

ALGORITMO PARA LA DETECCIÓN DE ECOS ULTRASONICOS MEDIANTE TRANSFORMADAS TIEMPO-FRECUENCIA

REFERENCIA PACK: 43.35.-c

Miguel Ángel Rodríguez Hernández
ETSI Telecomunicación
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera s/n
46022.- Valencia
E-mail: marodrig@upvnet.upv.es

ABSTRACT

This work presents a general algorithm for detection of ultrasonic echoes in non-destructive testing. The algorithm allows the detection of ultrasonic echoes when high power grain noise is present. The method combines two signal processing techniques: time-frequency analysis and two-dimensional filters. The coefficients of the filters are obtained from the time-frequency transform and echo. After filtering a post-processing is done in order to realise the final detection.

1.INTRODUCCION

En las evaluaciones no destructivas de materiales, una técnica muy utilizada son los ultrasonidos. Mediante la emisión recepción de estas ondas es posible la detección de defectos en los materiales. El procedimiento consiste en la emisión de un pulso ultrasónico de manera que si existe defecto (discontinuidad en la impedancia acústica) se recibe un eco debido a la reflexión, mientras que si la pieza inspeccionada no contiene defecto (la impedancia acústica se mantiene constante) no se produce dicha reflexión. En algunas ocasiones una simple inspección ocular directa de la señal ultrasónica recibida permite determinar si el material inspeccionado se haya en perfecto estado o no. Sin embargo en otras muchas ocasiones se hace necesario un procesado previo de la señal ultrasónica debido a que el eco buscado suele aparecer acompañado de altos niveles de ruido.

La causa del ruido son las reflexiones del pulso ultrasónico emitido en los granos del material. Estas reflexiones producen un ruido coherente con el eco buscado y en ocasiones de mayor amplitud de modo que la visión directa del eco se hace muy dificultosa. Además por el hecho de tener espectros coincidentes el eco ultrasónico y el ruido de grano la aplicación directa de filtros no genera prácticamente ninguna mejora.

Una técnica que ha sido muy utilizada para la detección de ecos ultrasónicos es la denominada Split-Spectrum [KAR87, KAR88, LI89]. El Split-Spectrum consiste en dividir la señal en distintas bandas, mediante un banco de filtros, para efectuar posteriormente un post-procesado no lineal. El post-procesado se basa en la idea de que el espectro del pulso ultrasónico buscado es regular mientras que el espectro del ruido en un instante dado va a ser irregular. Cabe incidir en este punto que el espectro del ruido va variando con el tiempo al igual que varia el ruido y aunque el espectro medio del ruido de grano sea coincidente con el espectro del eco ultrasónico, esto solamente ocurre para el espectro medio y no para el espectro instantáneo.

El algoritmo Split-Spectrum descrito anteriormente se basa en una descomposición frecuencial de la señal ultrasónica a analizar para posteriormente realizar un post-procesado que tiene en cuenta la evolución temporal de cada banda de frecuencias a lo largo del tiempo. Con esta misma filosofía existen en tratamiento de señales unas técnicas denominadas técnicas tiempo-frecuencia que realizan una representación conjunta de la señal en tiempo y en frecuencia. Basándose en estas técnicas tiempo-frecuencia y en un filtrado bidimensional se propone en este



artículo un algoritmo para la detección de ecos ultrasónicos. El algoritmo es general lo que permite su aplicación con distintos tipos de transformadas tiempo frecuencia y distintos tipos de filtros, todo ello en función de las condiciones del eco buscado y del ruido existente.

El esquema de este artículo es el siguiente: en la sección 2 se presentan las principales transformadas tiempo-frecuencia. En la sección 3 se propone el algoritmo genérico de detección de ecos ultrasónicos sobre ruido de grano utilizando transformadas tiempo frecuencia y un filtro bidimensional. En la sección 4 se expone la evaluación del algoritmo y en la sección 5 se finaliza con las conclusiones y las futuras líneas de trabajo.

2. TRANSFORMADAS TIEMPO-FRECUENCIA

El análisis espectral clásico (transformada de Fourier) permite la descomposición de una señal en sus componentes frecuenciales individuales estableciendo la intensidad relativa de cada componente. Sin embargo no aporta información sobre la aparición en el tiempo de cada componente, ni de su intensidad instantánea e incluso puede enmascarar componentes que aparecen en un determinado instante pero que son de muy corta duración. Una mejora del análisis espectral de señales no estacionarias consiste en la realización de sucesivos análisis espectrales localizados, de modo que para cada instante de tiempo se obtiene su información espectral y para cada frecuencia se obtiene su evolución temporal. Este tipo de análisis localizado se realiza mediante las transformadas tiempo-frecuencia.

Se puede definir la distribución tiempo-frecuencia de una señal como una representación bidimensional de la señal, de modo que cada punto de esa representación es función de una frecuencia y de un instante de tiempo. Así se tiene de una manera conjunta, para cada instante de tiempo la información espectral y para cada frecuencia la evolución temporal.

Existen numerosos tipos de transformadas tiempo-frecuencia [COH95, HLA92] que pueden ser utilizadas para la representación bidimensional de señales unidimensionales en el tiempo. Algunas de las más utilizadas se presentan a continuación: el espectrograma, la transformada Wigner-Ville, la transformada Choi-Williams, la transformada Born-Jordan y la clase general de Cohen.

2.1. Transformada Localizada de Fourier

La transformada localizada de Fourier (STFT, Short Time Fourier Transform) [OPP89, POR81] es una transformada tiempo-frecuencia lineal con resolución temporal y frecuencial constante fijada por la ventana utilizada. Su expresión es:

$$STFT_x(t, f) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot g^*(t - \tau) \cdot e^{-j2\pi f\tau} \cdot d\tau$$

siendo:

$x(t)$: la señal a analizar
 $g(t)$: la ventana de análisis

A partir de esta transformada se genera el espectrograma como el módulo de la transformada localizada de Fourier.

2.2. Transformada Wigner-Ville

La transformada Wigner de una señal es [CLA80] :



$$W_x(t, f) = \frac{1}{2p} \int_{-\infty}^{\infty} x\left(t + \frac{t}{2}\right) \cdot x^*\left(t - \frac{t}{2}\right) \cdot e^{-j2pft} \cdot dt$$

Normalmente se utiliza la señal analítica de $x(t)$ y es en este caso cuando se habla de transformada Wigner-Ville [BOA87]

2.3. Transformada Choi Williams

La transformada Choi-Williams de una señal tiene la siguiente expresión [CHO89]:

$$CW_x(t, f) = \frac{1}{4p^{3/2}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{t^2/s}} x\left(t + \frac{t}{2}\right) \cdot x^*\left(t - \frac{t}{2}\right) \cdot e^{-\left[\frac{(u-t)^2}{4t^2/s} + j2pft\right]} \cdot du \cdot dt$$

Esta transformada es un caso de transformada exponencial que permite reducir los términos de intermodulación que aparecen en todas la transformada no lineales.

2.4. Transformada Born-Jordan

La transformada Born-Jordan de una señal tiene la siguiente expresión [COH95]:

$$BJ_x(t, f) = \frac{1}{2p} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{|t|} e^{-j2pft} \int_{t-|t|/2}^{t+|t|/2} \frac{1}{\sqrt{t^2/s}} x\left(t + \frac{t}{2}\right) \cdot x^*\left(t - \frac{t}{2}\right) \cdot du \cdot dt$$

Esta transformada permite eliminar totalmente los términos de interferencia entre dos frecuencias concretas.

2.5. Clase general de Cohen

Cohen demostró [COH66] que todas las transformadas tiempo-frecuencia se pueden englobar en la “clase general” que presenta la siguiente expresión:

$$CGC_x(t, f) = \frac{1}{4p^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x\left(t + \frac{t}{2}\right) \cdot x^*\left(t - \frac{t}{2}\right) \cdot \mathbf{f}(\mathbf{q}, \mathbf{t}) \cdot e^{-jq\mathbf{t} - j2pf + jq\mathbf{u}} \cdot du \cdot dt \cdot d\mathbf{q}$$

La función $\mathbf{f}(\mathbf{q}, \mathbf{t})$ se denomina kernel (núcleo) y determina el tipo de transformada tiempo-frecuencia. Así por ejemplo en el caso de la transformada Wigner el kernel es una constante de valor la unidad.

3. ALGORITMO DE DETECCIÓN

El algoritmo de detección de ecos ultrasónicos se basa en una generalización de la filosofía del algoritmo Split-Spectrum: representación simultánea en tiempo y frecuencia del registro ultrasónico y post-procesado aplicando



los conocimientos que se tienen de la señal buscada. Para ello el esquema que se sigue es el propuesto en la Figura 1:

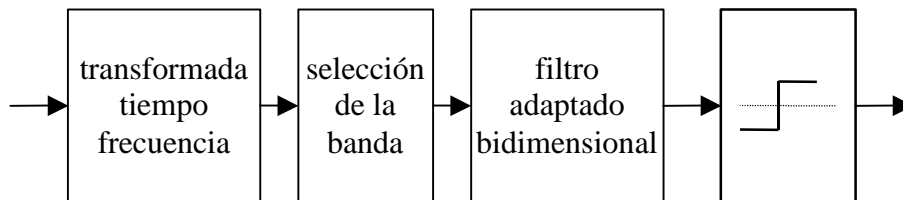


Figura 1. Algoritmo propuesto

En la Figura 1 se muestra el algoritmo propuesto que es válido para cualquier transformada tiempo-frecuencia. Al bloque de transformada tiempo-frecuencia entra la señal ultrasónica temporal a analizar tal y como se obtendría de cualquier sensor ultrasónico (tras ser muestreada), y a su salida se tiene una representación bidimensional conjunta en tiempo y en frecuencia de la señal de entrada.

En el siguiente paso se comienzan a aplicar los conocimientos que se tienen sobre el eco buscado y para ello se selecciona la banda en la cual se debe de encontrar el eco ultrasónico. Este paso, desde un punto de vista meramente teórico, podría ser obviado ya que en el siguiente bloque también eliminaría las bandas no seleccionadas en éste. Sin embargo a fin de evitar carga computacional conviene realizarlo como un bloque independiente previo.

En el bloque de filtro adaptado es realmente donde se aplica el conocimiento que se tiene de la señal buscada. Para ello se realiza un filtrado bidimensional del registro ultrasónico donde la función respuesta al impulso del filtro viene determinada por la transformada tiempo-frecuencia del eco ultrasónico buscado. De esta manera se aplica toda la información del eco buscado al registro analizado. La salida de este bloque es una señal unidimensional que se pasa por un detector de umbral que decide si existe o no existe eco.

El detector de umbral compara cada valor del registro unidimensional resultante del bloque anterior con un umbral de manera que si algún punto sobrepasa dicho umbral se decide que existe eco y lo contrario si no se supera. Mediante este umbral se puede fijar la probabilidad de falsa alarma en función de la potencia de ruido recibida y se podría fijar también la probabilidad de detección en el caso de conocer la relación señal a ruido. De esta manera el algoritmo propuesto además de su versatilidad para ser utilizado con diferentes transformadas tiempo-frecuencia permite un sencillo control de la probabilidad de falsa alarma.

4 EVALUACION DEL ALGORITMO

Con el fin de evaluar el esquema de la Figura 1 se están realizando pruebas de prestaciones para distintos tipos de transformadas tiempo-frecuencia, distintos tipos de ruido, distintos tipos de pulsos ultrasónicos, distintos tipos de filtro bidimensional e incluso distintas estrategias en el decisor tras el paso por el detector de umbral.

El eco ultrasónico se ha simulado mediante pulsos gaussianos modulados de la forma

$$p(t) = A \cdot e^{-at^2/2} \cdot \cos(\omega_0 t)$$

de modo que se puede variar tanto su ancho de banda como su frecuencia central

Los tipos de ruido con los que se están realizando las pruebas son gaussiano y no gaussiano. Dentro de los numerosos modelos de ruido no gaussiano se ha tomado el ruido tipo k por su amplia aplicación en el modelado de ruido granular ultrasónico.



Un aspecto importante es el filtro bidimensional que debe depender tanto de la transformada tiempo-frecuencia concreta utilizada como del eco buscado. Un buen punto de partida (el óptimo en el caso de ruido gaussiano) es tomar como respuesta al impulso del filtro bidimensional el valor teórico de la transformada tiempo-frecuencia del eco buscado. Sin embargo esto no siempre es posible, ya que o bien no se conoce exactamente la forma del eco y o bien se conoce pero su duración puede ser excesiva, lo que implicaría un alto coste computacional. Por lo anterior en muchas ocasiones es necesario buscar una aproximación de la respuesta al impulso del filtro.

El decisor final puede consistir en un sencillo detector de umbral de manera que cuando se sobrepase el umbral en un determinado instante decida que existe eco, o se le puede añadir cierta inteligencia a ese detector de manera que tenga en cuenta la duración del eco buscado de manera que antes de decidir que existe eco se exija que sobrepase el umbral un tiempo proporcional a la duración del eco

5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS

En este trabajo se propone un algoritmo genérico de detección de ecos ultrasónicos que utiliza la representación tiempo-frecuencia de señales. Este detector es muy flexible admite diferentes tipos de transformadas tiempo-frecuencia y distintos tipos de filtros bidimensionales. Esta flexibilidad sin embargo no genera un alto número de parámetros a ajustar cuando se utiliza. Únicamente es necesario decidir el tipo de transformada tiempo-frecuencia a utilizar, la respuesta al impulso del filtro que se obtiene a partir de la aproximación de la transformación tiempo-frecuencia del eco buscado y por último hay que ajustar el nivel de un umbral en función de las probabilidades de detección y de falsa alarma deseadas.

En cuanto a futuras líneas de trabajo se está realizando en estos momentos la evaluación de las prestaciones que presenta este detector en función de los distintos parámetros que han sido mencionados en la sección 4 y de distintos tipos de señales y de ruidos. En la presentación de este trabajo se expondrán algunos de los resultados obtenidos en este proceso de evaluación.

REFERENCIAS

- [BOA87] B. Boashash y P.J. Black, "An efficient Real-Time Implementation of the Wigner-Ville Distribution", IEEE Trans.on Acoustic, Speech and Signal Processing, pag. 1611-1618, Noviembre 1987.
- [CHO89] H. I . Cho y W. J. Williams , "Improved time-frequency representation of multicomponent signals using exponential kernels", IEEE Trans on Acoustic, Speech and Signal Processing, vol 37, pag. 862-871, 1989.
- [CLA80] T.A.C.M. Claassen y W.F.G. Mecklenbräuker, "The Wigner Distribution - A Tool for Time-Frequency Signal Analysis.", Philips J. Res., Vol. 35, pag. 217-250, 276-300 y 372-389, 1980.
- [COH66] L. Cohen, "Generalized phase-space distribution functions", Jour. Math. Phys., vol 7, pag. 781-786, 1966.
- [COH95] L. Cohen, "Time-Frequency Analysis", Prentice Hall Signal Processing Series, 1995.
- [HLA92] F. Hlawatsch y G. Boudreaux-Bartels, "Linear and Quadratic Time-Frequency Signal Representations", IEEE Signal Processing Magazine, pag. 21-67, Abril 1992.
- [KAR87] P. Karpur, P.M. Shankar, J.L. Rose y V.L. Newhouse, "Split spectrum processing: determination of the available bandwidth for spectral splitting", Ultrasonics, Vol 26 pag. 204-208, Julio 1988.
- [KAR88] P. Karpur, P.M. Shankar, J.L. Rose y V.L. Newhouse, "Split spectrum processing: optimizing the processing parameters using minimization", Ultrasonics, Vol 25 pag. 204-209, Julio 1987.
- [LI89] X. Li, N.M. Bilgutay y J. Saniee, "Frequency Diverse Statistic Filtering for Clutter Supresion", IEEE Proceedings ICASSP, pag. 1349-1352, 1989.
- [OPP89] A.V. Oppenheim y R.W. Shafer, "Discrete-Time Signal Processing", Prentice Hall, 1989.
- [POR81] M.R. Portnoff, "Short-Time Fourier Analysis of Sampled Speech", IEEE Trans.on Acoustic, Speech and Signal Processing, pag.364-373, Junio 1981.

