

Sensor óptico para la medida de posición en el plano con resolución sub-micrométrica

M. A. Morante, A. Cobo, M. Lomer, J. Echevarria, F. Madruga, J. M. López-Higuera

Grupo de Ingeniería Fotónica, Departamento TEISA, Universidad de Cantabria
E.T.S.I.I. y Telecomunicación, Avda. Los Castros s/n, 39005 Santander
Correo electrónico: morante@teisa.unican.es

Abstract:

An optical fibre sensor for measuring position in two perpendicular directions is presented. The whole system has been developed, from the transducer head to the electronic unit. Since its principle of operation is light intensity modulation, it is easy to implement and inexpensive. Its resolution is $0.01 \mu\text{m}$ and it has a dynamic range of 33 dB.

1. Introducción

La medida de posición sin contacto es particularmente interesante para el monitorizado de vibraciones de pequeña amplitud y frecuencia, y para el control de posicionamiento en micro-mecánica. Además, cada vez se usan más sensores de posición en cadenas de producción o integrados en robots industriales, casi siempre en procesos automatizados y controlados por ordenador. La utilización de la fibra óptica en estas aplicaciones proporciona un sensado limpio, preciso y de coste moderado, y posibilita trabajar en ambientes hostiles, explosivos o peligrosos [1]. Ello es debido a su carácter dieléctrico, pequeño tamaño y peso, a las capacidades de transmisión de la fibra óptica, y, al menos de forma potencial, su bajo precio.

Se han presentado sensores de fibra óptica para la medida de posición o desplazamiento que utilizan técnicas interferométricas, otros codificados en longitud de onda, y por último codificados en intensidad. Los dos primeros tipos presentan una cierta complejidad, derivada del equipamiento optoelectrónico necesario para obtener la información que va en la fase o la frecuencia óptica de la onda luminosa [2,3]. En cambio, el último tipo requiere simplemente cuantificar la potencia óptica, sin necesidad de instrumentación compleja como contadores de franjas o espectrómetros ópticos.

Se presenta en este artículo un sensor de fibra óptica que combina el bajo coste que le confiere el principio de funcionamiento por modulación de intensidad con una resolución que, sin llegar a la proporcionada por los sensores interferométricos, está por debajo de los micrómetros. Además aporta la capacidad de determinar la posición en el plano de forma bi-dimensional y simultánea.

2. Descripción del sistema sensor

El sensor se basa en una fibra óptica emisora de luz que hace incidir su patrón de iluminación

sobre un conjunto de fibras receptoras. El movimiento relativo de la primera con respecto al resto se registra por medio de la intensidad luminosa que, procedente de la fibra emisora, es acoplada en cada una de las receptoras. Con estos valores de potencia se realiza una sencilla operación matemática que arroja el valor del mencionado desplazamiento relativo, o bien de la posición absoluta con respecto a una posición inicial dada. Los valores se dan en tiempo real.

A continuación se detallan, en diferentes apartados, las partes que integran el sistema, el esquema de modulación de intensidad utilizado, y la forma de obtener la posición en el plano a partir de las señales recogidas por las fibras receptoras.

2.1. Partes Integrantes del Sistema Sensor

El sistema está formado por un bloque de generación de la señal óptica, una cabeza transductora, un canal de fibra óptica, y una parte de detección y procesamiento de señal. El esquema de bloques del sensor se muestra en la Fig. 1.

El bloque de generación de señal es un simple diodo LED. La cabeza transductora se compone de una fibra emitiendo un patrón de radiación enfrente de otras tres receptoras situadas formando un triángulo equilátero. Esta disposición de fibras facilita su realización práctica. Las cuatro fibras son multimodo y son las que integran el canal de comunicación entre el transductor y la unidad optoelectrónica. El hecho de que el canal sea de fibra óptica permite, por una parte, alejar considerablemente el punto de medida de la unidad de procesamiento, y por otra realizar un sistema multipunto reuniendo en un mismo lugar la instrumentación que controla todos los sensores individuales. Por último, la unidad de detección y procesamiento convierte las intensidades luminosas al dominio eléctrico y las procesa para obtener la posición en el plano.

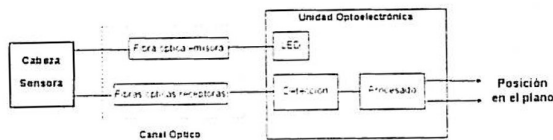


Figura 1 Diagrama de bloques del sistema sensor

2. 2. Principio de Funcionamiento del Sensor

El sensor mide la posición en el plano del extremo de una fibra que emite luz, con respecto a tres fibras receptoras dispuestas en triángulo equilátero tal como muestra la Fig. 2, a partir de la cantidad de luz emitida por la primera y acoplada en cada una de estas últimas. El problema se divide en dos partes diferenciadas, una óptica y otra geométrica.

Por una parte hay que relacionar la cantidad de potencia óptica que se acopla de una fibra a otra enfrentada, representada por una tensión eléctrica proporcional, con la distancia transversal entre ellas:

$$d_i = g_i(V_i) \quad i=1,2,3 \quad (1)$$

siendo d_i la distancia transversal entre la fibra emisora y la receptora i , y V_i el voltaje que refleja la potencia acoplada en la fibra i .

En segundo lugar se trata de obtener las coordenadas x e y de la posición de la fibra emisora respecto de las receptoras a partir de las tres distancias transversales d_i :

$$x = f_x(d_1, d_2, d_3) \quad (2a)$$

$$y = f_y(d_1, d_2, d_3) \quad (2b)$$

En la Fig. 3 se esquematizan los dos pasos en los que se realiza el cálculo de la posición en las dos direcciones ortogonales del plano.

La función que proporciona la distancia transversal entre dos fibras ópticas a partir de la cantidad de potencia óptica acoplada de una a otra se depende de las características de las fibras y de la separación longitudinal entre ellas. Su determinación se realizó experimentalmente en el laboratorio

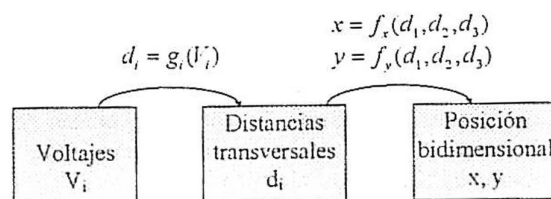


Figura 2 Esquema de funcionamiento del sensor

para distintos tipos de fibra y diferentes separaciones [4], y se eligió la que proporcionaba las mejores prestaciones para este sensor particular. Ésta consiste en fibras multimodo de 100 μm de núcleo y 140 μm de diámetro externo, separadas 350 μm .

Se demostró que la curva de acoplo tiene una zona que puede ser aproximada por una recta, con lo que existe una dependencia lineal entre la potencia óptica acoplada y la distancia entre las fibras. La Fig. 4 muestra la función de acoplo para las fibras utilizadas. El eje horizontal representa la distancia de separación lateral entre las fibras, para una separación axial dada.

En cuanto a la obtención de las coordenadas x e y de la fibra iluminadora a partir de las distancias d_i , también se valoraron distintas posibilidades y se escogió la que proporciona mayor linealidad y exactitud, para el rango de utilización del sensor. Según esta configuración, la coordenada x se obtiene a partir de las distancias d_1 y d_2 (ver Fig. 2) y la coordenada y a partir de las tres d_i :

$$x = \frac{d_1^2 - d_2^2}{4b} \quad (3a)$$

$$y = \frac{\sqrt{3}}{3}b - \sqrt{d_3^2 - \left(\frac{d_1^2 - d_2^2}{4b}\right)^2} \quad (3b)$$

donde b es el radio exterior de las fibras utilizadas, es decir, 70 μm .

3. Resultados Experimentales

Se comprobó en el laboratorio el funcionamiento del sistema completo, tanto de las partes integrantes del mismo como del sensor en conjunto, y se obtuvieron resultados acordes con los esperados de la formulación teórica.

Como se ha mencionado, la curva de acoplo se midió experimentalmente para el tipo de fibra y el diodo LED utilizados. La no-linealidad de la misma es menor del 1 % para un rango de desplazamiento transversal de 20 μm . La potencia óptica típica radiada por el extremo de la fibra emisora es

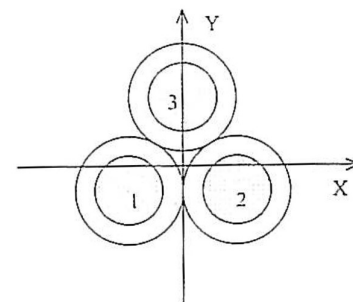


Figura 3 Disposición de las fibras receptoras en el transductor

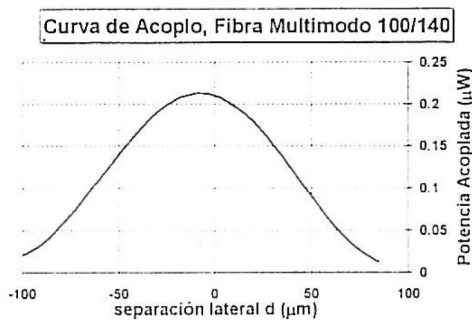


Figura 4 Curva de acoplo de potencia óptica entre las fibras integrantes del sensor.

de $40 \mu\text{W}$, y las pérdidas de inserción en el transductor óptico son de unos 8 dB.

También se probó cada bloque del sistema optoelectrónico (detección, procesado, filtrado y acondicionamiento de señal), individualmente y en conjunto. La potencia de salida de ruido (rms) de la unidad electrónica fue -36dBm . Incluso se realizó una prueba en temperatura, en una cámara climática, y su deriva térmica resultó ser menor de $0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en el rango entre 0 y $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

El rango de medida del sensor es ligeramente mayor en la coordenada x que en la y , y lo mismo pasa con la resolución, pero la diferencia es mínima. En el peor de los casos el rango útil es $\pm 10 \mu\text{m}$, y la resolución $0.01 \mu\text{m}$. Es decir, el sistema tiene un rango dinámico de 33 dB. El error en la medida proporcionada es menor del 2 %.

4. Conclusiones

Se ha presentado un sistema sensor de fibra óptica que es capaz de medir pequeños desplazamientos con una resolución de 10 nm. Sus características principales son la facilidad de fabricación, y la precisión de la medida, así como la posibilidad de integración en un sistema de medida multipunto.

Tiene un rango de amplitud de $\pm 10 \mu\text{m}$, y una precisión en los valores proporcionados del 2 %. Sus aplicaciones principales están en la automatización de procesos, principalmente en la industria manufacturera.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto TIC95-0631-C04-01 financiado por la CICYT, a la que los autores muestran su agradecimiento.

Bibliografía

- [1] Weiss, J., Maulbetsh, J., "Fiber-optic sensors", *Electric Power Research Institute (EPRI)*, RP8004, 1993.
- [2] CSO, "HC250 Micro-Laser Interferometer", *Technical specifications*, Grenoble, France (1995).
- [3] Spillman, Jr., Patriquin, D.R., and Crowne, D.H., "Fiber optic linear displacement sensor based on a variable period diffraction grating", *Applied Optics*, 28, 17, 3550-3553, (1989).
- [4] Cobo, A., Pérez, J.R., Morante, M.A., Lomer, M., López-Higuera, J.M., "Determinación experimental de la función de acoplo entre fibras ópticas", *XII Simposium Nacional URSI'97*, Bilbao, 15-17 Septiembre 1997.