

## 22.46 Procesamiento Adaptativo de Señales Aleatorias

### Laboratorio de estimación no-paramétrica

Hoy intentaremos recuperar la señal gravitatoria GW150914.

La señal fue detectada por el proyecto LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) el 14 de septiembre de 2015, y se debe a la supuesta colisión de dos agujeros negros, de 36 y 29 veces la masa del Sol, a una distancia de 1.3 mil millones de años luz.

La detección se realizó con dos interferómetros, ubicados en las ciudades de Hanford, Washington, y Livingston, Texas, a una distancia de 3002 km entre sí. Considerando que las ondas gravitatorias se propagan a la velocidad de la luz, el retardo máximo entre ambos sensores es de:

$$c / 3002 \text{ km} \approx 10 \text{ ms}$$

Los interferómetros miden deformación (strain). El ruido se compone de los siguientes factores:

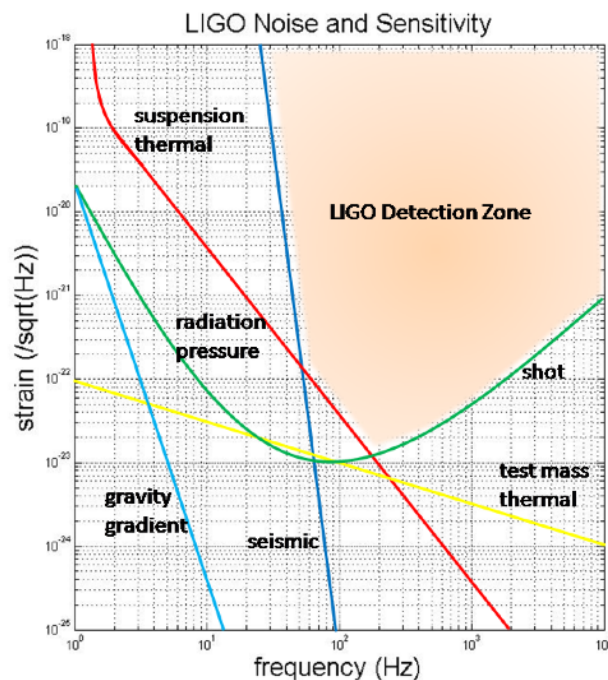


Fig. 1: factores de ruido de LIGO

El proyecto LIGO advierte que el ruido contiene "glitches" temporales, semejantes a una función delta.

El set de datos está disponible en <https://losc.ligo.org/events/GW150914/>.

Recomendamos descargar el set de datos "Strain Data at 4096 Hz" de "32 seconds". H1 es el set de Hanford, y L1 es el set de Livingston.

El evento gravitatorio es una señal de tipo chirp que dura aproximadamente 200 ms y ocurre cerca del tiempo GPS 1126259462 [s]. Puede verse y escucharse aquí: <https://www.youtube.com/watch?v=QyDcTbR-kEA>.

Se pide:

1. Estimar el espectro de potencia del ruido de H1 y L1. Para ello deben utilizarse las partes de la señal que no involucren el evento gravitatorio. Si hiciere falta una mejor estimación, puede usarse el set de datos de “4096 seconds”.
  - a. Estimar el espectro de potencia del ruido de H1 y L1 con el periodograma.
  - b. Estimarlos con el método de **Blackman-Tukey**. Seleccionar valores adecuados para N, M y L. En función de lo observado, iterar el proceso de modelado hasta obtener una estimación razonable.
  - c. Estimarlos con el método de **Welch-Bartlett**. Seleccionar un valor adecuado para K. Iterar hasta obtener una estimación razonable.
  - d. Estimarlos usando el enfoque multitaper con funciones DPSS. Seleccionar un valor adecuado para K. Iterar hasta obtener una estimación razonable.
  - e. Para todos los casos, comparar las estimaciones de H1 y de L1.
  - f. Contrastar las estimaciones de los diferentes métodos. ¿Qué características cuantitativas y cualitativas tiene el espectro de potencia del ruido? ¿Cómo se compara con los factores de ruido descritos en la fig. 1? ¿Es necesario usar el set de datos de 4096 segundos para mejorar la estimación?
  - g. Estimar la función de distribución de probabilidad y el espectro de potencia al principio y al final de la señal de 32 s, a fin de validar la estacionaridad del ruido de H1 y L1.
2. Utilizar la mejor estimación del espectro de potencia del punto anterior para realizar whitening de la señal. Esto puede lograrse llevando la señal al dominio de la frecuencia, multiplicándola por el inverso de la raíz cuadrada del espectro de potencia estimado, y volviéndola al dominio del tiempo. Pista: [https://losc.ligo.org/s/events/GW150914/GW150914\\_tutorial.html](https://losc.ligo.org/s/events/GW150914/GW150914_tutorial.html)
  - a. Realizar el whitening sobre toda la señal. Utilizar el espectrograma para ver en el dominio de la frecuencia. Utilizar un filtro pasa-banda para reducir aún más el nivel de ruido: el proyecto LIGO sugiere eliminar las frecuencias menores a 30 Hz y mayores a 300 Hz. ¿Es posible escuchar el evento gravitatorio?
  - b. Repetir el punto anterior sobre el segmento de 200 ms que contiene el evento gravitatorio.
  - c. Estimar la correlación cruzada para los resultados de los puntos anteriores, a fin de determinar la diferencia del tiempo de arribo del evento gravitatorio en H1 y en L1.
3. Mejorar la estimación del espectro de potencia aplicando la técnica que describe este paper: <https://arxiv.org/pdf/1604.06211.pdf>.