición de una estructura de información que albergue los parámetros

¹ En este contexto, el adjetivo estándar se refiere a dispositivos que no están preparados para su conexión con un sistema domótico dado.

descriptivos de la señal. De esta manera podrá generarse cualquier modulación sin importar sus características particulares. Los parámetros que se necesitan para describir cualquier señal de forma genérica son:

- Etiqueta. Se utiliza solo a efectos identificativos, de forma que cada señal quede asociada a una etiqueta que describa su funcionalidad.
- Frecuencia de la señal portadora. Consiste en un número entero que expresa la frecuencia en Hz. Por ejemplo, el valor 55000 implica que la frecuencia de la portadora es 55 kHz.
- Lista en la que se indica alternadamente número de periodos que la portadora es modulada activa e inactivamente. Es decir, se trata de una lista en la que los elementos impares indican numeros de periodos que la portadora está activa y los pares número de periodos que la portadora está inactiva. De esta forma se puede representar cualquier patrón de codificación. Se define el retorno de carro CR como carácter que indica el final de la lista.

Esta estructura se codifica en una cadena de caracteres que es enviada entre los diferentes nodos inalámbricos de la red cada vez que se quiere enviar una acción de control a través de infrarrojos. Por ejemplo, en la cadena:

55000, 22, 340, 24, 156, 23, 92, 23, 157, 23...CR

Esta cadena se corresponde con una portadora a 55 kHz que comienza con 22 periodos activa (ON). A ellos sigue 340 periodos inactiva (OFF), a los que suceden 24 periodos en ON y así sucesivamente hasta llegar al carácter de retorno de carro que indica el final de la transmisión.

Como es natural, el sistema en su conjunto dispone de nodos que se encargan de la recepción de señales y de otros que se encargan de la transmisión. Los receptores realizan un filtrado para discriminar la información transmitida del ruido ambiente para después pasar por etapas de amplificado y demodulación. Tras esta última etapa es posible almacenar las señales en la estructura presentada anteriormente. En la figura 1 se ve un gráfico que describe esquemáticamente como queda el conjunto de emisores y receptores.

3. Diseño del prototipo

El desarrollo del dispositivo ha partido de un kit de desarrollo ZigBee JN5139 de la empresa Jennic. A grandes rasgos este kit se compone de tarjetas equipadas con un microcontrolador y un transceptor Zigbee. Gracias a Zigbee las tarjetas se autoconfiguran para trabajar en red de forma transparente al programador, por lo que éste se puede centrar en el desarrollo de la capa de aplicación. Cabe comentar, no obstante, que esto es así en los casos en los que la electrónica de las tarjetas de desarrollo es suficiente para los propósitos del desarrollo. Lamentablemente este no ha sido el caso, por lo que además de haber afrontado el trabajo de programación de las tarjetas de Jennic ha sido preciso diseñar una tarjeta electrónica externa. En esta sección se presenta en primer lugar la placa desarrollada y a continuación

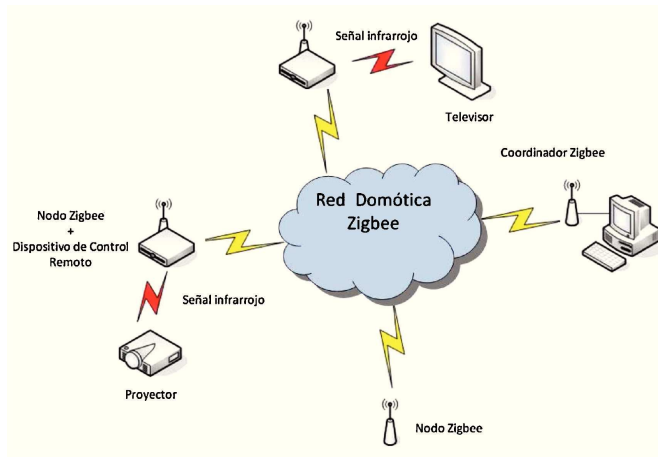


Figura 1: Descripción General del Sistema.

se examina como ha sido la programación desde el punto de vista del protocolo Zigbee.

3.1. Placa electrónica

Se presenta en esta sección la placa electrónica desarrollada. Dicha placa puede ser conectada con las tarjetas del kit de desarrollo Zigbee a través de su puerto de entrada y salida. La finalidad de la placa no es otra que la de adaptación y la generación de la señal de infrarrojos. El diseño del módulo de transmisión de infrarrojos se realizó siguiendo las siguientes consignas:

- Bajo consumo. La placa se alimenta a partir de la propia tarjeta Zigbee, de modo que el consumo ha de ser reducido para maximizar la duración de las baterías. Por tanto, el dispositivo puede alimentarse mediante baterías de 3V.
- Tamaño reducido. La alimentación común con la tarjeta Zigbee libera mucho espacio.
- Comunicación a través de un protocolo serie. Esta característica facilita la utilización de la placa con tarjetas Zigbee de otros fabricantes.

En la figura 2 se puede contemplar una fotografía del prototipo. A la izquierda de la fotografía puede verse la tarjeta electrónica con el desarrollo realizado. La parte de la derecha se corresponde con una de las tarjetas que vienen incluidas dentro del kit de desarrollo de Jennic.

Se presenta en la figura 3 un diagrama de bloques del dispositivo transmisor de infrarrojos. Se puede observar que la placa dispone de dos tipos de entradas seleccionables mediante un interruptor. La primera permite la conexión directa con cualquier dispositivo que utilice una conexión serie basada en el estándar RS-232. Esta entrada fue introducida para simplificar la etapa de verificación del dispositivo. La segunda entrada permite una conexión serie con el dispositivo Jennic mediante un conector del mismo tipo que el puerto de expansión de las mismas.

El bloque de mayor importancia en el diagrama es el microcontrolador. Éste ha sido programado utilizando el entorno de



Figura 2: Prototipo desarrollado.

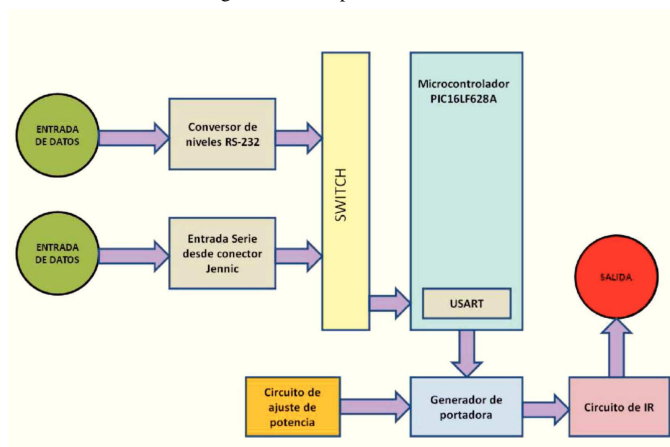


Figura 3: Diagrama de bloques del emisor de infrarrojos.

desarrollo MPLAB de Microchip. Su funcionalidad básica es la de recibir la cadena de caracteres por su puerto serie y transformarla en impulsos eléctricos que sirvan de entrada al bloque de generación de portadora.

El bloque de generación de portadora consiste en un circuito que integrado genera una señal cuadrada de frecuencia y duty-cycle fijados mediante el ajuste de dos resistencias. El valor de estas resistencias puede ser modificado de dos formas diferentes: una manual y otra automática. El ajuste manual consiste en dos potenciómetros configurados como resistencias variables y que nos permitirán ajustar la frecuencia en placa. El segundo método permite un ajuste automático de la resistencia de dos potenciómetros digitales con una conexión SPI, permitiendo así escribir desde el propio microcontrolador el valor de resistencia adecuado. La salida del microcontrolador activará y desactivará la señal de RESET del circuito integrado, generando de esta manera una portadora durante el tiempo de duración del pulso dado a la entrada.

El siguiente bloque de la figura 3 se corresponde con el circuito de emisión de infrarrojos. La entrada de este bloque se corresponde con la salida del bloque de generación de portadora. La misión de esta señal es la de alimentar con la corriente adecuada el diodo de emisión de infrarrojos durante los perio-

dos de actividad y cortar la corriente durante los periodos de inactividad. El diseño de este bloque se hizo de forma que se pudiera garantizar unos alcances medios del haz de infrarrojos emitido a cambio de un consumo de potencia moderado.

Es conveniente tener una estimación sobre el alcance de un sistema de infrarrojos. No obstante, existen factores fuera de nuestro control cuya influencia es importante en la distancia. El receptor, por ejemplo, depende del aparato que se pretenda gobernar. Los cálculos que se muestran a continuación están hechos asumiendo un modelo relativamente frecuente de receptor, como el modelo TSOP38238 de Vishay. El emisor sí está totalmente controlado a través de las hoja de características del elemento empleado, el modelo TSUS5400 de Vishay. Tomando como dato la intensidad fijada para el diodo se pueden obtener los siguientes datos de las gráficas suministradas en el datasheet:

1. Potencia Transmitida: $P_t = 35 \text{ (mW)}$
2. Intensidad de Radiación: $U_{max}(\theta, \varphi) = 35 \text{ (mW/sr)}$
3. Irradiancia del receptor: $< P >_{min} = 0,15/0,9/4 \text{ (mW/m}^2\text{)}$

La irradiancia del receptor se ha extraído a partir de los datos del datasheet del modelo genérico asumido. Se han obtenido tres valores posibles correspondientes a diferentes condiciones de iluminación. A partir de estos datos se requieren diferentes umbrales mínimos de irradiancia para que el receptor sea capaz de obtener la señal correctamente. Esto condiciona la longitud del enlace, como es razonable. Finalmente, fijados estos parámetros se puede hacer una estimación de la distancia máxima a través de la fórmula de Friis. En la siguiente tabla se muestran los valores correspondientes de irradiancia y distancia máxima para diferentes condiciones de iluminación:

Tabla 1. Irradiancia y rango en función de condiciones de

	Ideal	Estándar	Alta
Irr. amb. (mW/m^2)	0	10	100
Irr. mín. (mW/m^2)	0.9	0.9	4
Rango (m)	15.28	6.24	2.96

Durante la etapa de validación del diseño se hicieron pruebas en condiciones de alta iluminación. Se obtuvo un resultado muy cercano al de la tabla. En concreto, nuestros experimentos arrojaron distancias máximas en estas condiciones de entre 2.5 m y 3 m.

3.2. Programa de red

La placa electrónica es, a efectos prácticos, un periférico que se conecta a las tarjetas del kit de desarrollo de Jennic. Por tanto, es preciso programar las tarjetas para que el sistema en su conjunto funcione. Pueden distinguirse dos tipos de tarjeta en la red. El primer tipo es la tarjeta coordinadora, que asume la responsabilidad de formar la red y que se utilizará conectada a un PC. Esto implica que esta tarjeta hace las veces de pasarela o gateway desde el PC hacia la red Zigbee. El segundo tipo de tarjeta es el que se define como nodo terminal, que serán los que tendrán acoplados el hardware de control remoto. En la figura 4 se muestra la relación entre todos los elementos mencionados: PC, tarjeta coordinadora y tarjetas terminales.

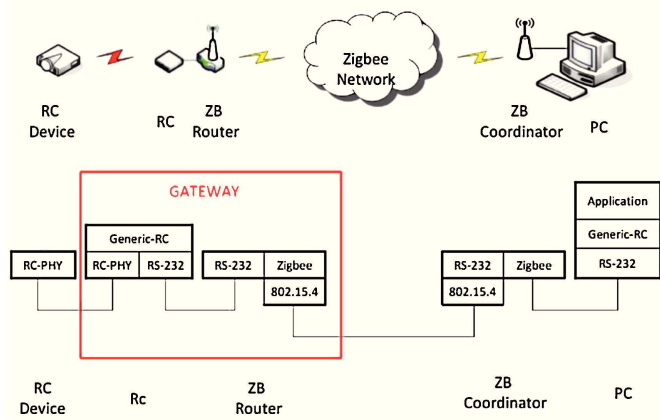


Figura 4: Torre de protocolos simplificada.

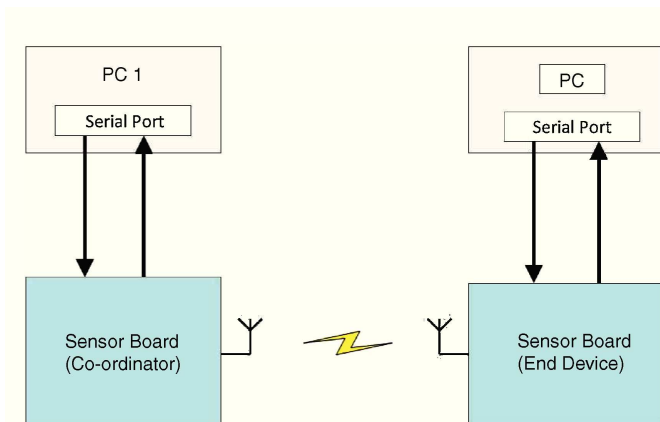


Figura 5: Conexión de UART virtual.

La programación de las tarjetas de Jennic ha sido llevada a cabo en C mediante el software incorporado en el propio kit de desarrollo. A grandes rasgos, la aplicación establece una conexión en la dirección coordinador-terminal, haciendo que la red Zigbee se comporte como una UART virtual entre el PC y el nodo terminal. De esta forma, toda la información enviada por medio de la UART hacia el coordinador es transmitida hacia el dispositivo final y reproducida de forma idéntica a través de la comunicación serie entre el dispositivo final y el generador de infrarrojos. En la figura 5 se muestra una representación esquemática del conjunto.

4. Aplicación del PC

En la sección anterior se ha detallado el desarrollo desde un punto de vista de dispositivo. En esta sección se explicará la aplicación que se ha desarrollado para el PC. Esta aplicación, programada en Visual C#, permite por una parte memorizar tramas infrarrojas a través de un dispositivo comercial y por otra se sirve de todo lo anterior para proporcionar el servicio de envío de infrarrojos tanto a los usuarios como a una red domótica.

4.1. Memorización de tramas

El paso previo al envío de tramas infrarrojas a través del prototipo es de la recepción y almacenamiento de las mismas. Existen diferentes dispositivos que permiten a una computadora la recepción de datos infrarrojos. Por este motivo no se ha dotado al prototipo de esta funcionalidad. Asimismo se trata de una tarea que se realiza una sola vez y *fuera de línea*. Por este motivo la adquisición de señales de infrarrojos se ha realizado a través de dispositivo comercial de la empresa Global Caché llamado Infrared Learner. Se ha desarrollado una aplicación que se conecta con este dispositivo mediante sockets y que memoriza las tramas recibidas por dicho terminal. La aplicación genera un fichero XML en el que se almacenan los comandos infrarrojos con la misma estructura que se presentó en la sección II.

4.2. Servicio al usuario

El servicio a los usuarios se proporciona mediante la interfaz que se detalla a continuación y que puede observarse en las figuras 6 y 7. El programa de la aplicación dispone de dos áreas principales, cada una de las cuales se encuentra en una pestaña diferente.

La primera pestaña denominada configuración dispone de los elementos destinados a configurar la comunicación entre el PC y la placa coordinadora que nos permitirá enviar las tramas almacenadas en nuestros archivos de descripción de dispositivos. La tarjeta coordinadora se registra en el PC como un dispositivo de puerto de serie, por lo que los valores configurables se corresponden con las características de una comunicación serie genérica (puerto de comunicación, tasa en baudios...). En la figura 6 se muestra una captura de pantalla de esta pestaña.

La segunda pestaña es la de transmisión. Su misión es la de proporcionar una interfaz sencilla para el envío de órdenes concretas hasta el prototipo. De esta forma es posible gobernar cualquier dispositivo con una interfaz de control de infrarrojos. En la figura 7 se muestra una captura de pantalla de esta pantalla. Obsérvese que también se ha añadido en la aplicación la posibilidad de enviar tramas de datos de prueba, aunque el objeto fundamental de esta pestaña es el envío de las tramas de infrarrojos guardadas en archivos XML. Al cargar uno de estos archivos se muestra una lista con todas las instrucciones disponibles. Una vez cargado el archivo, es posible seleccionar una instrucción de la lista y enviarla a través del puerto serie del PC.

4.3. Servicio a una red domótica

Los servicios a una red domótica genérica se ofrecen a través del estándar UPnP. UPnP es una arquitectura para la interconexión de todo tipo de dispositivos heterogéneos. Trata de expandir el concepto plug & play a dispositivos interconectados en entornos de red ((Jeronimo, 2008)). Para ello se apoya en una arquitectura abierta y distribuida basada en la pila de protocolos TCP/IP (véase la figura 11), que facilita el control y la transferencia de datos entre dispositivos conectados en la red del hogar. La principal característica de la arquitectura UPnP es que no requiere configuración alguna por parte del usuario de modo que se detecta automáticamente cualquier dispositivo que sea conectado, obteniendo éste su dirección IP, un nombre lógico

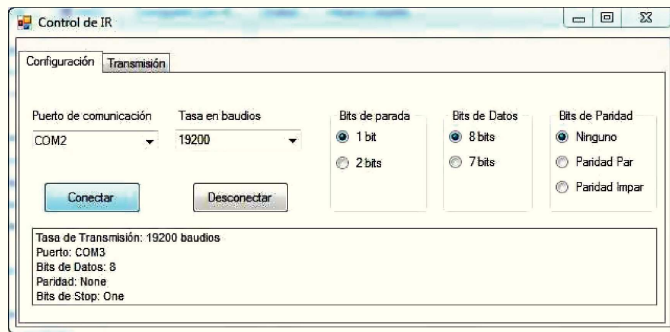


Figura 6: Panel de configuración de la aplicación.

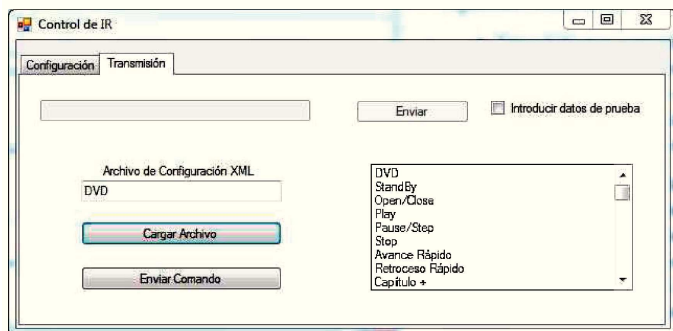


Figura 7: Panel de configuración de la transmisión.

e informando a los demás de su existencia y sus capacidades. A grandes rasgos, cada dispositivo UPnP proporciona a la red un archivo XML en el momento de su conexión. Dicho archivo describe sus principales atributos y proporciona una lista con los servicios que es capaz de ofrecer al resto de elementos de la red. A partir de ese momento, aquellos dispositivos UPnP de la red que dispongan de funcionalidad de punto de control serán capaces de invocar remotamente los servicios ofrecidos por el dispositivo recién conectado.

La funcionalidad UPnP ha sido implementada encapsulando la aplicación de PC dentro de un dispositivo virtual UPnP construido con el kit de desarrollo de Intel para UPnP (Intel, 2000)). En otras palabras, cuando la aplicación está en marcha, se presenta a sí misma como un dispositivo UPnP que ofrece servicios de envío de tramas infrarrojas. Para ello, los dispositivos que deseen invocar este servicio deberán indicar en su solicitud la cadena de caracteres que se corresponde con el identificador de la trama infrarroja que se desea enviar.

5. Resultados experimentales

A continuación, se presentan los resultados de varios experimentos, que muestran las posibilidades de aplicación práctica de este prototipo en el ámbito domótico.

5.1. Control de temperatura

El objetivo de este experimento fue el de utilizar el prototipo desarrollado para controlar la temperatura de una habita-

ción. Para ello, se dispuso de una instalación compuesta por los siguientes elementos:

- Un calefactor controlable por infrarrojos y que puede verse en la figura 8. Como puede comprobarse, se trata de un equipo muy sencillo que carece de cualquier sistema de control interno. Por tanto, es el usuario el que enciende o apaga el dispositivo mediante su mando a distancia.
- El prototipo desarrollado, que fue utilizado tanto para obtener medidas de temperatura a través del sensor de temperatura que incorpora su tarjeta Zigbee como para emitir las órdenes infrarrojas necesarias al calefactor. Es importante destacar que la precisión del sensor de la tarjeta es de 1 grado centígrado.
- Un PC que actuó como unidad de control del sistema. En particular, en el PC se instaló un SCADA de software libre, Proview, que procesaba las medidas enviadas por la tarjeta Zigbee y calculaba las acciones de control correspondientes. La conexión entre el PC y el prototipo desarrollado se realizó a través de una tarjeta Zigbee adicional conectada al PC a través de USB que hizo las veces de módem.

Fueron implementadas dos estrategias de control diferentes para realizar un seguimiento de una referencia de temperatura constante.

En primer lugar, se controló la temperatura mediante una sencilla estrategia de control todo/nada. Para ello se definieron dos umbrales de temperatura de forma que si se alcanzaba el umbral máximo se apagaba el calefactor y si se alcanzaba el mínimo se encendía. El resultado de este experimento puede verse en la figura 9.

En segundo lugar, se usó una estrategia de control más sofisticada, un PI con PWM (Pulse Width Modulation o modulación por ancho de pulsos). Esta modulación fue empleada dado que se utilizó el calefactor encendido siempre con la misma potencia. Por ello, la acción de control debía traducirse en variaciones de la amplitud de los pulsos de encendido. El resultado de este experimento puede verse en la figura 10.

5.2. Validación de la integración en una red UPnP

Con objeto de validar la correcta integración del dispositivo en una red UPnP, se utilizó el punto de control UPnP incluido en las herramientas de Intel, cuyo nombre es *Device Spy*. Este programa permite invocar las acciones de los dispositivos UPnP existentes dentro de la red. Las pruebas realizadas fueron exitosas y se pudo comprobar cómo el dispositivo desarrollado enviaba tramas infrarrojas a partir de las órdenes recibidas desde la red UPnP. Asimismo, se comprobó también la correcta integración del dispositivo en una red con el sistema domótico IPDomo((IPDomo, 2007)) con idénticos resultados.

6. Conclusiones

Se ha desarrollado un dispositivo que actúa como pasarela ZigBee para el control remoto de equipos electrónicos gobernables mediante infrarrojos. La conexión las tarjetas ZigBee y



Figura 8: Calefactor utilizado en el experimento.

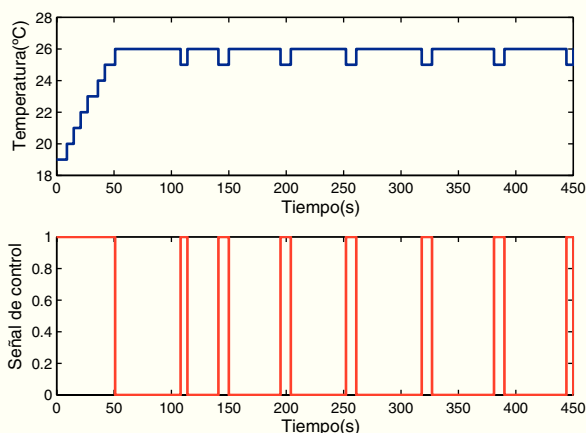


Figura 9: Temperatura controlada mediante algoritmo on-off.

la placa desarrollada utiliza un protocolo serie, de forma que su utilización con material de otros fabricantes sería sencilla. En particular, la adaptación del dispositivo a sistemas domóticos que utilizan este mismo estándar debe ser inmediata. Sistemas como Osiris Zigbee en España o Control4, con una buena penetración en EE. UU., podrían adaptar el dispositivo a sus sistemas de facilidad. Además, es destacable que todo el procesamiento de la trama infrarroja se realiza en la propia placa. De esta forma se descarga a la red de tareas ajenas al propio transporte de la información, lo que aporta una mayor independencia al dispositivo. El prototipo ha demostrado ser muy versátil en las pruebas desarrolladas, gracias en buena parte a la estructura genérica utilizada para la codificación de tramas infrarrojas.

El principal beneficiario potencial de este prototipo es el mercado domótico, que continua con su lenta penetración en los hogares. Posiblemente uno de los factores que justifican el lento avance de este sector sea la ausencia de interoperabilidad real entre dispositivos heterogéneos, que es justo el problema

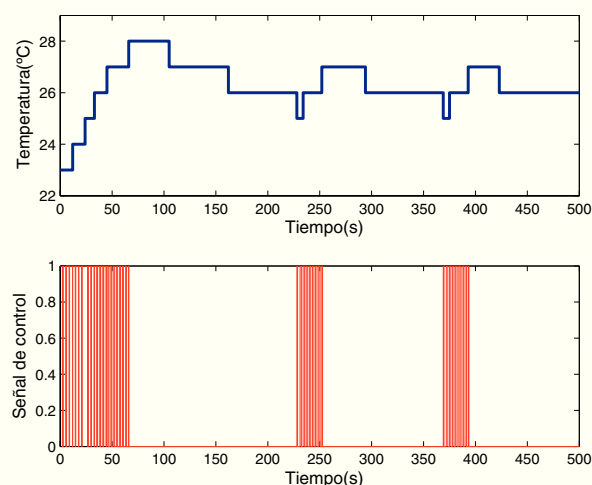


Figura 10: Temperatura controlada mediante PID con PWM.

que se pretende resolver con el dispositivo desarrollado.

Finalmente, es preciso destacar la interoperabilidad implementada mediante UPnP, que permite la utilización directa del dispositivo en sistemas como IPDomo, que utiliza UPnP de forma nativa, y que abre la puerta a su integración con otros estándares de interoperabilidad compatibles como OSGi.

English Summary

Domotics systems interoperability using an Infrared-ZigB gateway.

Abstract

Home Automation is based on the application of industrial automation techniques to the home with the goal of providing services in areas such as comfort, security or energy efficiency. The impact of these techniques has been small by now. One of the main reasons is because of the difficult to integrate different systems for the smart home. In this paper we present a device that improves the interoperability level between smart home control systems and electronic equipment that can be controlled via infrared signals. In particular, a wireless bridge that allows to send infrared commands has been developed. This device simplifies and reduces the costs of the integration of equipments such as air conditioning systems into the smart home control systems.

Keywords:

control through communication networks, automation social impact

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo de los ministerios de Industria, Turismo y Comercio (proyecto MITC-09-TSI-020100-2009-359) y de Educación (proyecto DPI2008-05818) y de la Junta de Andalucía (proyecto TEP02720).

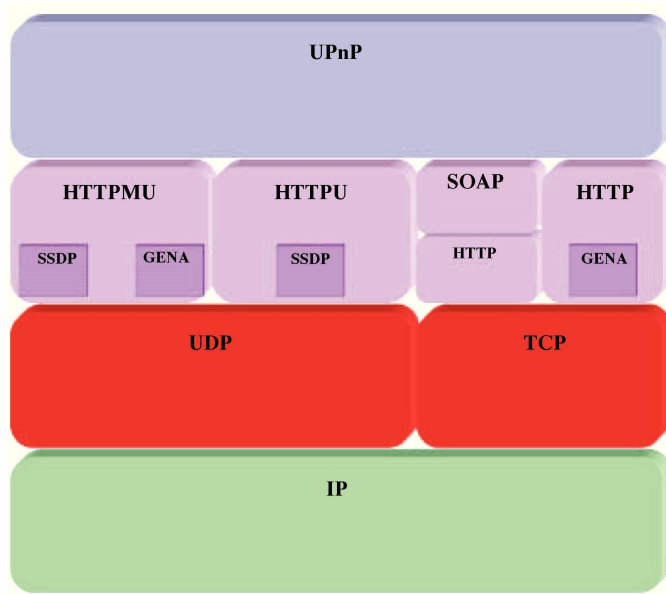


Figura 11: Torre de protocolos UPnP.

Referencias

- Aleksy, M., Korthaus, A., Schader, M., 2005. Implementing Distributed Systems with Java and CORBA. Springer, Berlin.
- Arnold, K., 1999. The jini architecture: dynamic services in a flexible network. In: Design Automation Conference, 1999. Proceedings. 36th.
- Bergmans, S., September 2009. Knowledge base: Sony sirc protocol. URL: <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/sirc.htm>
- Casadomo.com, 2008. Estudio mint-casadomo 2008: Sistemas de domótica y seguridad en viviendas de nueva promoción. Tech. rep.
- Chan, M., Campo, E., Esteve, D., Fourniols, J. Y., 2009. Smart homes: current features and future perspectives. Elsevier Maturitas 64 (2), 90–97.
- Dixit, S., Prasad, R., 2008. Technologies for Home Networking. John Wiley & Sons, Inc.
- Intel, 2000. Intel software for upnp technology. Disponible: <http://software.intel.com/en-us/articles/intel-software-for-upnp-technology-download-tools/>. URL: <http://software.intel.com/>
- IPDomo, 2007. Disponible: <http://www.ipdomo.com>. URL: <http://www.ipdomo.com>
- Jeronimo, M., 2008. It just works: Upnp in the digital home. The Journal of Spontaneous Networking. Available: http://www.artima.com/spontaneous/upnp_digihome.html. URL: http://www.artima.com/spontaneous/upnp_digihome.html
- Kim, J. T., Oh, Y. J., Lee, H. K., Paik, E. H., Park, K. R., 2007. Implementation of the dlna proxy system for sharing home media contents. IEEE Transactions on Consumer Electronics 53 (1), 139–144.
- Lobillo, R. e. a., 2008. Sistema de localización mediante tecnología zigbee: Aplicaciones a domótica. In: Actas de las XXIX Jornadas de Automática.
- Maestre, J. M. y Camacho, E. F., 2009. Smart home interoperability: the domesi project approach. International Journal of Smart Home 3, 31–44.
- Miori, V., Tarrini, L., Manca, M., Tolomei, G., 2006. An open standard solution for domotic interoperability. IEEE Transactions on Consumer Electronics 52 (1), 97–103.
- Philips, 1992. Remote control system rc-5 including command tables. Tech. Rep. 9388 706 23011, Philips Semiconductors.
- Prasad, K. V., 2004. Principles of Digital Communication Systems and Computer Networks. Charles River Media.
- Varo Navarro, R., Arroyo Gabiña, M. A., Sanz González, M. D., 2008. Hogar digital. Presente y Futuro del Hogar Digital. Una Visión desde Andalucía. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación de Andalucía.
- Zeadally, S., Kubher, P., 2008. Internet acces to heterogeneous home area network devices with an osgi-based residential gateway. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing 2008 - Vol. 3, No.1 pp. 48 - 56 3, 48–56.
- Zigbee, A., 2004. Especificación del protocolo 1.0. Disponible en: <http://www.zigbee.org/>. URL: Disponible en: <http://www.zigbee.org/>