

Diseño y Construcción de un Fonoenterógrafo Digital

Jesús Enrique Chong Quero, PhD

ITESM – CEM, Atizapán de Zaragoza, Estado de México, México, jchong@itesm.mx

Abstract

En el presente trabajo se muestra el desarrollo de un sistema electrónico para la detección y almacenamiento en computadora de los sonidos abdominales. Los sonidos abdominales son registrados por 4 transductores acoplados por aire, cada uno de ellos situado en cada uno de los cuadrantes de la región abdominal del paciente. La débil señal audible es amplificada y convertida a una señal eléctrica, la cual es procesada, filtrada, compactada y finalmente almacenada en una computadora personal. Posteriormente las señales pueden ser visualizadas por un programa que permite segmentar las señales y analizar el espectro de frecuencia de las mismas.

El estudio de los sonidos abdominales encuentra su campo de acción en diversas aplicaciones, algunas de ellas son: detección de la motilidad intestinal posterior a una cirugía, detección de oclusiones intestinales, evaluar los cambios en la motilidad intestinal por la aplicación de un fármaco, detección de enfermedades gastrointestinales a través del reconocimiento de patrones presentes en la señal almacenada, entre otras. Principalmente, el método de evaluación propuesto presenta la gran ventaja de ser un método no invasivo.

Keywords

Sonidos abdominales, enfermedades gastrointestinales.

1. Introducción

El cuerpo humano posee una compleja red de comunicación que enlaza eficientemente a todos sus sistemas internos, así como también envía señales al exterior para manifestar el adecuado o inadecuado funcionamiento de los sistemas, o problemas que se presenten en los mismos. Las señales que el cuerpo envía son de varios tipos y se pueden detectar por el tacto, el olfato, la vista, el oído e incluso por el gusto. En algunas ocasiones estas señales son difíciles de detectar o cuantificar en un examen general, y tiene que utilizarse equipo diseñado especialmente para éste propósito. Los ruidos intestinales, así como todas las señales provenientes del organismo, son portadores de información sobre el estado en que se encuentra el cuerpo humano. Esta información es muy importante ya que puede ser utilizada en el diagnóstico y prevención de enfermedades intestinales.

El estudio de los sonidos intestinales, ha sido un tema de interés científico desde los años 70s (Politzer et al, 1976; Watson and Knox, 1967); desde entonces se ha buscado determinar la correlación que existe entre esta señal y los posibles factores que puedan afectarla. Recientemente, la fonoenterografía digital ha sido un método empleado para tratar de caracterizar la información de los sonidos intestinales (Sugrue and Redfern, 1994; Craine et al, 1999; Craine et al, 2002) ya que presenta la ventaja de ser un método no invasivo y que puede proveer información objetiva y cuantitativa.

Las principales características a considerar para el diseño de un fonoenterógrafo digital son: Los sonidos intestinales son señales de muy baja intensidad que presentan un ancho de banda que va de 100 Hz a 1200 Hz, aunque la mayor parte de la energía de la señal prevalece en el espectro comprendido desde los 150

Hz hasta los 500 Hz (Chong et al, 1999). El registro de los sonidos intestinales requiere de un ambiente de muy bajo ruido para que la señal no se vea afectada. Si se desea hacer un registro de larga duración, se debe emplear algún método de compactación de la señal.

2. Desarrollo

Una vez planteadas las anteriores características y dificultades, se definió el sistema a desarrollar: un sistema que permita la captura, almacenamiento y el análisis de los sonidos intestinales mediante la captura de ocho canales de audio, siete destinados a la captura de sonidos intestinales sobre diversas posiciones del abdomen y un canal dedicado a la captura del sonido ambiental para la cancelación de esta sobre los 7 anteriores. Este sistema deberá ser capaz de almacenar los siete canales de sonidos intestinales con la ayuda de un algoritmo de compresión de datos y el canal de sonido ambiental permitirá suprimir el ruido ambiental que se ha sumado a la señal adquirida de los sonidos intestinales.

2.1 El circuito electrónico

Para detectar la señal se requiere de dos dispositivos: un transductor (T), que transforma la señal de audio proveniente del aparato digestivo en una señal eléctrica y, un acoplador (C), que permite fijar dicho transductor sobre el abdomen del paciente.

El transductor empleado fue un micrófono electret del tipo corbata, acoplado por aire, marca Philips, modelo SBC-ME600. La elección de este micrófono se debió a su alta sensibilidad (-65 dB), el cual resultó ideal para la detección de ruidos intestinales, además de su pequeño tamaño y la baja tensión de polarización que requiere (menor a 1,5 VCD), además de características tales como: rango de frecuencia de 50 Hz a 18000 Hz, impedancia de salida de 1000 Ω y respuesta lineal.

Una vez detectada la señal, ésta debe ser acondicionada para su posterior captura a través de una tarjeta de adquisición de datos. El circuito de acondicionamiento consta de un preamplificador, un filtro pasabandas y un amplificador, tal como se muestra en la figura 1.

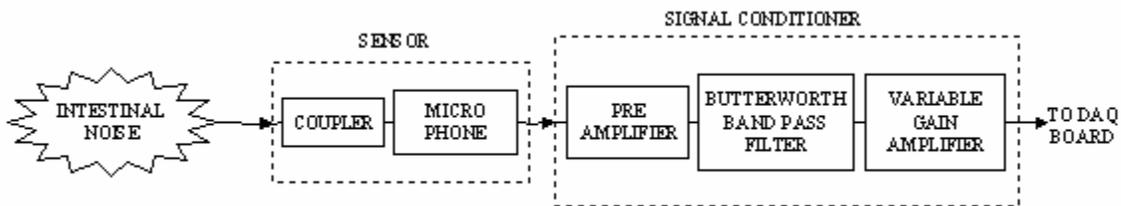


Figura 1: Diagrama a bloques del sistema de detección y acondicionamiento de la señal de ruidos intestinales

Para la construcción del acoplador se analizaron dos tipos de silicones extra suaves de baja viscosidad: el Hydrolab de Rhône Poulenc y el Dropstil FA557 de Prevent. Con ambos materiales se crearon 2 acopladores de las mismas dimensiones, como se muestra en la figura 2.

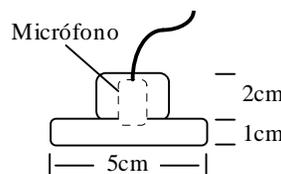


Figura 2: Dimensiones del acoplador desarrollado

Se analizó la respuesta del micrófono con cada uno de los acopladores mediante pruebas similares a las realizadas por otros autores (Abella et al, 1992; Champagne, 1994; Druzgalsky et al, 1980), verificando la existencia de frecuencias resonantes dentro de la cavidad, así como deformaciones de la respuesta del micrófono debido a la presencia del acoplador. Los resultados obtenidos fueron: el silicón de Hydrolab fue elegido debido a que sólo disminuyó de manera mínima la intensidad de la respuesta de manera uniforme, mientras que el acoplador desarrollado con el silicón de Dropstil deforma la señal.

El principio del circuito acondicionador de la señal es el siguiente: la señal a registrar es de muy baja intensidad, por lo cual, el potencial eléctrico que entrega el micrófono tiene que ser preamplificada (PA) antes de poder ser filtrada. Después, la señal se filtra con un filtro pasa-banda del tipo Butterworth de 2o. orden (BPF), el cual se diseñó con un ancho de banda de 70 Hz a 1200 Hz, esto permite eliminar las señales acopladas magnéticamente como el ruido de línea, por otro lado permite delimitar la frecuencia máxima de entrada, impidiendo así el efecto del aliasing en la respuesta del convertidor analógico digital (ADC). Por ultimo, la señal es amplificada nuevamente dejando al operador del equipo la libertad de fijar la ganancia. En la figura 3 se muestra un diagrama a bloques detallado de las partes que componen el circuito acondicionador de la señal.

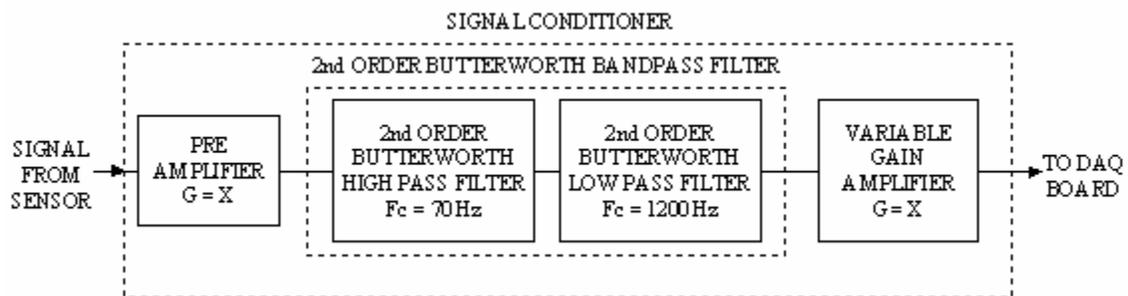


Figura 3: Diagrama a bloques del circuito acondicionador de la señal

El circuito completo consta de ocho líneas de detección y acondicionamiento de señales y una tarjeta de adquisición de datos, tal como se ilustra en la figura 4.

La tarjeta de adquisición de datos que se empleó posee las siguientes características: ocho canales de entrada en modo común, cada uno con una resolución de 12 bits, frecuencia de muestreo de 100 kmuestras/seg y un buffer de 512 muestras tipo FIFO (First Input First Output) para la transferencia de datos adquiridos a través de un canal DMA (Direct Memory Acces). La frecuencia de muestreo seleccionada fue de 4096 muestras/seg para cada canal.

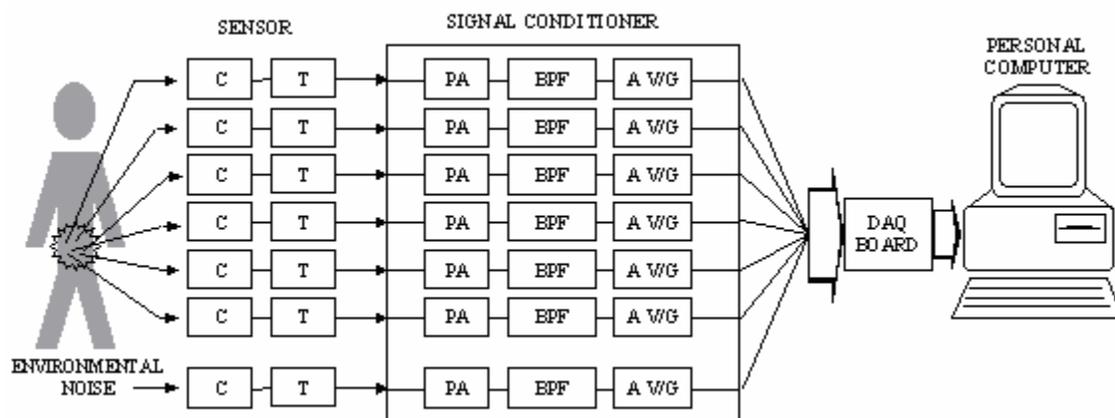


Figura 4: Diagrama a bloques del sistema de detección y captura de ruidos intestinales

2.2 El programa de captura: la compresión de datos

Durante una sesión de adquisición de ruidos intestinales, el sistema adquiere una gran cantidad de datos que por su tamaño son difíciles de almacenar. Para el sistema propuesto, la frecuencia de muestreo seleccionada es de 32768 muestras/seg. Si cada muestra fuera del tamaño de 1 byte, cada segundo se tendría que grabar 32768 bytes/seg. Por lo tanto, tan solo para una sesión de captura con una duración de 4 horas el tamaño del archivo a guardar sería de 450 MBytes. Debido a lo anterior, es necesario desarrollar una solución para reducir el tamaño de los datos a almacenar, sin alterar los parámetros clínicos significativos que contiene la señal adquirida.

El método seleccionado para realizar la compresión de los datos adquiridos se basa en el Método de Muestreo Adaptivo de Orden 2 (Cohen, 1986).

2.3 El programa de análisis de ruidos intestinales

Una vez que se han almacenado en un archivo las señales captadas por el programa de adquisición de sonidos intestinales, estas señales se pueden visualizar bajo dos modalidades de observación: la vista normal, la cual permite visualizar pasos de 4 segundos de la señal, y el zoom, el cual permite visualizar los 4 segundos seleccionados en 30 pasos de 125 milésimas de segundo cada uno. Para identificar y seleccionar el canal que se está observando, el programa permite al usuario seleccionar el canal que desee observar en cualquier momento.

Debido a que las sesiones de grabación pueden durar horas, el usuario tendría la laboriosa tarea de revisar cada señal almacenada en pasos de 4 segundos, lo cual le requeriría de una cantidad considerable de tiempo. Para facilitar este trabajo, se habilitó en el programa una herramienta denominada Herramienta de Búsqueda de Ruidos Intestinales, la cual permite al usuario visualizar en que parte del archivo se encuentran almacenados ruidos intestinales y además, permite al usuario desplazarse directamente hasta esa posición en el archivo y así poder analizar la señal en ese segmento del archivo. En la figura 5 se muestra la pantalla del programa de Análisis de Ruidos Intestinales.

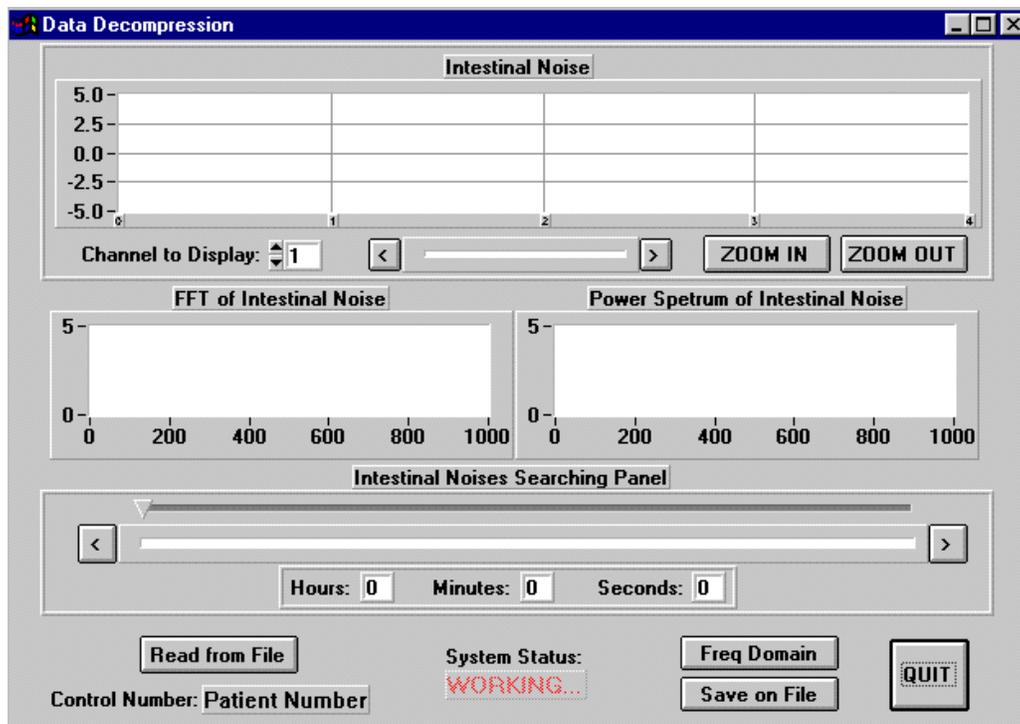


Figura 5: Ventana principal del Programa de Análisis de Ruidos Intestinales

3. Resultados

Una vez puesto en marcha el sistema, se llevaron a cabo mediciones de ruidos intestinales sobre una persona de 25 años, sexo masculino y con un estado general de salud estable. Dichas mediciones se llevaron a cabo en un cuarto con la mínima cantidad posible de ruido ambiental. La figura 6 muestra uno de los sonidos intestinales adquiridos durante una de las sesiones de grabación. La señal capturada presenta un ancho de banda de 100 a 1000 Hz tal como se había pronosticado. Por su parte, el algoritmo de compresión entregó resultados favorables. La eficacia de este algoritmo varía dependiendo de la cantidad de ruidos que percibe el sistema (sonido intestinal + ruido ambiental), es por ello que se requiere de un filtro para cancelar el ruido ambiental para evitar así guardar información innecesaria.

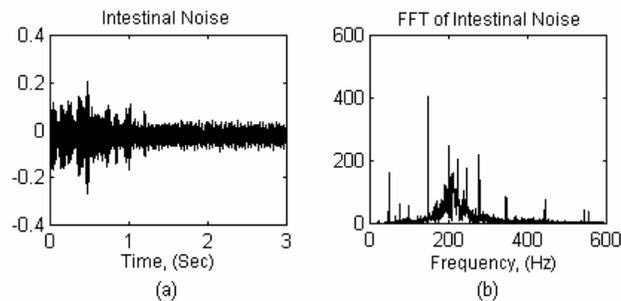


Figura 6: (a) Sonido intestinal capturado en una de las sesiones de grabación, (b) FFT de la señal capturada

4. Conclusiones

El análisis de los sonidos intestinales es un trabajo con futuro en el campo del diagnóstico ya que la gran ventaja que presenta es que el método es totalmente no invasivo. Información importante se podría encontrar en la señal, factores como la intensidad, la densidad espectral, la periodicidad, entre otros, podrían ser correlacionados con enfermedades típicas del sistema digestivo. Algunas de las posibles aplicaciones del monitoreo de los sonidos intestinales podrían ser:

- Detectar el reinicio de la motilidad intestinal después de una cirugía abdominal.
- Detectar oclusiones en el intestino.
- Evaluar la funcionalidad de montajes quirúrgicos.
- Determinar la actividad motriz de un órgano.
- Determinar problemas en la motilidad intestinal.
- Evaluar los cambios en la motilidad intestinal debido a la aplicación de un fármaco.
- Identificar enfermedades del aparato digestivo.

Referencias

- Abella M., Formolo J., Penney D.G. (1992). "Comparison of the acoustic properties of six popular stethoscopes". *Journal Acoustic Society*, Vol. 91, No. 4, pp .2224-2228.
- Champagne B. (1994). Simulation of the response of multiple microphones to a moving point source. *Applied Acoustics*, Vol. 42, pp 313-332.

- Chong J., Leija L., Guillemin F., Louis V. (1999). "A system for the acquisition and analysis of intestinal noises". *21st Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*. Atlanta, GA, USA, pp 137.
- Cohen A. (1986). *Biomedical Signal Processing*, 1st edition, CRC Press, USA
- Craine B.L., Silpa M.L., O'Toole C.J. (1999). "Computerized auscultation applied to irritable bowel syndrome". *Digestive Diseases and Sciences*, Vol. 44, No. 9, pp 1887-1892.
- Craine B.L., Silpa M.L., O'Toole C. J. (2002). "Two-dimensional positional mapping of gastrointestinal sounds in control and functional bowel syndrome patients". *Digestive Diseases and Sciences*, Vol. 47, No. 6, pp 1290-1296.
- Druzgalsky C.K., Donnerberg R.L., Campbell R.M. (1980). "Techniques of recording respiratory sounds". *Journal of Clinical Engineering*, Vol. 5, No. 4, pp 180-186.
- Politzer J-P., Devroede G., Vasseur C., Gerard J., Thibault R. (1976). "The genesis of bowel sounds: Influence of viscus and gastrointestinal content". *Gastroenterology*, Vol. 71, No. 2, pp 282-285.
- Sugrue M., Redfern M. (1994). "Computerized phonoenterography: The clinical evaluation of a new system". *Journal of Clinical Gastroenterology*, Vol. 18, No. 2, pp 139-144.
- Watson W.C., Knox E.C. (1967). "Phonoenterography: The recording and analysis of bowel sounds. *Gut*, Vol. 8, No. 1, pp 88-94.

Biographic Information

Dr. Jesús Enrique CHONG QUERO. El Dr. Chong Quero es profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Estado de México, y actualmente es colaborador del Centro de Investigación en Calidad Ambiental del mismo Instituto.