

Detección de anomalías cardíacas mediante los atributos de la traza compleja

Fernando Javier Lage¹, Nahir Murana², Olaf Grawon³, Zulma Cataldi⁴

Abstract — This paper describes the concept of a complex trace get different attributes from it. Although the method already been widely applied to the Earth Sciences, the present communication seeks show some possible applications in the field of human medicine and veterinary medicine. The focus of this work is the process of obtaining the complex trace and their attributes from the signals (or scanned) digital electrocardiograms ECG, their representation and their results. Details each of the steps taken and the findings obtained.

Index Terms — attributes, complex trace, electrocardiograms.

INTRODUCCIÓN

Si se posee una señal en el plano espacio tiempo (ya sea un sismograma, electrocardiograma o electroencefalograma), la misma se puede considerar como la proyección en ese plano según una señal que se desarrolla en tres dimensiones, donde una de las proyecciones se da en el plano real (señal con la cual se trabaja), mientras que la otra en cuadratura con la primera se desarrolla en el plano imaginario.

La traza compleja por lo tanto es la combinación de ambas señales. Asociados a la traza compleja se tienen un conjunto de atributos los cuales pueden ser analizados en forma independiente o combinada. Esta posibilidad agrega nuevos puntos de vista y nuevas posibilidades a los datos originales.

La obtención de la traza compleja a partir de una señal real se encuentra basada en el algoritmo de la Transformada de Hilbert [1]. Esta transformación permite obtener a partir de la componente real, la parte imaginaria en cuadratura, según se describe en (1).

$$g_{(t)} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f_{(t)}}{\tau - t} d\tau \quad (1)$$

La $g_{(t)}$ se denomina amplitud en cuadratura, y es la segunda componente de la Taza Compleja (TC) [2], mientras $f_{(t)}$ es la componente real de la señal, $g_{(t)}$ es la componente imaginaria. La TC se obtiene como se indica en la fórmula (2).

$$TC_{(t)} = \sqrt{f_{(t)}^2 + g_{(t)}^2} \quad (2)$$

Esta transformada permite el pasaje del dominio real bidimensional (el registro electrocardiográfico) a uno tridimensional (complejo). A partir del registro tridimensional se podrán obtener los atributos de la traza, que son: amplitud, fase y frecuencia instantánea. La correlación, clasificación y análisis de estos atributos serán la base para la detección de anomalías.

En la Figura 1 se puede observar, la traza compleja y sus componentes.

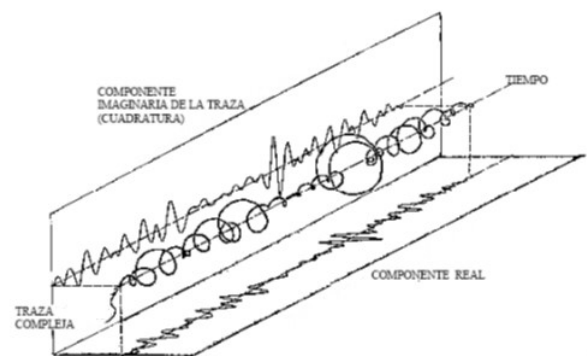


FIGURA 1
TRAZA COMPLEJA Y COMPONENTE

A partir de la TC se determinan un conjunto de parámetros, cuyo análisis en forma individual o en distintas combinaciones dan información complementaria a partir de los datos obtenidos de la señal ya sea sísmica o electrocardiográfica.

FUNDAMENTACIÓN

Para el desarrollo de la presente comunicación se ha utilizado la señal correspondiente a un pequeño mamífero (canino), porque su señal en el electrocardiograma es muy estable al cual se le ha producido dos interrupciones las que se han producido en forma intencional para mostrar los efectos en el electrocardiograma (Figura 2), y su reflejo en cada una de los atributos de la TC.

¹ Fernando Javier Lage, Universidad Tecnológica Nacional, F R Buenos Aires, Departamento de Electrónica, Argentina, fernandojlage@frba.utn.edu.ar

² Nahir Murana, Universidad Tecnológica Nacional, F R Buenos Aires (Becaria), Departamento de Electrónica, Argentina, nmurana@yahoo.com.ar

³ Olaf Grawon, Universidad Tecnológica Nacional, F R Buenos Aires (Becario), Departamento de Electrónica, Argentina, grawonolaf@gmail.com

⁴ Zulma Cataldi, Universidad Tecnológica Nacional, F R Buenos Aires, Departamento de UDB Básicas, Argentina, zcataldi@frba.utn.edu.ar

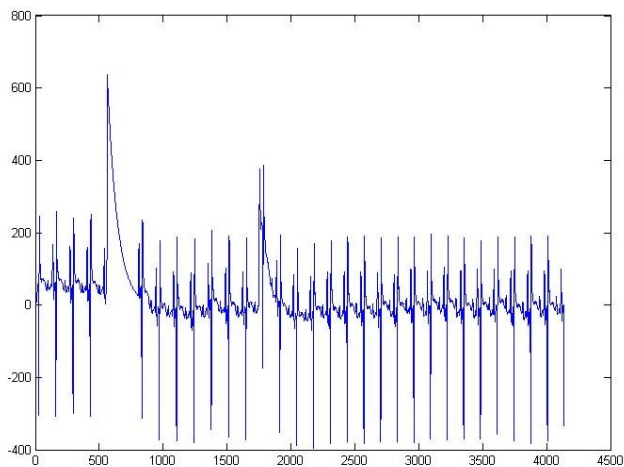


FIGURA 2
ELECTROCARDIOGRAMA DE EJEMPLO

A partir del electrocardiograma (ECG) de la Figura 2 [2] [3] se obtendrá la traza compleja del mismo (Figura 3), y de ella el conjunto de atributos asociados. Posteriormente se analizarán los resultados de los mismos.

La traza compleja se obtiene como previamente se ha definido como la transformada de Hilbert de la señal de entrada. Para el ejemplo en particular el resultado obtenido es visualizado en la Figura 3.

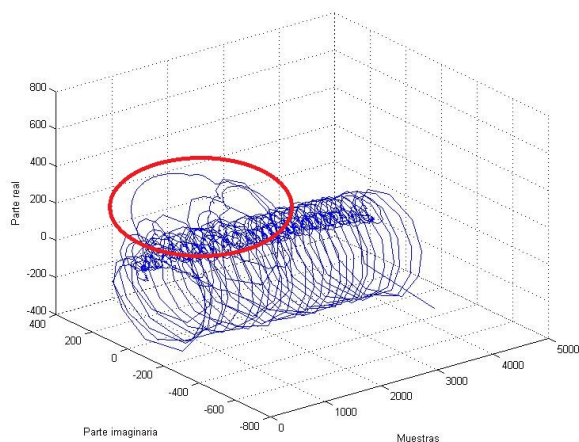


Figura 3
TRAZA COMPLEJA DEL ECG

En la Figura 3 se distinguen dos áreas bien definidas, la primera presenta bruscos cambios (encerrados en el la elipse en rojo) los cuales están asociados a los dos eventos producidos intencionalmente en el registro. La segunda parte de la traza compleja es una gráfica más estable concordante con una mayor estabilidad de la señal.

LOS ATRIBUTOS DE LA TRAZA COMPLEJA

En los próximos párrafos se definirá los distintos atributos de la traza compleja, su obtención, su empleo en sismica y sus resultados en el registro ejemplo.

a. Fase Instantánea

La fase instantánea se define como el ángulo existente entre la componente imaginaria $g(t)$ y la componente real de la señal $f(t)$, para cada valor de t siendo representado por (3).

$$\varphi(t) = \arctg\left(\frac{g(t)}{f(t)}\right) \quad (3)$$

La fase instantánea en sismica es considerada como un buen indicador de las continuidades, fallas, pinch-outs, interfaces, límites de secuencia y regiones [4].

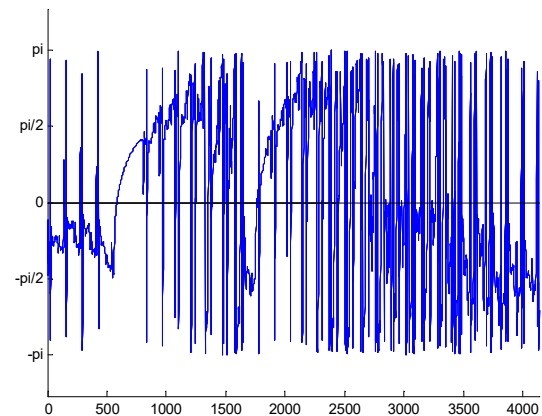


Figura 4
FASE INSTANTANEA

La Figura 4, es la representación gráfica de la fase instantánea, en ella se pueden observar dos bruscos cambios de fase (salto de negativo a positivo) asociados a los dos eventos provocados en el registro.

En la Figura 5, se puede advertir la relación entre ambos eventos, ya que la misma muestra un detalle en el área de interés.

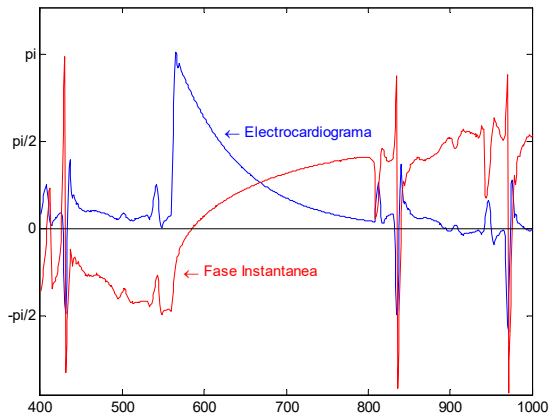


Figura 5
DETALLE EN LA ZONA DE INTERES ENTRE EL
ELCTROCARDIOGRAMA Y SU FASE INSTANTANEA

b. Amplitud Normalizada

La amplitud normalizada se obtiene a partir del coseno de la fase existente entre la señal real $f(t)$ y la señal imaginaria $g(t)$ obtenida a partir de la transformada de Hilbert. Este parámetro también se denomina Coseno de la Fase Instantánea y se obtiene por medio de la (4).

$$AN = \cos(\varphi(t)) = \cos\left(\arctg\left(\frac{g(t)}{f(t)}\right)\right) \quad (4)$$

En sismica se emplea como indicador de la continuidad lateral, las terminaciones estratigráficas y las variaciones de fases sísmicas [4].

Se utiliza comúnmente para guiar la interpretación de las zonas mal resueltas en amplitud o para mejorar la definición de delineación estructural.

La Figura 6 permite observar cual ha sido el resultado de la Amplitud Normalizada en el caso de estudio.

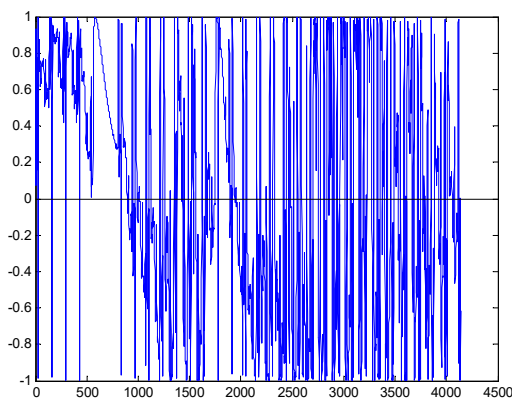


Figura 6
AMPLITUD NORMALIZADA

A primera vista este atributo parece indicar poco, pero un estudio más detallado del área de interés como se observa en la Figura 7.

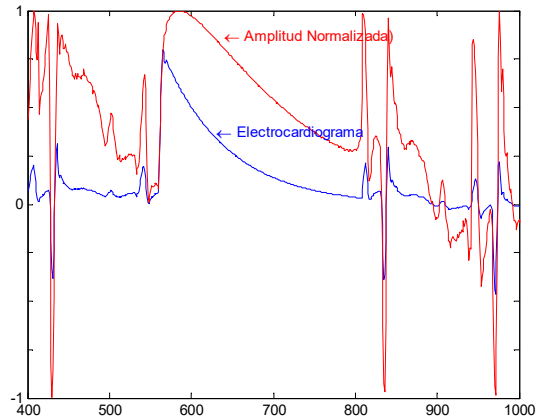


Figura 7
DETALLE EN LA ZONA DE INTERES ENTRE EL
ELCTROCARDIOGRAMA Y LA AMPLITUD NORMALIZADA

Un primer acercamiento denota que la Amplitud Normalizada ha magnificado el evento, sin producir un cambio de fase, ni de posición del mismo. Este único hecho es importante porque eventos similares serían más sencillos de correlacionar ya que cualquier programa puede detectar y correlacionar eventos que se encuentran distantes de los valores medios. Cabe consignar que también se magnifica otros eventos lo cual pueden llevar a confusión, es por eso que este atributo en un primer estadio se lo considera como una herramienta complementaria.

c. Envoltente (Fuerza de la Señal)

La envoltente, que también se conoce como: “la fuerza de la señal”, “energía instantánea” o simplemente “módulo”, y se define como la energía total de la señal (traza sísmica, electrocardiograma, electroencefalograma). En otras palabras, es el módulo de la traza compleja, compuesto por la parte real y la parte imaginaria.

La parte real $f(t)$, es la traza original, la parte imaginaria $g(t)$, es la componente en cuadratura. El atributo de envoltente es independiente de la fase, y es siempre positivo. El desarrollo de la misma se observa en la fórmula (5)

$$env(t) = \sqrt{f(t)^2 + g(t)^2} \quad (5)$$

La importancia de este atributo en sismica, es para detectar puntos brillantes causados por la acumulación de gas, detectando los principales cambios litológicos que son causados por las fuertes reflexiones de energía y los límites de secuencia [4].

En un reservorio, las reflexiones están estrechamente espaciadas interfiriendo unas con otras y esto hace que la separación de los reflectores sea difícil. Sin embargo, con la ayuda del atributo de envolvente se pueden distinguir las características que no siempre son sísmicamente detectables. La amplitud "ajustable" se puede calibrar para la formación de espesores. El uso de este atributo y la señal sísmica original, en combinación, podrían ser una opción para una mejor interpretación del reservorio.

La envolvente para el conjunto de datos nos daría como resultado la Figura 8.

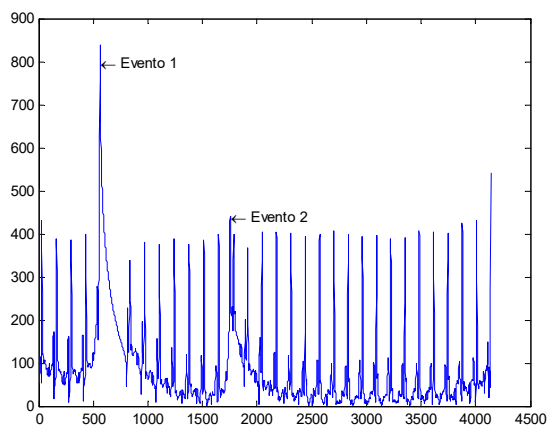


Figura 8
ENVOLVENTE

Los resultados muestran a primera vista un pulso importante asociado al primer evento, pero el segundo evento no aparece resaltado es más podría no ser tomado en cuenta ya que no sobresale del resto de los picos del conjunto.

Pero luego de aplicarse a la salida una media móvil, la cual opera como un filtro pasa bajo, se tendrá como resultado la Figura 9.

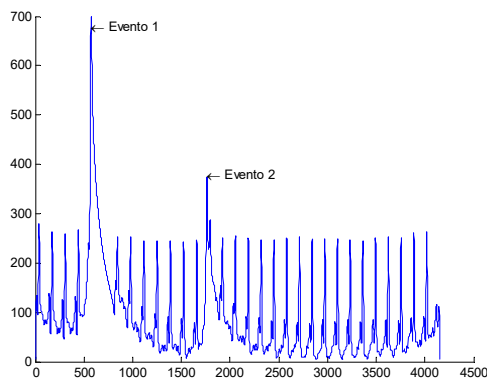


Figura 9
ENVOLVENTE PREPROCESADA

La Figura 9 muestra que un filtrado muy suave de la salida ha permitido resaltar el evento 2 dentro del registro. Esto lleva a considerar que cualquier filtro que tenga por salida un valor próximo a la tendencia (un pasabajo) podría ser empleado como una ayuda sobre la salida de la envolvente si alterar los resultados [5].

d. Ancho de Banda Instantáneo

Ancho de banda instantáneo es la medida de la tasa de cambio de la amplitud relativa. Matemáticamente es el valor absoluto de la derivada de la envolvente dividido por la envolvente (factor de atenuación). La fórmula (6) es la expresión algebraica del ancho de banda para cada t.

$$\omega_{B(t)} = \frac{\left| \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{env(t)}{env(t)} \right] \right|}{env(t)} \quad (6)$$

Este atributo representa la desviación típica del espectro de potencia instantánea sobre su media. La unidad está dada en Hertz (Hz).

Se emplea en sísmica de reflexión como indicador de las propiedades del yacimiento, tales como existencia de hidrocarburos, la detección de zonas de fractura, y los cambios en el espesor y en la zonas laterales de la litología, es útil para el mapeo de cambios sutiles [4].

En este atributo se encuentran centradas una parte importante de las expectativas, ya que un ojo experto detecta la mayoría de las anomalías, pero que pasa con aquellas muy sutiles que no se pueden ver a simple vista.

Los alcances del presente atributo se pueden advertir en la Figura 10.

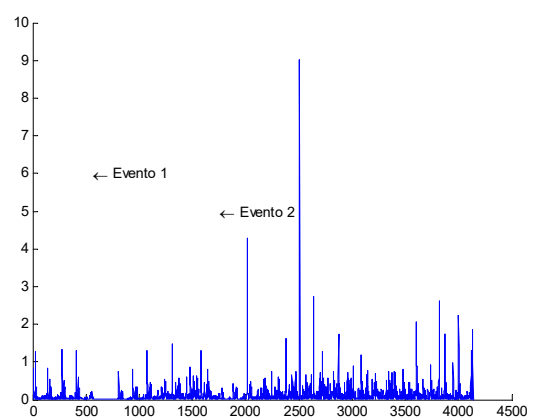


Figura 10
ANCHO DE BANDA INSTANTANEO

En la Figura 10 dos sucesos resaltan uno cercano a las 2000 muestras y el otro en las 2500 que nunca habían sido

tenidos en cuenta en los análisis anteriores. Los eventos de las muestras 540y 1700 poseen una representación con valores próximos a cero y muy por debajo del promedio general.

Es a partir de aquí donde se enfocará primero a evidenciar en forma somera lo sucedido con los eventos ya estudiados previamente.

En la Figura 11 se trabajará sobre la región de interés, resaltando los resultados

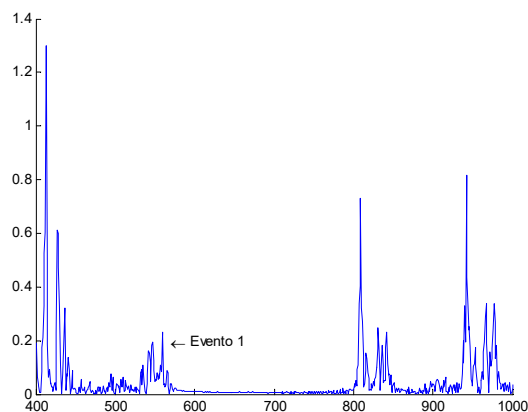


Figura 11
ANCHO DE BANDA INSTANTANEO EN EL ENTORNO DE
EVENTO 1°

La figura 11 marca claramente que para el atributo en estudio el primer evento es atenuado perdiéndose en la comparación con el resto de la información.

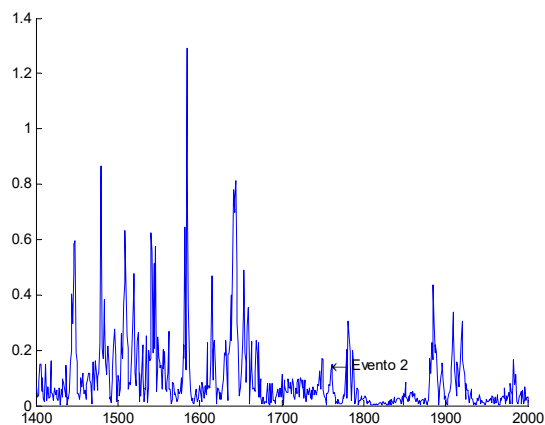


Figura 12
ANCHO DE BANDA INSTANEO EN EL ENTORNO DE
EVENTO 2°

En la Figura 12 se observa para el evento 2 un resultado similar al obtenido por el evento 1 en la figura 11. De lo anteriormente demostrado la el ancho de banda instantáneo no es el atributo indicado para grandes eventos.

En este punto recorreremos el camino inverso, partiendo de los eventos sobresalientes en el atributo para luego vincularlo con los datos en el ECG [6].

La Figura 13 nos da una visión de los dos más importantes eventos en el ancho de banda instantáneo.

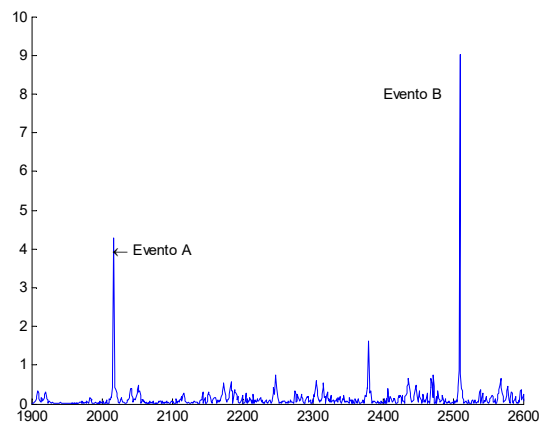


Figura 13
ANCHO DE BANDA INSTANEO EN EL ENTORNO DE
EVENTO A Y EL EVENTO B

Si lo relacionamos con la información procedente del ECG, la Figura 14 nos muestra:

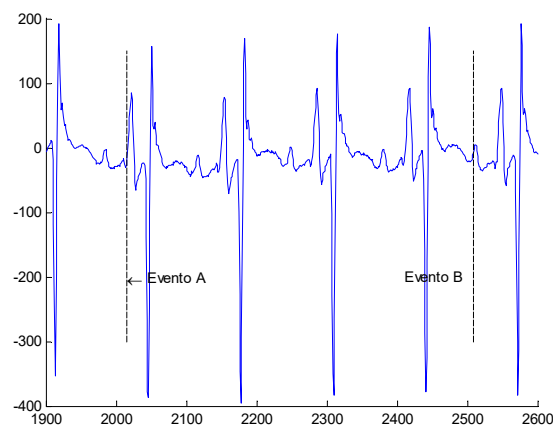


Figura 14
EL EVENTO A Y EL EVENTO B EN EL ECG

La presencia de los eventos no resulta concluyente. Por ello, se realizara un análisis sobre una muestra de datos mayor con el fin de determinar la relevancia del atributo.

CONCLUSIONES

La metodología de la traza compleja y sus atributos, se ha desarrollado y utilizado en forma intensiva dentro del campo de la prospección sísmica de hidrocarburos. En la presente investigación se ha realizado un cambio de

paradigma en su empleo y se lo ha llevado a la ciencia médica, para aplicarlo a otros tipos de señales que poseen varios puntos en común con las señales sísmicas.

La aplicación del algoritmo de procesamiento se realizó sobre el registro electrocardiográfico de una pequeño mamífero, los resultados obtenidos han sido más que satisfactorios, ya que le ha dado a la investigación un conjunto de herramientas sobre las cuales operar.

Ha quedado en claro que atributos tales como la frecuencia instantánea y el ancho de banda instantáneo son sobre los que se pondrá en un primer momento el mayor esfuerzo de la investigación. La envolvente y la amplitud normalizada aunque en el presente estudio no han dado grandes resultados, no deben ser dejado de lado ya que donde se han aplicado es un caso especial que no incluye la mayoría de las cardiopatías humanas.

En una segunda etapa se analizarán atributos de la traza compleja no han sido evaluados aún.

Ya se ha comenzado con el relevamiento de datos con cardiopatías definidas, para un posterior procesamiento y análisis de los resultados..

Debe considerarse que esta metodología opera sobre información existente y que como elemento tecnológico es necesario una PC.

AGRADECIMIENTOS

La presente comunicación, es parte del PID C25-132 *Procesamiento paralelo de señales electrocardiográficas aplicando Trazas Complejas, para detección y clasificación de anomalías, por medio de patrones* de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires (2011-2013), acreditado en el Programa de Incentivos.

Dentro de este PID, la señorita Nahir Murana y el señor Olaf Grawon son becarios SAE del Departamento de Electrónica de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional.

REFERENCIAS

- [1] Oppenheim Alan V., Schafer, Ronald W: *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice Hall. August 2009
- [2] Roberts, Michel, *Signals and Systems: Analysis Using Transform Methods & MATLAB*. McGraw-Hill, February, 2011
- [3] Nakamura Shoichiro, *Numerical Analysis and Graphic Visualization with MATLAB* Prentice Hall, August 2001
- [4] F Petrel, John: "Interpreter's Guide to Seismic Attributes" Schlumberger. Vol 5, 2007. P 23-26.
- [5] Martinez, Wendy L; Martinez, Angel; Solka, Jeffrey; *Exploratory Data Analysis with MATLAB*, Chapman & Hall/CRC
- [6] Petrolis, R. ; Simoliuniene, R. ; Krisciukatis, A *Principal Component Analysis Based Method For Reconstruction of fragments of corrupted or lost signal in multilead data reflecting electrical heart activity and hemodynamics*. Kaunas University of Medicine. Kaunas, Lituania. . (2008)