

Transmisión de datos por medio de sistemas VLC

Crisanto Quintana Sánchez

En los últimos tiempos las autoridades están propulsando la sustitución de las lámparas de iluminación convencionales (bombillas, fluorescentes, etc.) por las de LED's, básicamente por razones de consumo y durabilidad. Con ello ha aparecido la posibilidad de usar dichas lámparas no solo como sistemas de iluminación, sino también como dispositivos de transmisión de datos. En este trabajo se explora el uso de las técnicas de espectro ensanchado para implementar el canal de subida. Este sistema íntegramente basado en comunicaciones ópticas no guiadas, es muy interesante para transmitir datos en escenarios con severas restricciones EM tales como hospitales, zonas industriales y entornos aeronáuticos.

In recent years, the authorities have promoted the use of LED lamps instead of the conventional ones (bulbs, fluorescents, etc.), because of they have a low power consumption and a long durability. This fact offers the possibility to use them not only as illumination devices, but also as data transmissions ones. In this work, the use of spread spectrum techniques have been explored to implement the uplink. This fully wireless optical system is a so interesting solution in scenarios with high EM emission restrictions, such us hospitals, industrial zones and aeronautical environments.

Introducción

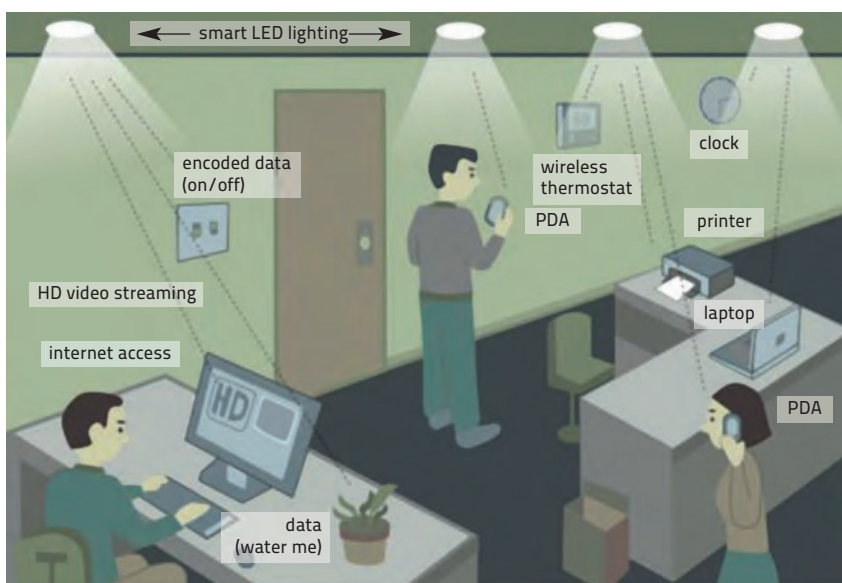
En los últimos años, los sistemas de comunicación de datos no guiados representan un sector de rápido crecimiento e importancia en el campo de la industria de las comunicaciones. Inicialmente estos sistemas se orientaban únicamente a aplicaciones de telefonía vocal, sin embargo, a partir de 1990 comenzó a tener importancia en el campo de las redes locales no guiadas (WLAN). Dentro de estas últimas se pueden diferenciar 2 tecnologías principales: los basados en enlaces vía radiofrecuencia, más conocidos como WIFI, y los enlaces vía infrarrojo o redes de área local no guiadas por IR (IR-WLAN, *Infrared Wireless Local Area Network*).

La idea de transmitir datos por medio de la luz no es nueva, sin embargo, fue a partir de 1979 cuando empezaron a aparecer las primeras investigaciones [1] en el campo de las comunicaciones ópticas no guiadas en interiores, en busca de reducir tamaño, peso y consumo de los dispositivos móviles. Por su parte, el grupo de Tecnología Fotónica y comunicaciones comenzó su labor en este campo en 1990, realizando trabajos de investigación sobre la respuesta del canal y diferentes técnicas de codificación, tanto de banda estrecha, como de espectro ensanchado [2].

Las comunicaciones ópticas no guiadas, tanto en infrarrojo como por luz visible, poseen unas ventajas que les aportan un factor dife-

renciador frente a los sistemas basados en radiofrecuencia. La primera de ellas es el coste, ya que tanto los emisores como los receptores están disponibles en el mercado a precio muy reducido. Por otro lado, como la luz se encuentra en una región espectral muy alta, no se generan ningún tipo de incompatibilidad electromagnética con los sistemas de RF convencionales. Este hecho, permite no solo que se posea un ancho de banda infinito, sino además la posibilidad de su uso sin regirse a ningún tipo de regulación impuesta por las administraciones públicas. Por último, como la luz no puede atravesar objetos y queda confinada en la habitación, se introduce en el sistema una seguridad añadida ante

Figura 1. Arquitectura del sistema propuesto para interiores



el acceso de otros usuarios no autorizados.

En los últimos años, las administraciones públicas están haciendo especial hincapié en intentar sustituir las lámparas incandescentes por las de LEDs, ya que no sólo poseen una mejor eficiencia eléctrica y durabilidad, sino que además son más resistentes a diferentes condiciones atmosféricas e introducen la posibilidad de crear distintos ambientes con diferentes colores o intensidades. Esto ha dado lugar a un nuevo concepto en el campo de las comunicaciones ópticas conocido como VLC (Visible Light Communications) [3]. Estos sistemas se caracterizan por utilizar los LEDs blancos para transmitir datos digitales, además de para iluminar el entorno. Destacar que como estos emisores ya poseen circuitos de conmutación

para el control de brillo, la inclusión de señales moduladoras requiere un coste y una complejidad tecnológica adicional muy baja.

Esta tecnología se ha hecho patente en campos como los paneles y semáforos urbanos o las luces de señalización, y se están introduciendo en la iluminación doméstica, de zonas comerciales, hoteles etc. En todos estos casos, los canales de datos pueden ser de alta velocidad (por ejemplo para distribución de vídeo a televisores o como retorno de una cámara de seguridad) o múltiples canales simultáneos de baja velocidad (por ejemplo para conectar sensores domóticos en viviendas u hoteles, o para redes de sensores en general).

Componentes de un sistema VLC

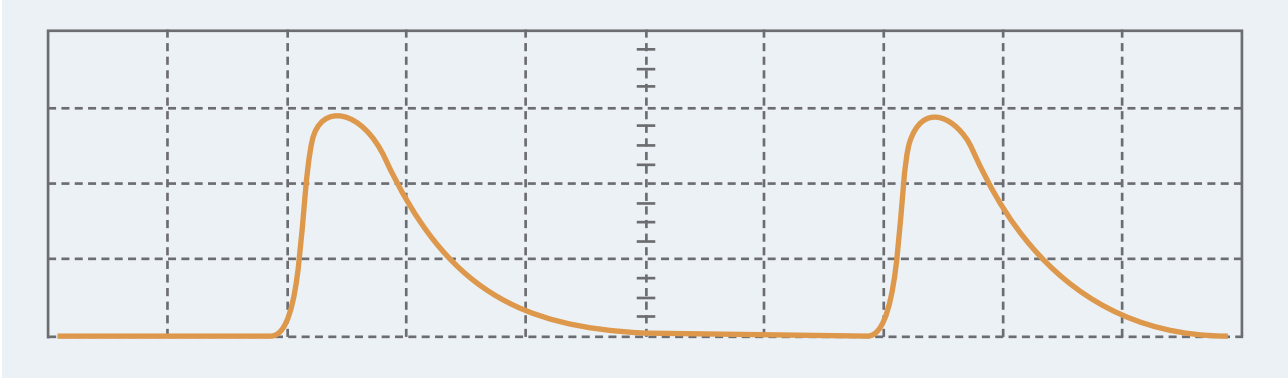
En un sistema VLC se pueden diferenciar claramente cuatro componentes.

El emisor

Básicamente, está formado por un conjunto de LEDs que emiten luz blanca, aunque existen aplicaciones en las que no tiene por qué ser así. Para emitir esta luz blanca existen dos posibilidades: o utilizar un LED azul que excita a un recubrimiento de fosforo (YB-LED), o la utilización de LEDs RGB, que consisten en la combinación de LEDs rojo, verde y azul en un mismo dispositivo. Los primeros se caracterizan por ser más comunes y de menor costo, ya que tanto en su fabricación, como la circuitería electrónica asociada es mucho más sencilla. Sin embargo, poseen un espectro de emisión fijo y tienen una seria limitación en cuanto a velocidad de conmutación se refiere, debido al tiempo de caída que genera la excitación del fósforo, de forma que, como máximo se pueden alcanzar velocidades de transmisión de 4 ó 5 Mbps. En la siguiente figura se muestra la respuesta temporal de los mismos, donde se puede apreciar este efecto.

Para intentar corregir este efecto se han realizado numerosos trabajos [4], en los que se llegan a lograr hasta 80Mbps utilizando en el receptor un filtro óptico centrado en la longitud de onda del azul y una

Figura 2. Respuesta temporal de la señal óptica emitida para una lámpara Luxeon-Star [LUXEON] YB-LED



pre-ecualización en el driver del transmisor.

Por su parte, los LEDs RGB, si bien son algo más caros, no tienen el problema del fósforo y además, como poseen 3 LEDs independientes, se triplica la tasa máxima de datos alcanzable excitando con 3 señales diferentes cada uno de los dispositivos. Además, poseen la capacidad de generar diferentes tonalidades y luces de ambiente únicamente modificando la corriente que circula por cada uno de ellos. La figura 2 muestra uno de estos dispositivos así como su respuesta espectral:

Infraestructura

Los datos a transmitir deben llegar de alguna manera a los drivers de las lámparas colocadas en el techo. Para ello existen multitud de posibilidades tales como la fibra óptica, el cable Ethernet, o la WIFI. Sin embargo, es la tecnología PLC (Power Line Communication) la que ofrece mayores ventajas, ya que es un sistema que no necesita de ninguna instalación de cables adicional para comenzar a funcionar. Esto es debido a que se caracteriza por utilizar la instalación eléctrica para transmitir datos codificados en OFDM (Orthogonal Frequency Division Multi-

plexing) llegando a alcanzar tasas de transmisión cercanas a los 100 Mbps.

El receptor

Como es típico en cualquier sistema de comunicaciones ópticas, la conversión luz-eléctrica se realiza por medio de un fotodiodo. Existen dos tipos de dispositivos ampliamente expandidos en el mercado: los fotodiodos PIN y los APD. El primero de ellos se basa en una unión PN en la que si llega un fotón con suficiente energía, se generará un hueco que, con una correcta polarización, provocará una corriente.

Figura 3. LED RGB RLTB G6SG (a) y su respuesta espectral (b)

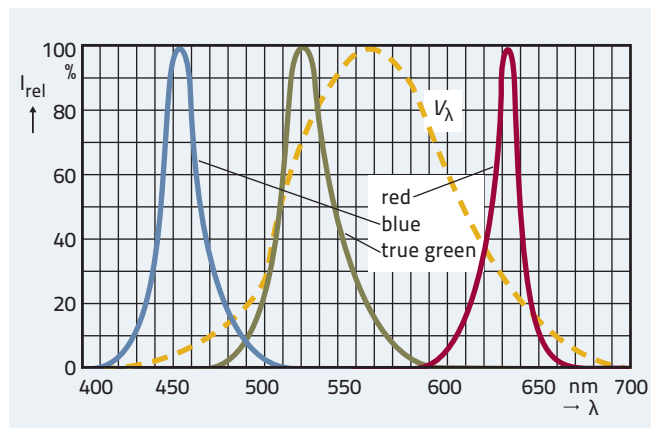
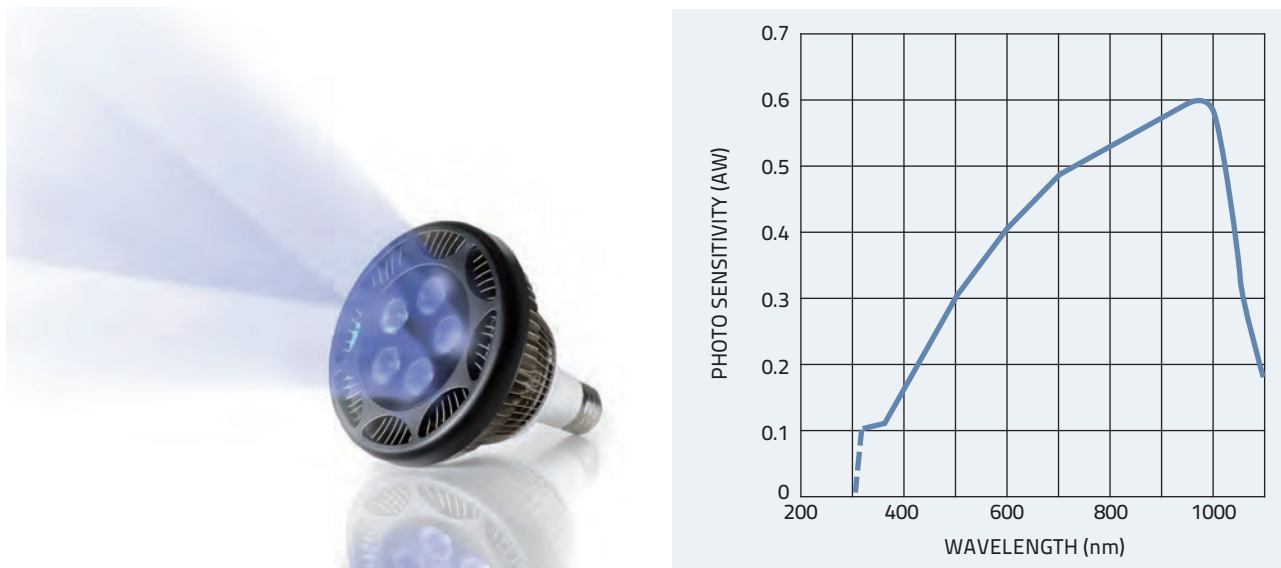


Figura 4. Fotodiodo S1123 (a) y su respuesta espectral (b)



Por su parte, el APD genera una corriente que es multiplicada debido a un efecto de ionización de impacto. Si bien esto es una gran ventaja debido a que se puede lograr mayores distancias, estos dispositivos son bastante más caros y necesitan una circuitería asociada muy compleja para lograr un correcto funcionamiento.

Normalmente, los fotodiodos comerciales están diseñados para una determinada longitud de onda, sin embargo, como su respuesta espectral es bastante ancha, pueden ser utilizados para recibir todo el espectro de luz visible obteniendo buenos resultados. En la siguiente figura se muestra uno de estos dispositivos, en concreto el S1123 de Hamamatsu, así como su respuesta espectral.

El canal

El canal óptico no guiado se caracteriza entre otras propiedades por

la presencia, de manera prácticamente ineludible, de señales interferentes producidas por las fuentes de iluminación artificial. Este tipo de interferencias dificultan el desarrollo de los sistemas de comunicaciones ópticas no guiadas, que deben incluir circuitos específicos en los receptores para reducir el efecto de dichas interferencias.

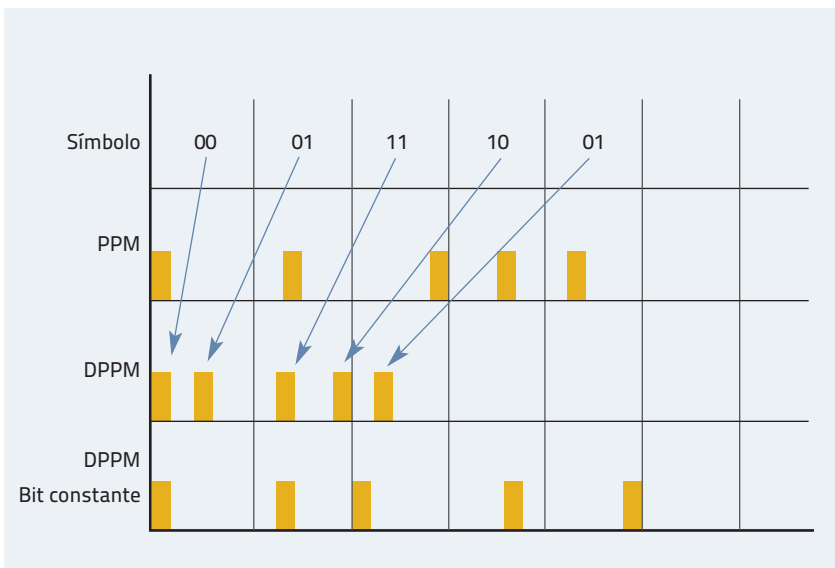
Las interferencias producidas por las fuentes de iluminación introducen componentes de banda estrecha a diferentes frecuencias dependiendo del tipo de lámparas utilizado [5]: En concreto, las lámparas incandescentes introducen armónicos de 100 Hz hasta aproximadamente 800 Hz. Esto se debe a que la frecuencia de red es de 50 Hz y a que la luz generada por la lámpara es igual para el semiciclo positivo y negativo de la señal eléctrica.

Para reducir los efectos de estas interferencias, los sistemas de comunicaciones ópticas no guiadas utilizan diferentes esquemas. Una

posibilidad es el uso de filtros ópticos, que eliminan las longitudes de onda diferentes a aquella con las que se está estableciendo el enlace de comunicaciones. Además, el circuito receptor suele contar con una etapa de filtrado paso alto que elimina la banda con mayor presencia de interferencias, aunque también puede eliminar parte de la señal de datos recibida. Por último, también se utilizan técnicas de modulación de la señal de datos, que permiten desplazar la comunicación a bandas de frecuencias libres de las interferencias e introducir algoritmos de corrección de errores [19].

Comunicaciones sobre sistemas VLC

En los primeros trabajos realizados sobre VLC, se empleaban codificaciones Non-Return-to-Zero (NRZ) On-Off Keying (OOK) con un control del ancho del pulso para modificar la luminosidad ofrecida por la lám-

Figura 5. Codificaciones PPM, DPPM y DPPM modificada


para. Sin embargo, dicha luminosidad depende directamente de los datos a transmitir, incumpliendo uno de los objetivos básicos de este tipo de sistemas, la correcta iluminación del entorno. Para corregir esta deficiencia se han propuesto en los últimos años codificaciones PPM o alguna de sus variantes, logrando mantener de forma sencilla el nivel de iluminación (encendido o apagado) y además, añadiendo una mayor resistencia a la ISI producida por la respuesta temporal del fósforo amarillo. Entre las variantes de la PPM, destacan la DPPM, con la que se logra facilitar la labor de sincronización, y la DPPM modificada, que permite lograr transmisiones con throughput constante. En la siguiente figura se muestra una representación temporal de las tres codificaciones nombradas.

En el caso de que se desee implementar múltiples canales de ba-

ja velocidad, tales como redes de sensores en aplicaciones domóticas, es necesario implementar un control de acceso al medio. Estas técnicas se pueden clasificar en división en el tiempo (TDMA), en frecuencia (FDMA) o en código (CDMA).

Los sistemas de espectro ensanchado, parecen ser una interesante opción para implementar sistemas basados en VLC, ya no sólo porque implementan intrínsecamente el acceso al medio por división de código, sino también por la buena respuesta que poseen ante interferencias de banda estrecha, la baja densidad espectral de potencia, que puede permitirle lograr la compatibilidad con otros sistemas, o una buena respuesta ante el fenómeno de la multipropagación [6].

Existen tres tipos de técnicas de espectro ensanchado:

- **DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum):** Se modula una por-

tadora con una secuencia de código digital cuya tasa de bit es mucho mayor que el ancho de banda de la señal de información.

- **FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum):** En este caso, se utiliza la secuencia de código para seleccionar, entre un conjunto de posibilidades, la frecuencia de la señal portadora.
- **THSS (Time Hopping Spread Spectrum):** Esta técnica implica un envío de los bits de datos espaciados a intervalos de tiempo aleatorios determinados por la señal de código.

La técnica del salto en el tiempo, hasta el momento, se ha considerado sólo como una modulación auxiliar para mejorar algunas prestaciones en enlaces de radiofrecuencia. Sin embargo, en lo que a las comunicaciones ópticas se refiere, este esquema de modulación presenta algunas características que lo hacen idóneo para este entorno. El uso de pulsos muy estrechos para codificar los datos a transmitir reduce el consumo de potencia utilizado, mientras que el corto tiempo de señal en el canal permite la coexistencia con otros usuarios de la red de forma sencilla. Además, conserva el resto de características de los sistemas de espectro ensanchado ya comentadas, que mejoran el comportamiento de los enlaces ópticos no guiados.

El funcionamiento de un sistema de estas características se basa en dividir el tiempo de bit en secciones (slots), de forma que, las secuencias de código pseudoaleatorio genera-

das determinan los slots a transmitir dentro de la trama. De esta forma, las demás franjas de tiempo puedan ser utilizadas por otros usuarios, lográndose con ello el acceso múltiple al canal. Para aumentar su robustez, es posible transmitir N pulsos en cada una de las tramas generadas en cada transmisor a costa de dividir por el mismo factor la tasa máxima de datos alcanzable. La siguiente figura muestra la representación temporal de las señales transmitidas [7].

En un principio, la codificación utilizada en cada slot era una simple OOK, pero varios estudios realizados en el grupo han demostrado con una codificación 2-PPM se logran mejorar las probabilidades de error a costa de duplicar la frecuencia máxima del sistema.

Las palabras código empleadas han sido generadas utilizando un código MLS debido a su sencillez. Sin embargo, también se ha contemplado la posibilidad de usar códigos OOC debido a su buena respuesta ante interferencias multiusuarios en sistemas asíncronos. Por el contrario, poseen el inconveniente de tener una baja cardinalidad y enviar siempre la misma firma, reduciendo la seguridad del sistema. En la actualidad, se están realizando estudios en busca de encontrar topologías mixtas que mejoren dichas deficiencias.

En la figura 6, se muestra el diagrama de bloques del módulo transmisor, donde se puede observar la sencillez de los circuitos utilizados para su implementación.

Figura 6. Representación temporal de las señales del THSS con 3 pulsos por bit de información a transmitir

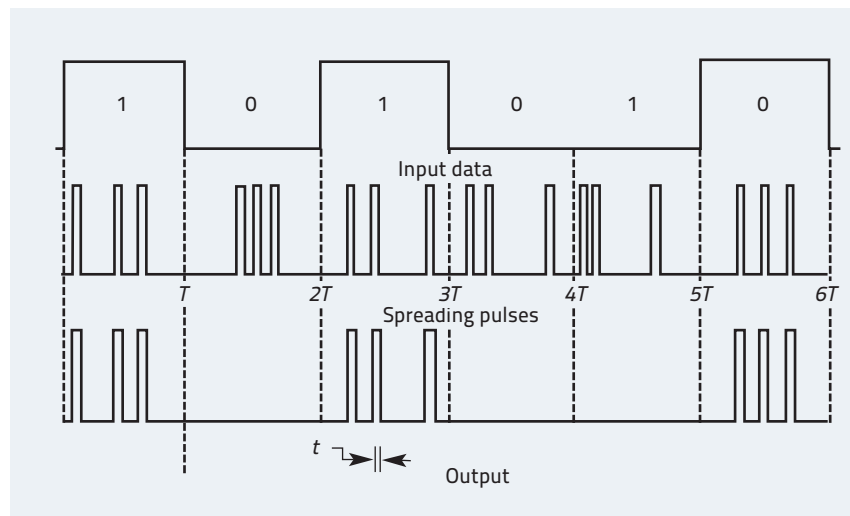
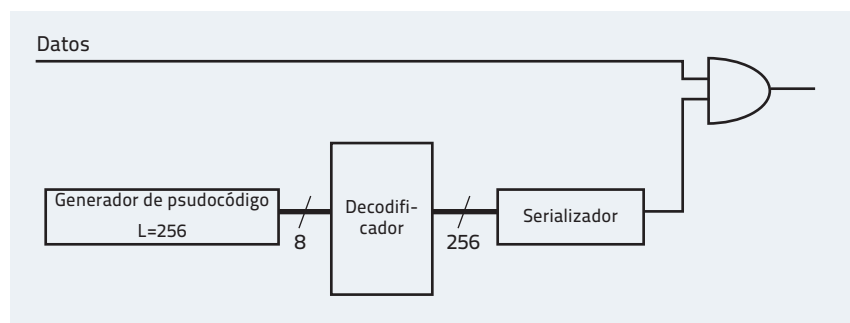


Figura 7. Diagrama de bloques del transmisor

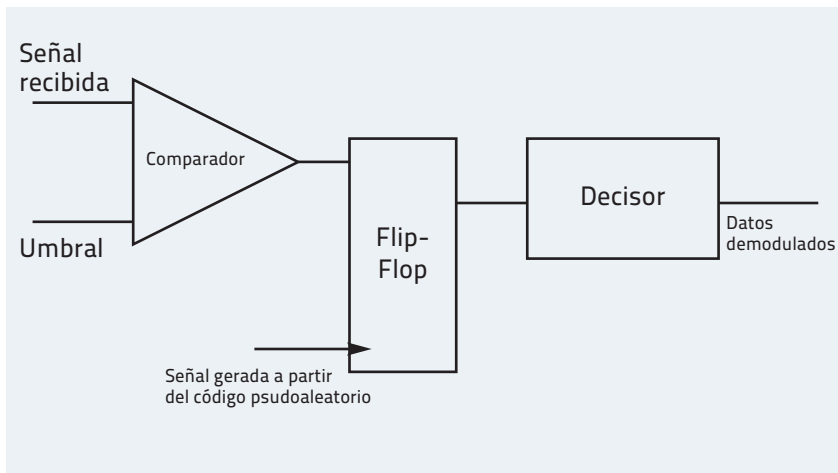


Por su parte, el receptor puede ser implementado utilizando dos métodos diferentes: utilizar el típico correlador que posee una circuitería bastante compleja y difícil de ajustar, pero que logra una respuesta optimizada, o utilizar una topología basada en un sencillo flip-flop. El funcionamiento de este último se basa en utilizar el patrón generado para determinar en qué instantes de tiempo se tiene que rea-

lizar el muestreo de la señal recibida. La figura 12 muestra el diagrama de bloques de lo expuesto.

Como se puede observar, tanto el transmisor como el receptor, están compuestos por dispositivos electrónicos digitales que pueden ser fácilmente implementados en una FPGA (Field Programmable Gate Array), que no sólo aporta unas muy buenas prestaciones, sino también una gran versatilidad al poder re-

Figura 8. Diagrama de bloques del receptor



programar el dispositivo. En concreto, se ha utilizado la Spartan 3-A de Xilinx obteniéndose una tasa de transmisión de 10Kbps con unas tasas de error más que aceptables.

Esta técnica de codificación posee una serie de características que, a priori, la hacen idónea para implementar redes de datos de baja velocidad. Entre ellas destacan su sencillez y su bajo consumo, lográndose una maximización de la vida útil de la batería en un nodo de la red de sensores. Para verificar este hecho se ha realizado una comparativa entre las tres técnicas de espectro ensanchado teniendo en cuenta patetfecto de la multipropagación, el sincronismo, la compatibilidad con otros sistemas y la posibilidad de implementar sistemas VLC.

Aplicaciones

Un primer entorno de aplicación puede ser los interiores. En ellos se parte de una serie de arrays de LED usados como fuentes de iluminación y comunicaciones situados en el techo en las paredes. Estos emisores envían señales lumínicas a receptores situados en una serie de equipos (como pueden ser televisores, ordenadores o terminales móviles). Estos canales de datos pueden ser de alta velocidad (por ejemplo para distribución de vídeo a televisores o como retorno de una cámara de seguridad) o múltiples canales simultáneos de baja velocidad (por ejemplo para conectar sensores domóticos en viviendas u hoteles, o para redes de sensores en general). El uso de comunicaciones ópticas no guiadas para su uso en interiores tiene una larga trayectoria, que incluye desde los dispositivos de muy baja velocidad

(como los mandos a distancia que se usan de forma universal en el hogar), hasta sistemas de interconexión para equipos informáticos (como los basados en el estándar IrDA).

Por otro lado, en sistemas exteriores destacan aplicaciones tales como el uso de carteles luminosos para enviar publicidad a los usuarios de una tienda, y el uso de semáforos y los paneles destinados al tráfico para ofrecer información sobre la situación o posibles rutas al conductor.

Existen entornos en los que por normativa están limitadas las radiaciones electromagnéticas como pueden ser los hospitales o ciertos entornos industriales. Los aviones son otro lugar en donde se podría ofrecer una red de datos a los viajeros empleando sistemas VLC instalados en las lámparas individuales de cada asiento.

Conclusiones

En los últimos tiempos ha aparecido un nuevo concepto en el campo de las comunicaciones ópticas no guiadas conocido como VLC (Visible Light Communications). Éste se caracteriza por utilizar lámparas de LEDs blancos no sólo para iluminar, sino también para transmitir datos digitales. Estos canales de datos pueden ser de dos tipos: o uno de alta velocidad que podría ser utilizado para la difusión de audio y vídeo, o varios de baja velocidad, con los que por ejemplo se podría implementar una red de sensores

en un entorno domótico. En ambos tipos será necesario implementar un canal de retorno que deberá implementar técnicas de acceso al medio.

Las técnicas de espectro ensanchado se presentan como una opción muy interesante para la im-

plementación de los mismos puesto que, además de permitir el acceso múltiple al canal, posee una muy buena respuesta ante fenómenos muy típicos en los canales ópticos no guiados tales como, la interferencia de banda estrecha o la multipropagación.

Dentro de las tres codificaciones de espectro ensanchado, el THSS posee unas características, como la sencillez y sobre todo el consumo de potencia, que la hacen idónea para la implementación, tanto de la transmisión VLC como del canal de retorno necesario.

Referencias bibliográficas

- [1] F. R. Gfeller and U. H. Bapst, "Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation," *Proc. IEEE*, vol. 67, pp. 1474–1486, Nov. 1979.
- [2] F. Delgado, R. Pérez Jiménez, S. Pérez, O. González, "FHSS optical wireless transceiver for short range low-speed indoor sensor interconnection", *Micro-wave and Optical Technology Letters*, Vol. 48, pp 2193 – 2197, Ago. 2006.
- [3] T. Komine, M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, Feb. 2004.
- [4] H. Le-Minh, D. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, L. Kyungwoo, J. Daekwang, and O. YunJe, "80 Mbit/s Visible Light Communications using pre-equalized white LED," in *Optical Communication*, 2008. ECOC 2008. 34th European Conference on, 2008, pp. 1-2.
- [5] A. J. C. Moreira, R. T. Valadas, A. M. de Oliveira Duarte, "Characterisation and Modelling of Artificial Light Interference in Optical Wireless Communication Systems", *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 1995. PIMRC'95.
- [6] Sklar, Bernard. *Digital communications: fundamentals and applications*. Prentice Hall, 2001.
- [7] C. Quintana, J. Rabadan, J. Rufo, F. Delgado and R. Perez-Jimenez, Time-Hopping Spread-Spectrum System for wireless optical communications. *Transactions on Communication Electronics*, IEEE. 2009.

Glosario de términos

WLAN	Wireless Local Area Network	THSS	Time Hopping Spread Spectrum
LED	Ligth Emitter Diode	CR	DPPM- Constant Rate Delay Pulse Position Modulation
IR	Infrarrojo	OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
VLC	Vlsible Ligth Communicaitons	APD	Avalanche Photodiode
PLC	Power Line Communications		
SS	Spread Spectrum		

Reseña curricular

Crisanto Quintana, licenciado en Ingeniería de Telecomunicaciones en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria en 2007. En la actualidad desarrolla la tesis en el campo de las comunicaciones ópticas no guiadas, dentro del la división de Tecnología Fotónica y comunicaciones del IDETIC.
Email: cquitana@idetec.eu