

---

# Proyecto Especial 2do cuatrimestre 2017

*Detección de latidos cardíacos a partir de la grabación de video de un smartphone*

Señales y Sistemas (66.74 / 66.86)

Facultad de Ingeniería  
Universidad de Buenos Aires

30 de octubre de 2017

# Índice general

Requisitos de aprobación.....	2
Nota del trabajo práctico especial.....	3
Introducción.....	1
Objetivos y descripción de los datos .....	2
Ejercicios.....	3
Referencias .....	5

---

El presente proyecto especial tiene como objetivo hacer uso de técnicas y herramientas de análisis de señales, aplicándolas a un problema práctico de utilidad. Se propone realizar un análisis de señales fotoplethysmográficas, obtenidas a través de la grabación de video de un *smartphone*, con el fin de realizar la identificación de los latidos cardíacos. Para ello, se utilizarán las siguientes herramientas que fueron estudiadas durante la cursada:

- Análisis de sistemas en el dominio de Fourier.
- Utilización de DFT para estimar el espectro de señales.
- Filtrado de señales con filtros FIR e IIR y análisis de filtros.
- Transformada de Fourier de corto tiempo.

## Requisitos de aprobación

El proyecto especial tendrá una fecha límite de vencimiento y su evaluación está establecida en el calendario de la materia, día en el cual el alumno deberá presentarse indefectiblemente con el informe del proyecto en forma impresa. Habrá un rango de fechas anterior a la fecha definitiva de entrega en el cual el alumno podrá hacer una pre-entrega del proyecto especial en versión electrónica, pdf solamente, en <http://campus.fi.uba.ar/>. Durante ese rango de fechas, el docente puede aconsejar al alumno la revisión de ciertos puntos en el proyecto. Luego del cierre del período de pre-entrega, se habilitará un período de entrega definitiva, donde el alumno debe depositar su versión pdf del informe y los algoritmos correspondientes. Luego del vencimiento del período de entrega definitivo (anterior a la evaluación del proyecto especial en unos días), no se admitirán más entregas y el alumno que no cumpla este requisito quedará libre. Luego, el docente de cada curso evaluará el mismo en tiempo y forma, utilizando la versión electrónica o la impresa que de ninguna manera pueden diferir entre sí. La modalidad de la evaluación se realizará según el docente lo crea conveniente (oral, escrita, el día de la entrega, otro día, etc.) de modo de asegurar el

conocimiento del tema desarrollado y la realización individual del trabajo por parte del alumno.

La evaluación puede incluir preguntas sobre:

- Ítems particulares sobre los ejercicios de esta guía y su implementación en Matlab/Octave.
- Conceptos teóricos necesarios para realizar los ejercicios.

Puede requerirse también al alumno que implemente alguno de los ejercicios similares en la computadora en el momento de la evaluación. Por lo tanto, el alumno debe presentarse el día de la evaluación con:

- Esta guía.
- Las señales utilizadas para el desarrollo del TP en versión electrónica.
- Las soluciones a los problemas planteados: Cuando el problema requiera una implementación, la misma debe estar adecuadamente descripta y debidamente justificada. Es decir, si es necesario justificación teórica, ésta debe estar desarrollada. Si se pide una implementación práctica la misma debe estar adecuadamente documentada de modo que el docente pueda constatar que las especificaciones requeridas se cumplen. Esto incluye la presentación del programa de Matlab/Octave utilizado, y los gráficos necesarios para mostrar los resultados obtenidos en formato electrónico e impresos. Se sugiere que el formato electrónico no dependa del funcionamiento de internet para poder visualizarse. Todos los gráficos deberán tener título, comentarios en ambos ejes sobre la unidad a representar y el eje de abscisas debe estar en unidades de tiempo o frecuencia según corresponda.

## Nota del trabajo práctico especial

El proyecto especial se aprobará con un mínimo de 60 puntos sobre 100. La nota final de cursada se determina ponderando la nota del parcial  $N_{par}$  con la nota del proyecto especial  $N_{pe}$  del siguiente modo:

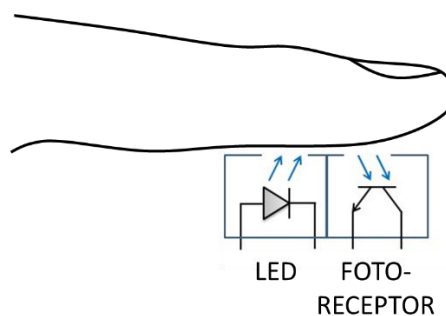
$$N_{cur} = 0,6N_{par} + 0,4N_{pe}$$

Como tanto la nota del parcial  $N_{par}$  como la nota del proyecto especial  $N_{pe}$  deben ser mayores a 60, para la aprobación de la cursada la nota de cursada  $N_{cur}$  debe ser mayor que 60 puntos, y se recuerda que la aprobación del Proyecto Especial también es obligatoria para la aprobación de la cursada.

# Introducción

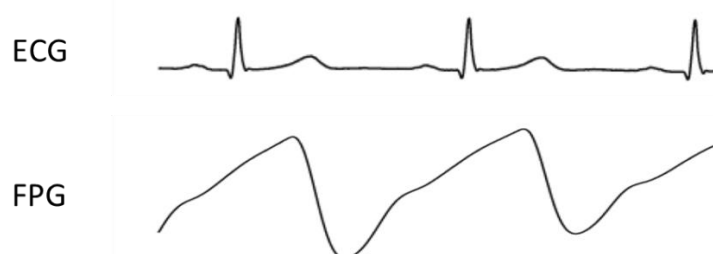
El monitoreo de los parámetros vitales es fundamental para la detección temprana y la prevención de varias enfermedades. Una de las variables más importantes que suelen chequearse es la regularidad en el ritmo cardíaco, ya que la identificación de anomalías es un indicador de potenciales condiciones cardiovasculares [1].

La medición del ritmo cardíaco puede obtenerse, entre otros métodos, a través de la fotopletismografía (FPG). Esta consiste en registrar de una manera no invasiva las variaciones de volumen sanguíneo en las diferentes partes del cuerpo de una persona, especialmente sus extremidades. La técnica hace uso de una fuente emisora de luz, usualmente un LED, la cual ilumina penetrando en el tejido y vasos sanguíneos siendo subsecuentemente detectada mediante un fotodetector (ver Figura 1).



**Figura 1.** Dispositivo básico para realizar una medición fotopletismográfica por reflexión de luz.

La señal de FPG consiste en dos componentes diferenciadas: una componente de onda pulsátil “AC” de frecuencia aproximada 1 Hz, atribuida a cambios periódicos en la presión sanguínea como consecuencia de los latidos del corazón, y otra componente de onda de baja frecuencia “DC” la cual se ve influenciada por la respiración y la termorregulación de la persona, entre otros factores [2]. En la Figura 2 puede observarse cómo la componente “AC” de la señal FPG se correlaciona con la señal de electrocardiograma (ECG).



**Figura 2.** Comparación entre una señal de electrocardiograma (ECG) y la componente pulsátil “AC” de la señal de FPG, donde se observa una fuerte correlación entre impulso eléctrico y variación del flujo sanguíneo. Figura adaptada de [2].

Mediante el uso de un *smartphone*, esta medición puede implementarse de forma sencilla realizando una grabación de video mientras se cubre el objetivo de la cámara completamente con la yema del dedo índice, a la vez que la propia linterna del dispositivo

(en el caso que se encuentre cercana a la cámara) ilumina al dedo [3,4]. De esta manera, la luz penetra en el tejido irradiando los capilares, siendo subsecuentemente reflejada hacia la cámara la cual detecta las variaciones en el flujo sanguíneo como diferencias en la intensidad de luz, dando lugar a la señal FPG.

Además de la dependencia de la señal FPG con la respiración y otras actividades fisiológicas, la medición utilizando un *smartphone* presenta variables adicionales tales como la presión con la que se posiciona el dedo sobre la cámara, las variaciones de la luz que ingresa a la lente debido a movimientos, la iluminación ambiente que compite con la generada por el LED, entre otras. Es por esto que, para recuperar la componente “AC” de la señal FPG útil a los efectos de detectar los latidos, debe aplicarse una serie de filtros a los efectos de minimizar la influencia de estos factores.

## Objetivos y descripción de los datos

El objetivo del presente trabajo es, en primer lugar, realizar un análisis en tiempo y frecuencia de la señal FPG obtenida a partir de la grabación de video de un *smartphone*. Posteriormente, se implementará una serie de filtros para obtener la componente “AC” de la señal, la cual se utilizará finalmente durante la implementación del detector de latidos. En lugar de utilizar el video directamente como señal, lo cual resulta demandante con la memoria, se trabajará con las intensidades de color para cada *frame* del video en cuestión.

Se dispone de 2 archivos:

- **intensidad\_RGB.mat** contiene la intensidad promedio de cada canal RGB, para cada *frame* del video FPG registrado tal como se describió en la sección 1. Es una matriz donde cada columna corresponde a un color, y cada fila a un *frame*. Está muestreado a 29.37 Hz (frecuencia de muestreo del *smartphone* utilizado).
- **audio\_det.mat** contiene una detección de energía obtenida del audio de la respiración. Está muestreado a 50 Hz. Los picos grandes de esta señal corresponden a cada inspiración. La información de esta señal debe utilizarse en el ejercicio 9 para realizar una explicación completa de lo observado en el espectrograma.

Durante el registro de la señal FPG, se produce un repentino aumento de la frecuencia cardiaca como consecuencia del incremento de la frecuencia de respiración (hiperventilación) realizado a los efectos de estudiar su impacto.

Se proveen además dos *scripts* auxiliares de Matlab, `lectura_video.m` y `lectura_audio.m`, que puede utilizar para analizar una señal FPG obtenida con su propio *smartphone* (ejercicio 13). Los mismos toman como entrada un archivo de video y generan los archivos `.mat` de intensidades de color y audio descritos anteriormente.

# Ejercicios

IMPORTANTE: en la realización de los ejercicios, deberá respetar las siguientes especificaciones:

- Todos los gráficos deben tener su eje de abscisa debidamente especificado y etiquetado. Para ejes temporales, utilizar unidades de tiempo ([s], [min], etc.) y para ejes de frecuencia unidades en [Hz] o frecuencia normaliza (0 a 1 en lugar de 0 a  $\pi$ ).
  - Los gráficos de respuesta en frecuencia de los filtros deberán ser tanto en módulo como en fase.
  - Los espectrogramas deben indicar tipo y longitud de ventana utilizada.
  - Las funciones de Matlab indicadas en cada punto son sugerencias; de utilizar otro software o lenguaje, podrá implementar los ejercicios con otras funciones que impliquen una carga de trabajo similar, a criterio de cada docente.
1. Cargar el archivo `intensidad_RGB.mat` y visualizar la señal RGB en superposición (3 canales). Elija alguno de los 3 canales que, según su criterio, posea la señal más útil a los efectos de analizar la dinámica de los latidos y utilícelo para realizar los puntos siguientes.
  2. Del gráfico del punto anterior, estimar aproximadamente los latidos por minuto (LPM). Identifique el momento a partir del cual la frecuencia cardiaca comienza a incrementarse, y en cuánto se incrementa.
  3. Rehacer el punto anterior, pero utilizando DFT. ¿Puede en este caso identificar cuándo se da el cambio de LPM?
  4. Diseñar un filtro pasa-banda tipo Butterworth con banda de paso entre 0.5 Hz y 10 Hz. Graficar respuesta en frecuencia (módulo y fase), diagrama de polos y ceros y respuesta al impulso (sugerencia: usar las funciones `butter` y `fvtool` de Matlab). ¿Qué papel juega el orden del filtro seleccionado en su diseño?
  5. Filtrar la señal FPG utilizando el filtro diseñado en el punto anterior mediante la función `filter`. Grafique en superposición la señal original con la filtrada y comente acerca de:
    - a. Remoción de derivas
    - b. Cambios en la forma de la señal
    - c. Retardo de la señal filtrada respecto de la original
  6. A partir de la respuesta en fase del filtro, calcule su retardo temporal y compare con lo observado en el punto 5c.
  7. Implementar un filtrado IIR ida y vuelta para anular la fase del filtro (puede utilizar la función `filtfilt` de Matlab). Justificar teóricamente el funcionamiento de este tipo de filtrado y cuál resulta su ventaja. Filtrar nuevamente la señal FPG y comparar el resultado con lo obtenido en el punto anterior, particularmente en la forma de la señal y su retardo.

8. Realizar un espectrograma de la señal antes y después de filtrar, mediante la función `spectrogram` de Matlab (sugerencia: utilice la función `caxis` para saturar los colores del espectrograma y lograr una mejor visualización). Justificar la longitud de ventana elegida y comente acerca del resultado obtenido, relacionándolo con los puntos 2 y 3. Calcule la resolución en frecuencia de la ventana mediante DFT en Matlab. ¿Cómo haría para obtener mejor resolución en frecuencia y qué se pierde con esto?
9. Identificar en el espectrograma la zona donde el pulso se acelera. Observar con detenimiento los componentes de frecuencia que posee la señal y justificar el origen de cada uno (para esto último, necesitará hacer uso de la señal `audio_det.mat` para explicar todos los componentes observados).
10. Realizar un detector automático de latidos. El mismo debe tomar como entrada la señal FPG y producir como salida un vector de tiempos, donde cada tiempo corresponde a la detección de un latido en la señal. Para esto, se sugiere implementar los siguientes pasos:
  - a. Filtrado pasa-banda de la señal, utilizando el filtrado del ejercicio 7.
  - b. Filtro de derivada, implementado con un filtro FIR  $h(n)=[-2 \ -1 \ 0 \ 1 \ 2]$ .
  - c. Normalización con energía instantánea: primero calcular la energía instantánea de la señal mediante un filtro MA<sup>1</sup> de la señal del punto 10a elevada al cuadrado; luego dividir la señal del punto b por el vector obtenido. Esto tiene como objeto reducir el impacto de la presión sanguínea sobre el nivel de señal.
  - d. Sobre-muestreo en un factor 4 para obtener mayor resolución temporal: implemente el sobre-muestreo utilizando la función `upsample` y diseñe un filtro interpolador FIR utilizando la herramienta `fdatool` de Matlab. Grafique: respuesta en frecuencia del filtro en módulo y fase, y señal original y sobre-muestreada en superposición.
  - e. Detector de picos mediante umbral (puede definir como umbral un valor arbitrario).
  - f. Gráfico en superposición de la señal con las marcas de los picos detectados.

Sugerencia para el punto e: en general, un pico en la señal producirá la detección de múltiples muestras por encima del umbral. Para reducirlas a sólo una, puede utilizar la función `diff` para evaluar la primera derivada sobre el vector de muestras detectadas (la cual contiene sólo unos y ceros), quedándose solo con las muestras positivas que resulten y buscando, para cada una de estas, la posición del máximo inmediato de la señal original dentro de un intervalo pre-establecido (este deberá contener mínimamente a la duración aproximada de los picos).
11. En base a los resultados del punto anterior, calcule y grafique el intervalo temporal instantáneo entre latidos (IBI: *inter-beat interval*) y los LPM instantáneos.

---

<sup>1</sup> MA: *Moving-Average* (filtro de media móvil)

12. Opcional. Mejorar el detector de latidos aplicando las reglas de [5]:
  - a. Establecer como regla que, si dos latidos se detectaron con una separación temporal menor a 200ms, sobrevive sólo aquel que corresponda al pico de la señal mayor entre ambos.
  - b. Establecer como regla que si el IBI instantáneo aumenta repentinamente en al menos 1.5 veces entre muestras consecutivas, puede haberse perdido la detección de un latido. Cuando este sea el caso, realice una nueva detección de picos dentro del intervalo correspondiente, utilizando un umbral la mitad del nominal. Si de esta manera se halla un nuevo pico, distanciando al menos 360ms de la detección precedente, entonces clasificarlo como latido.
13. Opcional. Obtener su propia señal FPG mediante la cámara de su celular y aplicar los análisis y algoritmos desarrollados a esta señal. Para esto, realice una grabación tal como se explicó en la sección 1 y utilice los *scripts* auxiliares de Matlab para extraer los archivos de intensidades y audio del video. Nota: para un mejor resultado en la señal registrada, utilizar el dedo índice aplicando una leve presión sobre la lente, evitando resultar excesivamente suave o fuerte.

## Referencias

- [1] A. J. Camm, M. Malik, J. T. Bigger et al., "Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use," *Circulation*, vol. 93, pp. 1043–1065, 1996.
- [2] J. Allen. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. *Physiological Measurement*, 28:R1–R39, 2007.
- [3] M.J. Gregoski, M. Mueller, A. Vertegel, et al. Development and validation of a smartphone heart rate acquisition application for health promotion and wellness telehealth applications. *International Journal of Telemedicine and Applications*, doi: 10.1155/2012/696324, 2012.
- [4] C.G. Scully, J. Lee, J. Meyer, A.M. Gorbach, D. Granquist-Fraser, Y. Mendelson, and H. Chon Ki. Physiological parameter monitoring from optical recordings with a mobile phone. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(2):303–306, 2012.
- [5] P. Hamilton, "Open source ECG analysis," *Computers in Cardiology*, 2002, pp. 101-104.