

Criterio de identificación de ecos ultrasónicos en la estimación de temperatura de manera no invasiva utilizando la Dimensión Fractal

Vázquez-Hernández, Mónica y Acevedo-Contla Pedro
 Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México

monica.vazquez@iimas.unam.mx, pedro.acevedo@iimas.unam.mx



Resumen

En este trabajo se estima la dimensión fractal (FD) directamente en el dominio del tiempo. Requeríamos establecer un criterio que permitiera identificar el número de copias escaladas (ecos) contenidas dentro de un tren de pulsos ultrasónicos, diferenciando las oscilaciones asociadas a ruido eléctrico de los ecos. Así como encontrar dos o más trenes de ecos ultrasónicos idénticos o similares donde la única diferencia entre ellos sea que uno está desplazado en el tiempo respecto a otro (referencia) debido a un incremento en la temperatura en el medio de propagación.

Introducción

Malderlbrot y Van Ness extendieron el concepto de análisis fractal a las series de tiempo. Desde entonces el análisis fractal se ha convertido en una herramienta invaluable en el estudio del comportamiento de series de tiempo. La FD ha sido frecuentemente usada en el análisis de señales biomédicas que exhiben comportamiento no estacionario y características transitorias. La FD es una dimensión no entera que describe el grado de irregularidad de una señal en el tiempo.

Objetivo

Establecer un criterio para la identificación de ecos ultrasónicos, para posteriormente estimar los retardos de tiempo usando un método adicional como wavelets.[4]

Metodología

Las señales ultrasónicas utilizadas en este trabajo son señales backscattering simuladas numéricamente, que corresponden a una frecuencia de resonancia (f_0) de 1MHz y ancho de banda (B) de 300 kHz, que viajan en agua y encuentran tres obstáculos en su trayectoria.

$$P(t) = -te^{-4B^2t^2} \sin(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

La señal eco ultrasónica de backscattering recibida $r(t)$, se define como

$$r(t) = \sum_{k=1}^N P(t - (2x_k)/c) \quad (2)$$

Donde x_k es la ubicación del cambio de medio (centro dispersor k), c es la velocidad del ultrasonido en el medio. [1]

La velocidad de propagación se simuló a diferentes temperaturas utilizando para ello la ecuación de Bilaniuk and Wong [2-3]

$$c = 1.40238742 \times 10^3 + 5.03821344 T - 5.80539349 \times 10^{-2} T^2 + 3.32000870 \times 10^{-4} T^3 - 1.44537900 \times 10^{-6} T^4 + 2.99402365 \times 10^{-9} T^5$$

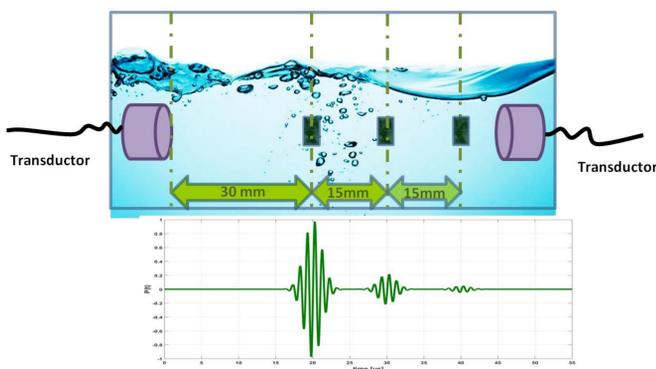


Figura 1. Diagrama esquemático de la simulación numérica

Analizando los resultados encontramos que existe un factor lineal entre la relación señal a ruido y la dimensión fractal. Es decir entre mayor sea la amplitud del ruido contenido en la señal, mayor será la dimensión fractal.

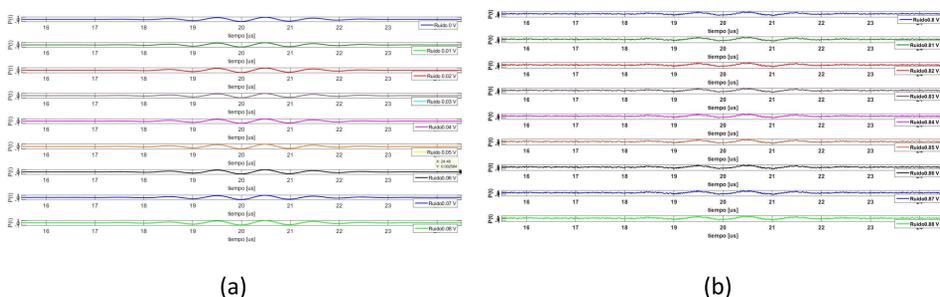


Figura 2. Ecos ultrasónicos analizados con ruido (a) nivel bajo y (b) niveles altos

Resultados

Se estableció como patrón, el primer eco de la señal a 25°C, se calculó la FD de dicha señal utilizando los algoritmos Katz y de Higuchi [5], ver tabla 1. Después se detectaron los segmentos de la señal que tenían la misma FD y de esta forma se pudieron encontrar los siguientes ecos analizando la señal completa.

Tabla1. Dimensión Fractal

Amplitud máxima del Ruido [V]	Amplitud máxima del Eco	Dimensión Fractal Katz	Dimensión Fractal Higuchi
0	1	1.5672	1.5295
0.01	1	1.6064	1.5387
0.02	1	1.6589	1.5501
0.03	1	1.7136	1.5648
0.04	1	1.7763	1.5759
0.05	1	1.8169	1.5869
0.06	1	1.8694	1.5973
0.07	1	1.95	1.6075
0.08	1	1.97	1.6190

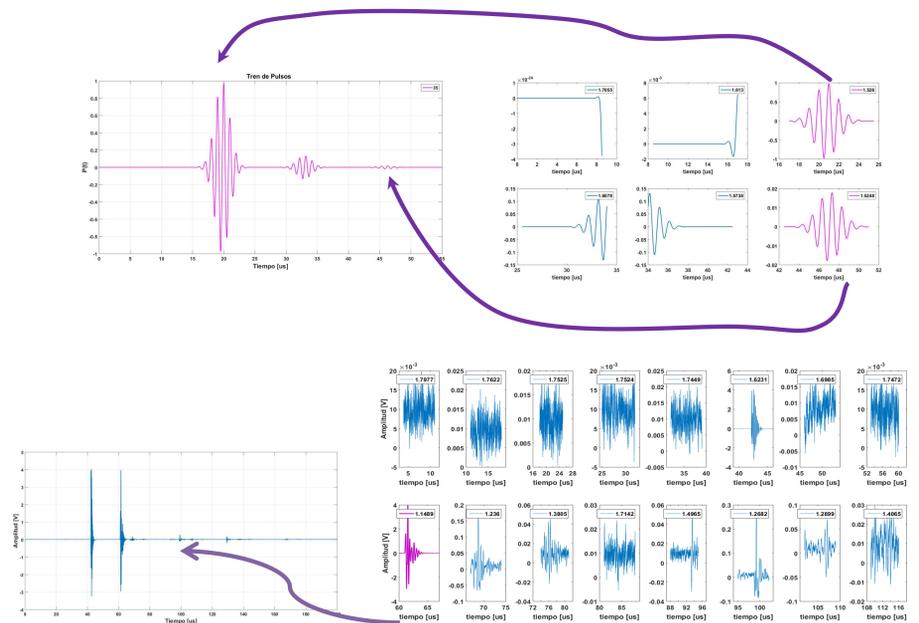


Figura 3. Detección de ecos en señales simuladas y señales reales.

El cálculo de la FD utilizando el algoritmo de Higuchi para el eco sin ruido es de 1.52, el valor de la FD se incrementa hasta de 1.61 con 8% de ruido y hasta 1.9065 con ruido del 88% y longitud de retardo de 100 muestras adquiridas a una frecuencia de muestreo de 100 MHz .

Conclusiones

El algoritmo de Higuchi probó ser más robusto al ruido, aunque su óptimo desempeño depende de elegir un número de muestras adecuado (nuevas series de tiempo).

De los resultados mostrados en la tabla 1 se puede deducir que existe un factor lineal entre la relación señal a ruido y la dimensión fractal. Es decir entre mayor sea la amplitud del ruido contenido en la señal mayor la dimensión fractal.

La estimación de temperatura en tejido suave de manera no invasiva es una de las potenciales aplicaciones de la identificación y estimación de retardos de tiempo entre de ecos de señales ultrasónicas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la DGAPA proyecto PAPIIT IN-106016

Referencias

1. P Mohana Shankar. A model for ultrasonic scattering from tissues based on the K distribution. Phys. Med. Bid. 40 (1995) 1633-1649.
2. N. Bilaniuk and Wong. Speed of sound in pure water as a function of temperature, J. Acoust. Soc. Am. 93(3) pp 1609-1612,
3. N. Bilaniuk and G. S. K. Wong (1996), Erratum: Speed of sound in pure water as a function of temperature, J. Acoust. Soc. Am. 99(5), p 3257.
4. Pedro Acevedo-Contla and Mónica Vázquez-Hernández. Detection of delay times in the estimation of temperature changes in water using the Wavelet transform. 14th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE), Mexico, City, Mexico. October 25-27, 2017. ISBN: 978-1-5386-3405-9
5. Jesús Rubén Azor Montoya. Segunda edición del curso internacional : "Competencias emprendedoras en las Ingenierías". Trabajando con Fractales. Universidad de Mendoza. Facultad de Ingeniería. <http://www.um.edu.ar/catedras/ANASEN/document/fractal/>. 7 de Mayo 2018