

RELACIÓN ENTRE LAS SEÑALES DE FOTOPLETISMOGRAFÍA DE IMAGEN, FOTOPLETISMOGRAFÍA Y ELECTROCARDIOGRAFÍA

Propuesta de Tesis de Maestría
Posgrado en Ingeniería Electrónica
Dr. Bersaín Alexander Reyes (FC-UASLP)

Motivación

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, las enfermedades cardiovasculares son una de las principales causas de muerte a nivel mundial [1]. Para prevenir y tratar adecuadamente estas enfermedades, se requiere de un monitoreo continuo del estatus cardiovascular. En la práctica clínica, la electrocardiografía (ECG) y la fotopletismografía (PPG) son técnicas ampliamente utilizadas para el diagnóstico y monitoreo del estatus cardiovascular. Ambas técnicas resultan de utilidad para el monitoreo de signos vitales, incluyendo la frecuencia cardíaca (*heart rate*, HR) y la frecuencia respiratoria (*respiratory rate*, RR). La frecuencia cardíaca (*heart rate*, HR), definida como el número de ciclos cardíacos por unidad de tiempo, es el signo vital más ampliamente utilizado para monitorear el estado cardíaco, y generalmente se expresa en latidos por minuto (*beats-per-minute*, BPM). Actualmente, se reconoce que el parámetro HR puede ser útil como un índice de propensión a enfermedades cardiovasculares [2]. Por otro lado, también se ha reconocido que el monitoreo del estado respiratorio es relevante para identificar y predecir eventos cardiorrespiratorios adversos [3], donde la frecuencia respiratoria (*respiratory rate*, RR) es un parámetro de monitorización básico que se refiere al número de respiraciones por unidad de tiempo, comúnmente expresado en respiraciones por minuto (*breaths-per-minute*, bpm). Además del monitorio de HR y RR, el análisis de las características morfológicas (e.g., ondas P, Q, R, S y T) y temporales (e.g., los intervalos entre las ondas y segmentos del ECG) resultan de vital relevancia para el diagnóstico de anormalidades cardíacas [4]. A pesar de que los métodos de ECG y PPG han mostrado su utilidad, cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas, por ejemplo, estos monitores de HR y RR no se pueden aplicar fácilmente fuera de entornos clínicos y de investigación para su uso diario, no sólo por profesionales de la salud sino por la población general.

Es bien sabido que los teléfonos inteligentes (*smartphones*) son dispositivos ubicuos cuyas capacidades de hardware y software se actualizan continuamente. Dado el número de sensores costo-efectivos ya incorporados en los smartphones, estos se han utilizado en aplicaciones de monitoreo de signos vitales. Con este fin, los *smartphones* se han empleado principalmente para la estimación de HR mediante técnicas de fotopletismografía de imagen (*image photoplethysmography*, iPPG) de contacto y sin contacto [5]. En el enfoque de contacto, la cámara de vídeo del *smartphone* se emplea análogamente al fotorreceptor en el PPG tradicional, mientras que el diodo emisor de luz (LED) del *flash* se emplea como fuente de iluminación [6]. Así, la frecuencia cardíaca estimada mediante PPG tradicional, denominada frecuencia de pulso (*pulse rate*, PR), también se puede estimar mediante la captura de una secuencia de vídeo en las yemas de los dedos de los sujetos y la extracción de las pulsaciones de sangre sincronizadas con cada latido del corazón. Además, se sabe que las señales ECG y PPG contienen componentes sincronizados con el ritmo respiratorio, que modulan tanto su amplitud como su frecuencia. Por lo tanto, RR también puede estimarse a partir de secuencias de video adquiridas por el smartphone empleando la técnica iPPG de contacto [7]. Más allá de la estimación de estos signos vitales, resulta relevante estudiar la relación entre las señales de iPPG y de PPG, así como entre las señales de iPPG y de ECG, e.g., la posibilidad de sintetizar el ECG y PPG a partir del iPPG.

Ha habido pocos esfuerzos para explorar la relación entre las señales de ECG y PPG, y muchas menos para estudiar la relación entre estas señales y las de iPPG. Por ejemplo, se ha estudiado la variabilidad de la frecuencia cardiaca (*heart rate variability*, HRV) y la variabilidad de la frecuencia de pulso (*pulse rate variability*, PRV) [8], i.e., se ha estudiado la correlación entre las periodicidades del PPG considerando las del ECG como referencia. Además, se ha estudiado la utilidad del análisis de la PRV obtenida a partir de smartphones como un subrogado de del análisis del PRV obtenida a partir del ECG [9]. Más recientemente, se ha estudiado la posibilidad de sintetizar señales de ECG a partir señales de PPG con resultados prometedores [10]. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, ambas técnicas emplean instrumentos biomédicos especializados. Así, en este trabajo de tesis, se propone explorar la relación entre las señales de iPPG, obtenidas en la modalidad de contacto, con las señales de ECG y PPG, obtenidas con dispositivos biomédicos no fácilmente accesibles por el común de la población, dado el potencial de sintetizar señales de ECG y PPG que contienen información clínica relevante a partir de señales de iPPG más fácilmente accesibles.

Objetivo

Explorar la síntesis de señales de fotopleletismografía (PPG) y de señales de electrocardiografía (ECG) a partir de señales de fotopleletismografía de imagen (iPPG) obtenidas con un *smartphone* mediante la modalidad de contacto.

Metodología

Se realizará la estimación de señales de ECG y PPG de sujetos voluntarios sanos a partir de videos obtenidos con un *smartphone*. Inicialmente, se adquirirán videos mientras los sujetos voluntarios realizarán maniobras cardiorrespiratorias que produzcan variaciones en sus frecuencias cardiaca y respiratoria. Después, se implementará un algoritmo de extracción de la señal de iPPG, de acuerdo con esfuerzos previos del grupo de trabajo [11]. En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de una señal de iPPG obtenida con un *smartphone*, así como la señal de ECG adquirida simultáneamente. Las señales de iPPG, ECG e iPPG serán preprocesadas, i.e., filtradas, alineadas, segmentadas y normalizadas, para posteriormente explorar estrategias de modelado, empleando redes neuronales profundas, que permitan sintetizar señales de ECG y PPG a partir de señales de iPPG, e.g., redes neuronales recurrentes como *bidirectional long short-term* (BiLSTM). Finalmente, se analizará el desempeño del sistema propuesto para sintetizar las señales de ECG y PPG, empleando índices de desempeño tales como el análisis de regresión lineal y el valor de la raíz del error cuadrático medio (*root mean squared error*, RMSE). El análisis del desempeño contempla considerar la morfología de las formas de onda de ECG sintetizadas, así como de las periodicidades del ECG sintetizado, i.e., su utilidad para PRV.

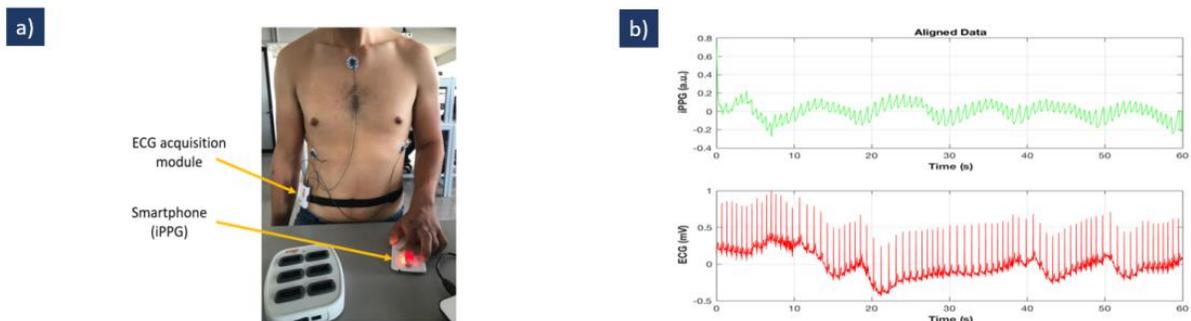


Fig. 1. Ejemplo de señal de fotopleletismografía de imagen (iPPG) de contacto con un *smartphone*. a) Configuración de los sensores. b) Señales de ECG e iPPG adquiridas.

Requisitos

Para el desarrollo de este proyecto se considera necesario que el alumno posea conocimientos y experiencia en la adquisición y procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, instrumentación biomédica y manejo de MATLAB. Se propone que el alumno involucrado en el proyecto curse las materias de Reconocimiento de Patrones y de Detección y Estimación.

Cronograma de Actividades (Julio de 2022 – Agosto de 2023)

Actividad	Mes	2022						2023						
		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Investigación bibliográfica														
Curso I														
Curso II														
Adquisición de datos durante maniobras experimentales														
Extracción y preprocesamiento de señales de iPPG														
Implementación de algoritmos de síntesis de ECG y PPG														
Análisis del desempeño de los algoritmos de síntesis														
Escritura de artículo para congreso														
Escritura de tesis														

Referencias

- [1] World Health Organization, "WHO | The top 10 causes of death," *Global Health Observatory*, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/>
- [2] W. B. Kannel, C. Kannel, R. S. Paffenbarger, and L. A. Cupples, "Heart rate and cardiovascular mortality: the Framingham Study," *Am. Heart J.*, vol. 113, no. 6, pp. 1489–1494, Jun. 1987.
- [3] M. A. Cretikos, R. Bellomo, K. Hillman, J. Chen, S. Finfer, and A. Flabouris, "Respiratory rate: the neglected vital sign," *Med. J. Aust.*, vol. 188, no. 11, p. 657, 2008.
- [4] A. K. Joshi, A. Tomar, and M. Tomar, "A review paper on analysis of electrocardiograph (ECG) signal for the detection of arrhythmia abnormalities," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 3, no. 10, pp. 12466–12475, 2014.
- [5] Y. Sun and N. Thakor, "Photoplethysmography revisited: from contact to noncontact, from point to imaging," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 63, no. 3, pp. 463–477, 2016.
- [6] E. Jonathan and M. Leahy, "Investigating a smartphone imaging unit for photoplethysmography," *Physiol. Meas.*, vol. 31, no. 11, p. N79, 2010, doi: 10.1088/0967-3334/31/11/N01.
- [7] Y. Nam, J. Lee, and K. H. Chon, "Respiratory Rate Estimation from the Built-in Cameras of Smartphones and Tablets," *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 42, no. 4, pp. 885–898, Nov. 2013, doi: 10.1007/s10439-013-0944-x.
- [8] E. Gil, M. Orini, R. Bailón, J. M. Vergara, L. Mainardi, and P. Laguna, "Photoplethysmography pulse rate variability as a surrogate measurement of heart rate variability during non-stationary conditions," *Physiol. Meas.*, vol. 31, no. 9, p. 1271, 2010.
- [9] F. Guede-Fernández, V. Ferrer-Mileo, M. Mateu-Mateus, J. Ramos-Castro, M. Á. García-González, and M. Fernández-Chimeno, "A photoplethysmography smartphone-based method for heart rate variability assessment: device model and breathing influences," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 57, p. 101717, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.bspc.2019.101717.
- [10] Q. Tang *et al.*, "Robust Reconstruction of Electrocardiogram Using Photoplethysmography: A Subject-Based Model," *Front. Physiol.*, p. 645, 2022.
- [11] E. Hernandez-de la Cruz, S. Charleston-Villalobos, T. Aljama-Corrales, and B. Reyes, "Simultaneous Estimation of Instantaneous Heart and Respiratory Rates using Image Photoplethysmography on a Single Smartphone," in *2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, 2021, pp. 311–314.