

Integración de Sensores por Fibra Óptica para Edificios Inteligentes

I. R. Matías, A. Sánchez, J.A. Rodrigo,
J.M. López Higuera*, M. López-Amo

Dpto. Tecnología Fotónica. E.T.S.I. Telecomunicación de Madrid
Ciudad Universitaria. 28040-Madrid

*Dpto. de Electrónica. E.T.S.I. Telecomunicación de la Universidad de Cantabria.
Avda. Los Castros s/n. Santander.

Abstract

At present, optical fibre are used for local area networks interconnection. As fibre based LANs and sensor networks share the same topology, it is possible to hybridize data networks with this kinds of sensor networks. In this paper a passive optical fibre network is presented where each terminal represents an electronic sensor attached to an optical coupler and whose measurement is introduced to the fiber bus by LEDs at the first window.

Introducción

En la actualidad la fibra óptica se utiliza cada vez más como medio físico para encaminar las señales en redes de área local. Debido a la coincidencia de las estructuras de redes de datos con las topologías [1] existentes en redes de sensores es posible pensar en la posibilidad de "superponer" a redes estandares de datos de fibra óptica ya instaladas este otro tipo de redes de sensores [2]. Con este motivo se ha desarrollado una red pasiva de fibra óptica en donde los terminales son sistemas basados en componentes optoelectrónicos cuya salida es una señal luminosa generada por un LED a una longitud de onda de 820 nm. De este modo los datos propios de una red de área local, pueden ir a cualquier otra longitud de onda, en nuestro caso a 1310 nm, dejando la posibilidad de introducir cualquier otro tipo de señales (vídeo, localización de fallos de la red mediante O.T.D.R.'s, etc.) a 1550 nm u otra frecuencia óptica diferente [3].

Arquitectura del bus y principio de operación

La arquitectura propuesta para el bus es la que esquemáticamente se representa en fig.1.

Se han elegido dos tipos de elementos sensores, ambos circuitos integrados. Uno de ellos es de luz ambiental y es el TSL 220 de Texas Instruments. El otro es de temperatura y es el integrado LM35. La información que van aportando cada uno de estos elementos sensores se modula en FM mediante un circuito electrónico analógico y posteriormente se inserta en una diferente subportadora eléctrica ($f_1, \dots, f_n$). A su vez todas las subportadoras van sobre una portadora óptica generada por un LED a $\lambda_1=820$ nm. Esta señal luminosa se introduce al bus

de fibra óptica multimodo por medio de unos acopladores, cuya relación de acoplo, k , es aproximadamente del 10%. Dicha luz está modulada por un circuito electrónico analógico y lleva la información proporcionada por un sensor de tipo electrónico. El conjunto sensor, circuito modulador y LED se ha agrupado en un bloque y se les ha denominado S1, S2, S3, S4.

La señal de datos de la LAN se han simulado mediante una señal luminosa a una longitud de onda $\lambda_2=1310$ nm modulada en FSK.

Los fotodetectores empleados son de diferente naturaleza según las ventanas de transmisión. En este caso, para detectar los datos a 820 nm. se utiliza uno de Silicio, mientras que para recuperar la señal de datos, al ser en segunda ventana, tendría que ser de otro material. Por su propia naturaleza, un detector de Silicio es "ciego" a longitudes de onda mayores de 1000 nm, al igual que uno de segunda y tercera ventana lo suele ser para señales luminosas en primera ventana.

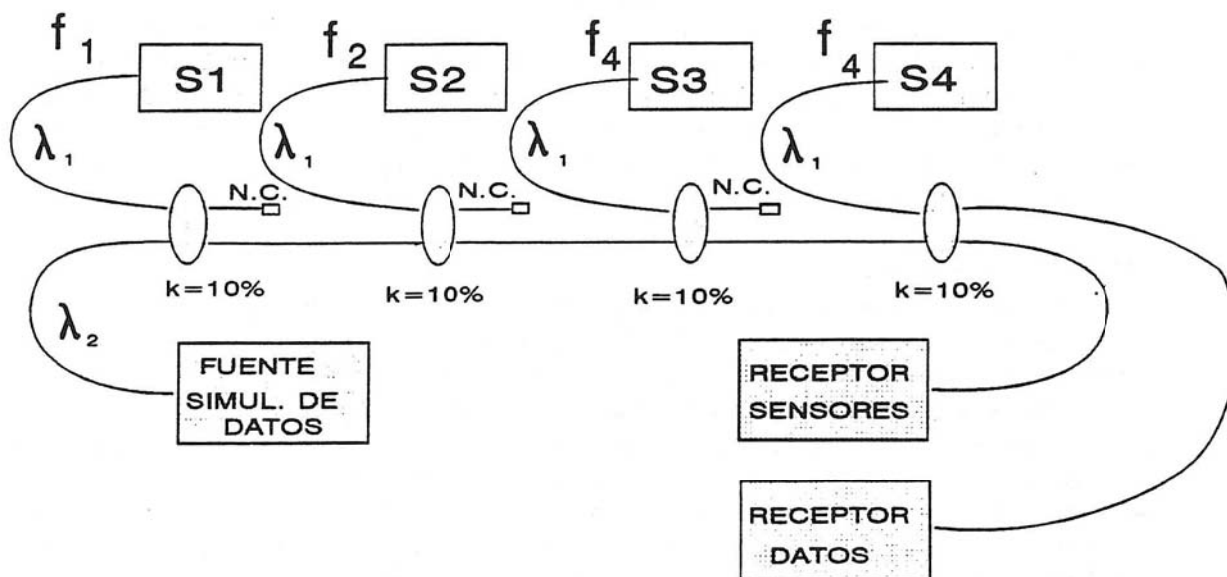


Fig. 1 Arquitectura de la red dual datos-sensores.

Por tanto para discriminarlas sería suficiente con tomar ambos extremos del último acoplador, en donde por el brazo del 10% se tomaría la información de los sensores y por otro la de los datos. Otra solución más elegante, y teniendo en cuenta la posibilidad de utilizar alguna otra longitud de onda para otro tipo de datos, sería colocar en el extremo un WDM (Wavelength division multiplexer) a las longitudes de onda de trabajo.

Las señales de los sensores son demoduladas en recepción e introducidas a un ordenador de la forma que se indica en la fig. 2. El oscilador local es un DDS (Direct Digital Synthesizer) que en función de una combinación de bits a la entrada genera una señal sinusoidal muy pura.

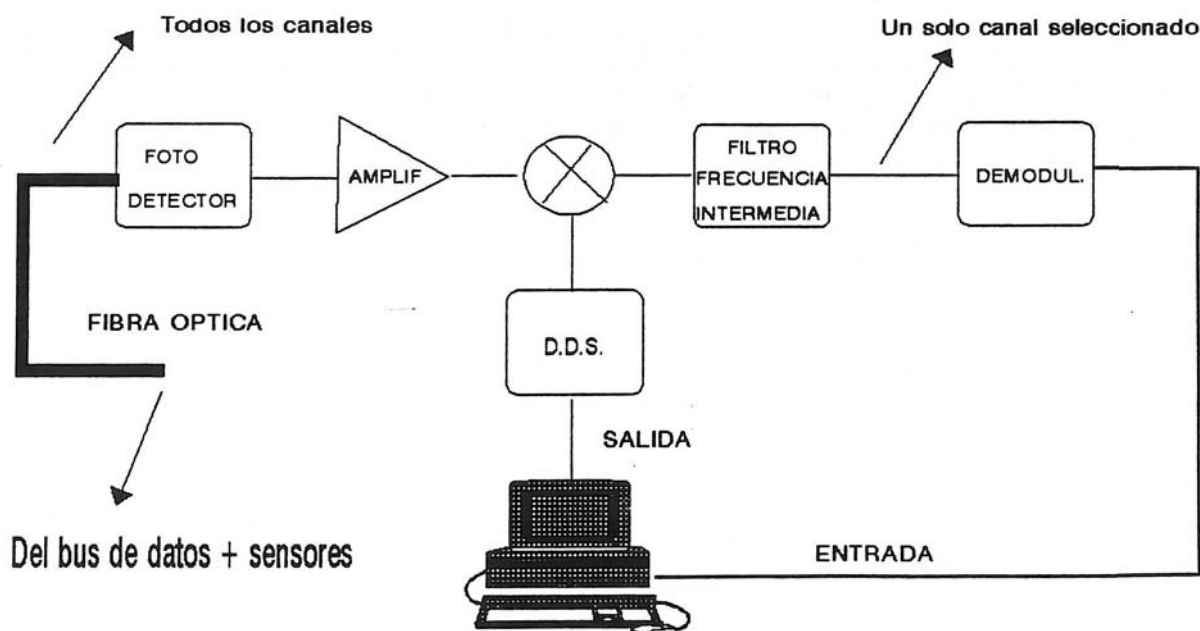


Fig. 2 Esquema del receptor

El funcionamiento del bloque receptor es el siguiente:

Todos los canales simultaneamente son captados por el fotodetector y amplificados. Esta señal es multiplicada por la senoide generada por el DDS (que viene dada por una palabra de 12 bits recibida desde el ordenador) para transportarla a la banda del filtro de frecuencia intermedia para de este modo seleccionar un canal concreto. Posteriormente se pasa a banda base por medio del detector de envolvente, para ser demodulada por un PLL, cuya salida analógica se digitaliza e introduce al ordenador. De este modo se obtiene la información de cada uno de los sensores.

Estudio de la potencia

Como se ha dicho anteriormente, una pequeña fracción de luz, tan sólo el 10%, proveniente de los sensores se acopla al bus y progresará a través de él, mientras que el 90% de la potencia óptica propia de la red de área local, pasa en cada uno de estos nodos.

Esto implica unas pérdidas en la señal de datos que limita el número de sensores que se pueden incorporar a la red. Para evitar este problema se podría pensar en dos posibilidades: una de ellas sería amplificar previamente la señal de datos mediante un amplificador óptico, el cual permitiría aumentar los márgenes y por tanto aumentar el número de nodos. Otra sería la utilización de relaciones de acoplo k de menor valor, como por ejemplo del 1%, lo cual supondría a su vez, la obligación de aumentar la señal óptica proveniente de los LEDs para que la señal luminosa de los sensores pueda llegar con suficiente nivel para ser detectada en el receptor.

La potencia óptica generada por los LEDs a la salida es:

$$P_{sal}^s = (1-k)^n * k * P_{ent}^s \quad (1)$$

Como puede verse en la fig. 3, en función del número de sensores n y de la constante de acoplo k se van obteniendo diferentes curvas. En todas ellas se aprecia un máximo en función de k para un n dado.

La potencia óptica proveniente de los datos a λ_2 viene dada por:

$$P_{sal}^d = (1-k)^n * P_{ent}^d \quad (2)$$

Teniendo en cuenta las características particulares de cada red, habrá casos en que estas pérdidas no son significativas (bien porque se tenga un margen de guarda superior o porque el láser pueda entregar más potencia) y casos en donde se debería incrementar la potencia óptica a la entrada del bus de valor igual a las pérdidas que se van a ocasionar con la incorporación de los sensores, de modo que la red con y sin sensores tenga las mismas características de relación señal a ruido.

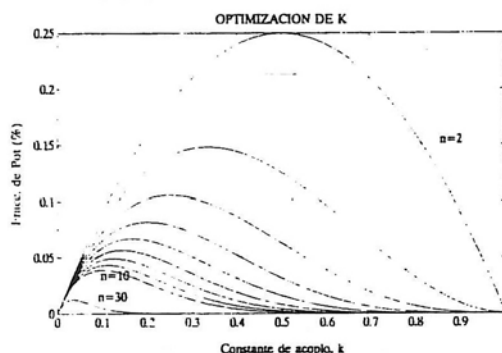


Fig. 3 Optimización de la constante de acoplo k en función del número de canales n .

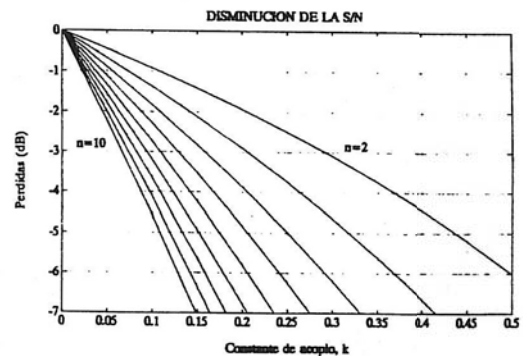


Fig. 4 Variación de la relación S/N en función de n y de k .

En la fig.4 se puede ver la variación de la relación señal a ruido de la red en función de la constante de acoplo k y del número de sensores que se conecten. Obviamente conforme k disminuye, las pérdidas ocasionadas a los datos se minimizan y, por ejemplo, para $k = 1\%$ las pérdidas son de tan sólo 0.45 dB para $n = 10$, que son fácilmente asimilables para cualquier tipo de red. Hay por tanto una situación de compromiso entre la potencia que se ha de enviar desde los sensores y la que los datos pueden perder, situación de compromiso que depende de cada red en particular.

Estudio de la diafonía

En cuanto a la diafonía, caben dos diferentes: diafonía entre datos y sensores y diafonía entre cada uno de los canales correspondiente a cada sensor.

Entre datos y sensores no hay diafonía ya que van insertadas en diferentes longitudes de onda.

La señal que llega al receptor en primera ventana, es decir, la proveniente de los sensores viene dada por:

$$E(t) = [A * e^{j2\pi f_0 t} * [\sum_{m=0}^{n-1} e^{j2\pi m \Delta f t} * e^{j2\pi f_{\Delta} * \int_0^t x_m(t') dt'}]] * e^{j\Omega_1 t} \quad (3)$$

en donde:

f_0 = Frecuencia de la primera subportadora correspondiente al primer sensor.

Δf = Separación entre canales de los sensores.

f_{Δ} = Desviación de frecuencia.

x_m = Señal de información proporcional a la magnitud física a medir. En el caso de los canales 1 y 3 será proporcional a la temperatura. Con respecto a los canales 2 y 4 lo será a la luz ambiental.

La señal proveniente del sensor es una secuencia de pulsos cuyo ancho de banda está limitado a un valor máximo de 2 KHz, ya que la velocidad de las variaciones ambientales que se sientan no son superiores al milisegundo.

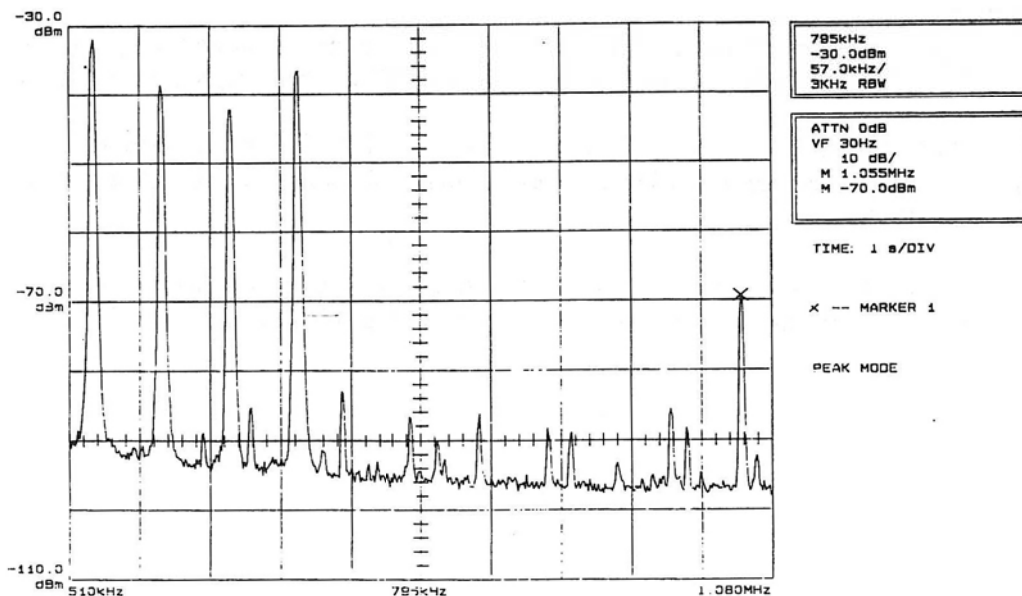


Fig. 5 Señal en recepción para λ_1 . En ella se ven los cuatro canales de los sensores y el armónico más próximo. Entre el último canal y el primer armónico se pueden insertar otros 5 canales de sensores más.

En nuestro caso se puede considerar perfectamente que estamos ante una modulación FM de banda estrecha, por lo que el ancho de banda se reduce a:

$$B_T \sim 2 * W \quad (4)$$

Teniendo en cuenta que $W \leq 2 \text{ KHz}$, que es por consiguiente mucho menor que Δf , se puede considerar que no hay diafonía de un canal a otro introducida por la propia señal de cada sensor. Por lo tanto resta estudiar la diafonía introducida por los armónicos de las propias subportadoras.

En la figura 5 se pueden apreciar los cuatro canales y la separación con respecto al primer armónico correspondiente al primero de los sensores. En este caso $f_0 = 530 \text{ KHz}$ y $n = 4$, con lo que el primer armónico de la subportadora, aparecería en 1060 KHz , lejos de los 695 KHz correspondiente al valor del primer armónico del cuarto canal. En función de los canales que se deseen insertar esta f_0 se puede subir de modo que $f_n \leq 2f_0$ en donde f_n representa la subportadora de mayor frecuencia.

Conclusiones

Se ha presentado un sistema de multiplexación de sensores optoelectrónicos por fibra óptica utilizando una topología de bus. Se ha demostrado su viabilidad mediante la realización de un bus de fibra óptica multimodo en donde los datos de los sensores comparten el canal con los propios de una red de área local con una diafonía total del sistema nula.

Por tanto cualquier red de área local de fibra óptica es susceptible de aumentar su capacidad, superponiéndoles este tipo de redes de sensores en paralelo, incrementando el grado de "inteligencia" del edificio en donde esté ubicada.

Agradecimientos

Deseamos manifestar nuestro agradecimiento a la entidad CICYT-TIC por la concesión del proyecto TIC-92-00520CO2, que ha hecho posible la realización de este trabajo. También agradecer a Miguel A. Muriel el apoyo recibido.

Referencias

- [1] A. D. Kersey and A. Dandridge. "Distributed and multiplexed optical fiber sensor systems". Proc. Inst. Electronic and Radio Engineers (IERE, London), 58, p. 599, 1988.
- [2] M. López-Amo, London T. Blair and Paul Urquhart. "Wavelength-division multiplexed distributed optical fiber amplifier bus network for data and sensors. Optics Letters V. 18 n.14 pp. 1159-1161. 1993.
- [3] M. López-Amo y otros. "Integración de sensores en redes de área local por fibra óptica para edificios inteligentes." V Jornadas de Tecnología Electrónica. Santander, 1993.