

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Departament d'Enginyeria Electrònica

**CONTRIBUCIÓN A LA MEJORA DE
RESOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE
OBTENCIÓN DE IMÁGENES POR
ULTRASONIDOS**

Autor: Jordi Salazar Soler
Director: Miguel J. García Hernández

Diciembre de 1997

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1 Introducción.

En la actualidad cada vez es más evidente el interés que se tiene por desarrollar y utilizar sistemas que permitan obtener información de forma no invasiva. La utilización de los ultrasonidos en diagnosis médica como pueda ser la ecografía pulsada o la tomografía axial por ultrasonidos son un claro ejemplo. También en el mundo industrial se encuentran aplicaciones como la medida de la velocidad de flujos en gases, medidas de posición, en robótica, o como pueda ser la detección y medida de grietas en materiales a partir de ensayos no destructivos, todas ellas basadas en la generación, propagación y detección de ondas acústicas pulsadas. Aplicaciones más recientes incluirían la determinación de propiedades viscoelásticas de masas de pan a través de medidas de velocidad de propagación y atenuación del pulso acústico las atraviesa.

Una imagen de ultrasonidos representa las propiedades mecánicas (densidad y elasticidad) del objeto, órgano o tejido que se está iluminando. En una imagen médica de

ultrasonidos se puede reconocer inmediatamente estructuras anatómicas ya que el contorno de órganos y la interfase fluido-tejido son de fácil percepción. Esta información mecánica complementa los resultados proporcionados por otras técnicas de imagen, como las basadas en los rayos X o isótopos radioactivos, las cuales muestran absorción de los mismos.

En el campo de la medicina, los ultrasonidos se presentan también como una técnica de diagnóstico alternativa y complementaria de otras, con el valor añadido de que no se utilizan radiaciones ionizantes y en consecuencia, permiten realizar exploraciones clínicas con escaso riesgo para el paciente. Por tanto, aparecen como una de las técnicas de diagnóstico más seguras e ideal para ser utilizada en obstetricia, ginecología, cardiología, exploración abdominal, oftalmología y el examen de tejidos blandos. Si bien en algunos casos tanto la tomografía computerizada como los ultrasonidos se pueden utilizar para establecer un diagnóstico, las exploraciones por ultrasonidos son típicamente más rápidas y baratas.

El uso de energía acústica para presentar una información en forma de imagen no es nueva. Como consecuencia de las investigaciones llevadas a cabo por P. Langevin, durante la Primera Guerra Mundial ya se desarrollaron dispositivos acústicos para poder combatir el ataque de submarinos. La técnica que propuso era la del *echoranging*, similar a la que utilizan los murciélagos y los delfines. Pero fue Sokolov quien primero resolvió el problema de grabar una distribución de intensidad de campo acústico, imagen acústica, cuando demostró en 1929 que la superficie de un líquido podía ser deformada dependiendo de la distribución de la intensidad de campo ultrasónico que incidía sobre ella, pudiéndose visualizar dicha deformación al reflejar luz sobre la superficie.

Actualmente, los sistemas basados en ultrasonidos están ya bastante introducidos en el mercado, aunque las prestaciones que presentan en determinadas aplicaciones no son del todo las deseadas. Es el caso, por ejemplo, de la baja eficiencia de radiación que se obtiene en agua y aire, o de la pobre resolución obtenida en imágenes médicas si se compara con la que se obtendría si se utilizaran los rayos X.

La calidad de las imágenes de ultrasonidos depende, además de la relación señal a ruido presente, de la resolución axial del transductor. Para poder distinguir dos cuerpos que estén situados muy cerca uno tras el otro, es necesario que el transductor sea capaz de emitir pulsos de muy corta duración. Así, como ejemplo de principio, dos objetos separados una distancia de 0,75 mm pueden ser detectados con un pulso de ultrasonidos de 1 μ s de duración (3 ciclos a 3,5 MHz). Una disminución en la duración del pulso emitido comporta un incremento de la resolución axial. Los métodos existentes que tratan de reducir la respuesta transitoria del transductor son diversos, pero ninguno de ellos aporta de momento una solución satisfactoria a dicho problema. Por lo tanto, se puede concluir, que esta línea de investigación sigue todavía abierta.

1.2 Motivación, objetivos y contribuciones.

El procedimiento básico de medida utilizado consiste en la emisión y recepción de un pulso de ultrasonidos. De la atenuación sufrida por el mismo y del tiempo de vuelo se pueden extraer características mecánicas del medio, del objeto que se está explorando y de la distancia a la cual se encuentra. No todos los sistemas de medida por ultrasonidos son sofisticados, siendo en muchos casos deseable una complejidad y coste no elevados. La resolución de la mayoría de los sistemas en ciertos casos puede ser mejorada sin que ello conlleve un coste adicional importante.

El objetivo principal de esta Tesis se centra en la mejora de la resolución de los sistemas de medida por ultrasonidos de bajo coste. Se propone como excitación del transductor el uso de formas de onda simples cuyos parámetros básicos han sido obtenidos a partir del análisis de las características presentadas por uno de los pulsos acústicos emitido y recibido por el propio transductor. Esta técnica se muestra particularmente eficaz al aplicarla a transductores muy poco amortiguados, con un factor Q alto. Particularmente es muy adecuada para utilizarla con transductores de aire, cuyos pulsos presentan unas colas de emisión de duración excesiva.

Una vez introducido el principio de funcionamiento en que se basa la técnica de cancelación de pulsos, se ha desarrollado la teoría necesaria para poder determinar los parámetros básicos del pulso de cancelación, tanto en el dominio temporal como en el frecuencial. Previamente se han justificado los requisitos que debe cumplir la envolvente del pulso que se desea cancelar parte de él.

Se ha desarrollado un procedimiento de simulación basado en el software HSPICE para poder evaluar a priori la mejora introducida por la técnica de cancelación de pulsos. De este modo se evita así el tener que realizar medidas experimentales para determinar las características de la excitación necesaria. Los resultados obtenidos con simulación fueron contrastados con medidas experimentales viendo que existía una estrecha correlación entre ellos, tanto en lo que hace referencia a los valores numéricos obtenidos en los parámetros básicos del pulso de cancelación como en la forma del pulso acústico resultante de la cancelación.

Como consecuencia de la existencia de un conjunto de valores de parámetros básicos del pulso de cancelación se propone la aplicación de factores de mérito definidos a partir de la calidad deseada en la señal acústica resultante de la cancelación. Normalmente, esta calidad vendrá determinada en función de la aplicación en particular que se esté considerando.

Se hace también un estudio de la excitación específica que requiere uno de los transductores utilizados en este trabajo. El objetivo de este estudio será la comparación entre los resultados apartados por la técnica de cancelación de pulsos y por la técnica de excitación basada en la inversa de la respuesta impulsional del transductor. Los pulsos acústicos emitidos con esta última técnica son analizados atendiendo a criterios energéticos. Asimismo, se ha sistematizado uno de los métodos de determinación de la respuesta impulsional de un sistema que se encuentran en la literatura.

Se ha realizado un estudio sobre las mejoras introducidas en diversos sistemas de medida por ultrasonidos cuando a ellas se aplica la técnica de cancelación de pulsos. El

resultado es que se mejora notablemente la resolución de la medida y las prestaciones de los equipos de medida sin que ello signifique un coste adicional para el equipo.

En resumen, como contribución fundamental de este trabajo de Tesis se ha formalizado la técnica de cancelación de pulsos aportando la teoría necesaria para la obtención de los parámetros básicos característicos del segundo pulso utilizado para cancelar parte de la cola de emisión perteneciente al pulso fundamental de excitación.

1.3 Desarrollo de la Tesis.

En el segundo capítulo se revisan las técnicas básicas que se emplean usualmente para reducir la duración de los transitorios de emisión de un transductor de ultrasonidos. Se pone especial énfasis en la técnica del doble pulso en emisión, de la cual se aporta la teoría que permite la determinación de los parámetros básicos que debe tener el pulso complementario de cancelación.

El tercer capítulo se dedica por entero a la técnica del doble pulso señalando cuales son sus ventajas e inconvenientes. Primero se hace referencia a los modelos eléctricos utilizados para los transductores de ultrasonidos en las simulaciones que se realicen. Seguidamente se describe el proceso seguido que va a permitir poder simular el comportamiento de la técnica del doble pulso en distintos tipos de transductores. Como consecuencia, se llega a predecir el comportamiento o eficiencia de la técnica del doble pulso en una serie de situaciones particulares. Para finalizar, se reflexiona sobre la necesidad de disponer de criterios de elección para las distintas parejas de parámetros básicos que se van a determinar sobre el segundo pulso emitido. Ello va a dar pie a introducir factores de mérito objetivos definidos a partir de las características deseadas en el pulso que se va a practicar la cancelación de parte de él.

El cuarto capítulo se centra en la técnica del prefiltrado. En él se presenta una nueva manera de determinar uno de los parámetros de la respuesta impulsional de un

sistema. Posteriormente se caracteriza el transductor de ultrasonidos utilizado mediante su respuesta en frecuencia y se obtiene la señal eléctrica de excitación que debe ser aplicada al transductor para conseguir en recepción una señal de muy corta duración, idealmente una delta. Asimismo, se estudia la dependencia espacial de la excitación específica y se realiza una comparación con la técnica de cancelación de pulsos.

En el quinto capítulo se estudian varios tipos distintos de medidas realizadas por ultrasonidos. Se analiza como el hecho de aplicar la técnica de cancelación de pulsos tratada en esta Tesis permite mejorar en general todas las prestaciones del sistema de medida sin que el sistema deje de ser de bajo coste.

El sexto capítulo está dedicado a las conclusiones más importantes alcanzadas en esta Tesis.

Finalmente se incluyen tres apéndices. En el apéndice A se describe el método seguido en la caracterización de transductores mediante un circuito eléctrico resonante RLC. Los circuitos eléctricos utilizados para la excitación de los transductores utilizados aparecen descritos en el apéndice B y el entorno de medida utilizado así como una breve descripción de los equipos de medida empleados en el apéndice C.

1.4 Publicaciones relacionadas con la Tesis.

- J. Salazar, A. Turó, G. Espinosa, M. Garcia, "A theoretical approach for short pulse generation using the double-pulse excitation," in *Proc. IEEE Instrum. Meas. Tech. Conf.*, Brussels, vol. 1, pp. 394-398, June 1996.
- G. Espinosa, C. Cantalejo, A. Turó, J. Salazar, M. Garcia, "Electrical power meter for ultrasonic transducer," in *Proc. IEEE Instrum. Meas. Tech. Conf.*, Brussels, vol. 1, pp. 411-414, June 1996.

- A. Turó, J. Salazar, G. Espinosa, M. J. García, “Sensor Inteligente para la detección de profundidad en un medio líquido”, *Actas del Seminario Anual de Automática y Electrónica Industrial (SAAEI'96)*, Zaragoza, pp. 80-83, vol. 1, Sept. 1996.
- A. Turó, J. Salazar, G. Espinosa, X. Martínez, M. J. García, “Gestión remota de un sistema de sensores inteligentes para la inspección automática del fondo de una canalización de agua”, *Actas del Seminario Anual de Automática y Electrónica Industrial (SAAEI'96)*, Zaragoza, pp.187-190, vol. 1, Sept. 1996.
- C. Yañez, “Implementación de un entorno de captura y representación de señales de ultrasonidos”, Proyecto Final de Carrera, ETSETB, Director del Proyecto: J. Salazar, Oct. 1996.
- X. Tormo, “Caracterización de un transductor de ultrasonidos mediante la respuesta impulsional y técnicas de filtrado para la mejora de resolución en imágenes de ultrasonidos”, Proyecto Final de Carrera, UPC, ETSETB, Director del Proyecto: J. Salazar, Junio 1997.
- J. Salazar, A. Turó, G. Espinosa, M. J. García, “Factor de mérito como estimador de la excitación óptima pulsada de transductores de ultrasonidos”, *Actas del XII Simposium Nacional de la URSI (URSI'97)*, Bilbao, pp. 521-524, vol. 2, Sept. 1997.
- X. Tormo, J. Salazar, A. Turó, G. Espinosa, M. J. García, “Caracterización de un transductor de ultrasonidos mediante la respuesta impulsional y estudio de su dependencia espacial”, *Actas del Seminario Anual de Automática y Electrónica Industrial (SAAEI'97)*, Valencia, pp. 431-435, vol. 2, Sept. 1997.
- A. Turó, J. Salazar, G. Espinosa, M. J. García, “Modelo eléctrico de transductor piezoeléctrico para aplicaciones de diatermia”, *Actas del XII Simposium Nacional de la URSI (URSI'97)*, Bilbao, pp.525-528, vol. 2, Sept. 1997.