XXII Seminario de
Ingeniería Biomédica
Núcleo de Ingeniería Biomédica
Facultades de Medicina e Ingeniería
UdelaR

Redes Neuronales para el diseño de sensores de temperaturas usados en Medicina

Nicolás Blanco

Monografía vinculada al paper "APPLICATION OF THE NEURAL NETWORK OPTICAL FIBER TEMPERATURE SENSOR PROBE DESIGN USED IN MEDICAL TREATMENT" de Li Jiusheng & Bao Zhenwu

blanco.nicolas.c@gmail.com

Resumen. Los métodos basados en las características de las Redes Neuronales, BP (Back Propagation) y RBF (Radial Basis Function) son utilizados para realizar el diseño de sensores de temperaturas de fibra óptica. Estos últimos son aplicados a diversos tratamientos médicos, los cuales precisan tener un control de la temperatura de trabajo. Los métodos BP y RBF tienen la base para poder generar dispositivos, en este caso, sensores de temperatura basados en fibra óptica que tengan una muy buena exactitud, resolución (del entorno de los 0.1 ºC)

1. Introducción

Las células cancerígenas por el contrario que las células normales son más sensibles a las temperaturas elevadas. Al exponer las primeras a una temperatura en el entorno de los 42 ºC, estás ya empiezan a perder su actividad muy rápidamente, causando que el daño a las células normales disminuya considerablemente. Esto último da la posibilidad de contar con tratamientos médicos en contra del cáncer a temperaturas elevadas. Esos tratamientos se suelen denominar tecnologías de calentamiento de las microondas.

El gran problema con estos tratamientos es que los sensores de temperatura tradicionales se ven afectados por la fuerte interferencia electromagnética del ambiente, y se hace difícil realizar medidas en el proceso de lo tratamientos.

Las denominadas resistencias térmicas (resistencias que varían fuertemente con la temperatura, las cuales se usan como sensores de temperatura), experimentan el fenómeno denominado auto-calentamiento, el cual las imposibilita de detectar campos térmicos. Sin embargo los sensores de temperatura basados en fibras ópticas, por su inmunidad a las interferencias electromagnéticas y su pequeño tamaño, son adecuados para los tratamientos del cáncer por calentamiento de microondas.

2. Desarrollo de la monografía

2.1 Principio de funcionamiento de los sensores de temperatura de fibra óptica

La Figura 1 muestra el principio de funcionamiento de los sensores de temperatura de fibra óptica.
La potencia de la fuente de luz (LED) es de 1 mW, y se trabaja en una longitud de onda del orden de los 0.85 µm. Para prevenir la interferencia provocada por la luz de fondo se modula la luz de la fuente.
La luz modulada luego deberá pasar a través de un dispositivo perturbador de modo para producir en la luz modulada un modo más elevado.

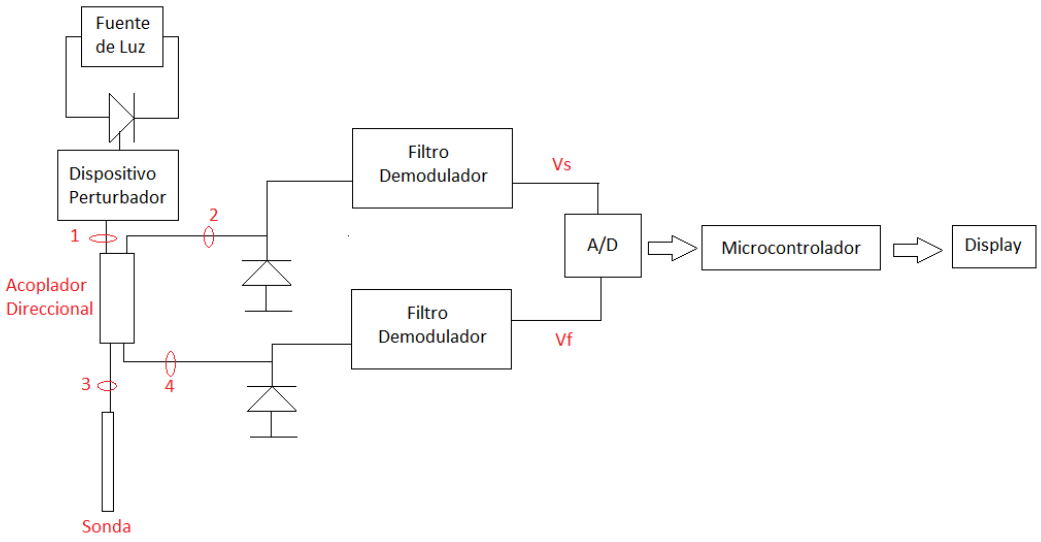

Figura 1: Principio de operación de los sensores de temperatura de fibra óptica

La luz entra en un acoplador direccional por el puerto 1 y de allí se divide en dos partes. Una parte pasa a través del puerto 3, la cual luego es reflejada por una sonda y detectada por el puerto 2. Y la otra parte, llamada luz de referencia, es detectada por el puerto 4 y usada luego para eliminar errores causados por la luz de fondo (que no pudieron ser mitigados previamente por la modulación de la fuente de luz).
También se usan filtros en bandas para eliminar interferencias de la luz de fondo y el ruido de alta y baja frecuencia existente en el medio.

La Figura 2 muestra la estructura interna de la sonda o guía de onda utilizada para reflejar la luz modulada.
La sonda trabaja en modos (niveles) de radiación cuyas energías de radiación dependen del coeficiente de refracción n_3. A su vez, el coeficiente de refracción n_3 depende de la temperatura a la cual está sometido el material refractivo contiguo a la sonda. Cuando la temperatura aumenta, n_3 disminuye, produciendo que el modo de energía la guía de ondas se incremente, por tanto el modo de radiación de la misma baje. Análogamente, cuando n_3 aumenta, el modo de energía de la sonda baja y el modo de radiación aumenta.
El valor de n_3 debe ser elegido cuidadosamente para mantener a la sonda en el mejor estado de trabajo posible.

Se verá que el valor del coeficiente de refracción puede ser optimizado utilizando modelos de Redes Neuronales.

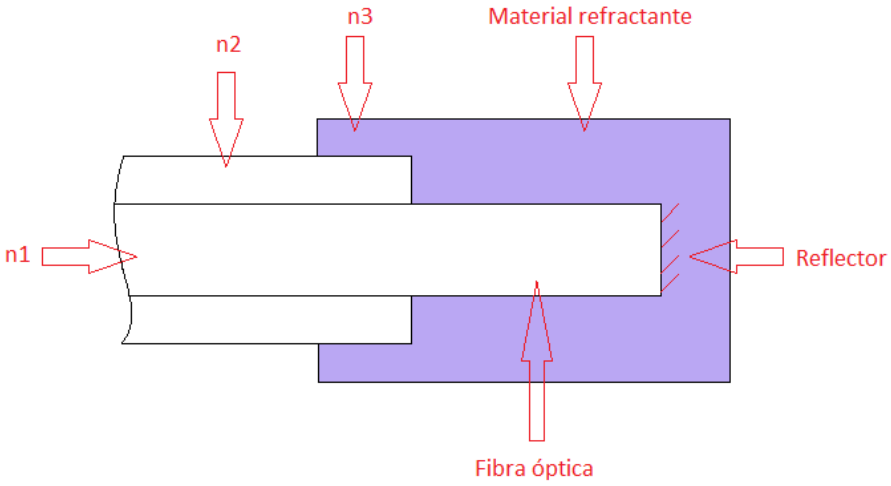

Figura 2: Estructura interna de la guía de ondas y material refractivo sensible a la temperatura

2.2 Análisis y cálculos teóricos

Aquí se analizará principio de operación seleccionado. El modo de propagación (M) de la fibra está dado por la siguiente ecuación:

$$M = \frac{v^2}{2} = \frac{1}{2}a^2k_0^2(n_1^2 - n_3^2) \qquad (1)$$

Donde $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ es el diámetro de la fibra, n_1 es el índice de refracción de la fibra y n_3 es el índice de refracción del material de refracción adosado a la fibra.
Se puede decir que por (1) que al mantenerse constante n_1 y variar con la temperatura n_3 el modo de propagación de la fibra cambia. Cuando n_3 aumenta, M baja y esto hace que la potencia de entrada también baje. Por el contrario, si n_3 disminuye, M aumenta, y por ende la potencia de entrada aumenta.
Llamaremos P a la potencia de entrada. Si se asume que la energía se mantiene constante entre los distintos modos de propagación y que el coeficiente de refracción de la fibra es constante la energía de cada modo sigue la siguiente ecuación:

$$N = \frac{P}{M} = \frac{2P}{a^2k_0^2(n_1^2 - n_3^2)} \qquad (2)$$

Cuando la temperatura cambia, n_3 se modifica a n'_3 y el modo de propagación cambia a:

$$M' = \frac{1}{2}a^2k_0^2\left(n_1^2 - n'^2_3\right) \qquad (3)$$

Entonces la potencia de entrada queda dada por:

$$P' = NM' = P\frac{n_1^2 - n'^2_3}{n_1^2 - n_3^2} \qquad (4)$$

Considerando que $\frac{dn'_3}{dt} = k$ es constant en pequeños rangos de temperature, obtenemos lo siguiente:

$$dP' = -\frac{2P}{n_1^2 - n_3^2}n'_3 k dt \qquad (5)$$

Tomando como intervalo de cambio de la temperatura desde 0 a t ºC, podemos escribir el cambio en P' de la siguiente forma:

$$\Delta P' = -\frac{2Pk}{n_1^2 - n_3^2}\int_0^t n'_3 dt \qquad (6)$$

De la resolución de la integral se obtiene:

$$\Delta P' = -\frac{2Pk}{n_1^2 - n_3^2}\left(n_3 t + \frac{1}{2}kt^2\right) \qquad (7)$$

De saber que k es pequeño, y que las variaciones de temperatura también se puede obtener la siguiente simplificación para la fórmula de la variación de P:

$$\Delta P' = -\frac{2Pkn_3 t}{n_1^2 - n_3^2} \qquad (8)$$

Si bien en (8) diríamos que las variaciones de potencia son lineales con la temperatura, esto no es así, ya que la energía es no lineal con cada modo de la fibra y más se aleja de la linealidad conforme grandes variaciones en la temperatura (t).

2.3 Diseño del óptimo coeficiente de refracción n_3 utilizando Redes Neuronales BP y RBF

Valores comunes de índices de refracciones para fibras ópticas son: $n_1 = 1.46$ y $n_2 = 1.41$ (revestimiento de la fibra). Si se utiliza como material refractivo, gel de sílice con $n_3 = n_2 = 1.41$ la energía y la sensibilidad obtenida son bajos.
Entonces se busca un valor de n_3 que esté entre 1.41 y 1.46. Hay dos tipos de gel de sílice, con índices de refracción, 1.41 y 1.51 respectivamente. Dichos tipos se pueden mezclar en determinadas proporciones para obtener un gel con índice de refracción diferente. Se considera a partir de aquí que $\Delta t = 10$ ºC. En la Tabla 1 se puede observar la varianza del promedio de la potencia de salida a diferentes proporciones de mezcla de los 2 tipos de materiales refractivos considerados (se asume el material con índice 1.51 con proporción 1, y el otro variable).

Ratio	$\overline{\Delta P}$ (μW)
1:1	0.543
1:2	0.927
1:3	0.675
1:4	0.618

Tabla 1: Varianza del promedio de la potencia de salida ($\overline{\Delta P}$) @ $\Delta t = 10$ ºC, a diferentes proporciones

La fórmula (8) para cada valor de proporción (n_3 siendo un ratio entre n_1 y n_2) se puede tratar como una red neuronal, tomando como vector de entrada los diferentes ratios y como vector salida la varianza del promedio de la potencia ($\overline{\Delta P}$), que se obtiene luego de cálculos de interpolación y experimentos. Tanto las redes BP como RBF presentan 2 bloques entre su entrada y su salida. El segundo bloque de cada una es una etapa lineal, mientras que la primera es fuertemente no lineal y la función base, en la cual se rige cada una de esas primeras etapas es distinta en las 2 redes.
La función base para las redes BP es:

$$f(x) = \frac{2}{(1 + e^{-2x}) - 1}$$

Mientras que en las redes BRF es:

$$g(x) = e^{-x^2}$$

Luego de un proceso de simulaciones y análisis de las mismas, se llega por medio de los dos modelos a un valor de ratio que maximiza $\overline{\Delta P}$ para el cual la sensibilidad de la medida es lo más grande posible, lo cual es satisfactorio para realizar medidas con mayor precisión y exactitud.
En los dos casos, y como dato a resaltar, el valor de proporción que maximiza la sensibilidad es el mismo. Dicho valor es 1:18, el cual se corresponde con $n_3 = 1.446$. El máximo valor entonces de la varianza del promedio de la potencia es $\overline{\Delta P} = 0.9364\ \mu W$

3. Conclusiones

Se puede concluir que el uso de los modelos de Redes Neuronales pueden dar paso optimizaciones a varios problemas, en particular en lo detallado en la monografía, se usaron para la optimización de sensores de temperatura para tratamientos médicos, pero no hay que descartar la posibilidad de que se utilicen para más aplicaciones, y por sobre todo, en el plano biomédico e ingenieril, pudiéndose explorar o atacar problemas médicos dándole un enfoque y/o una solución basada en la ingeniería, ya sea con dispositivos o con cálculos teóricos a trabajar en el futuro.

4. Bibiografía

[1] Li Jiusheng & Bao Zhenwu, "*APPLICATION OF THE NEURAL NETWORK OPTICAL FIBER TEMPERATURE SENSOR PROBE DESIGN USED IN MEDICAL TREATMENT*", 2003

[2] Qiu. Liceng, "Research on the system of optical fiber temperature sensor used in medical treatment", 1990

[3] Jin Mauun, Ho, M.T, Shiu, "Optical fiber temperature sensor based on phase shift by aluminum thermal expansion", 1993

[4] Kajanto, I, Frikrg, AT, Silicon-based fibre-optic temperature sensor, Journal of Physics E. Scientific Instruments, 1988