



MÉTODOS NUMÉRICOS AVANZADOS

TRABAJO PRÁCTICO 2

SEGUNDO CUATRIMESTRE 2017

Heart Beat Rate

Autores:

José Carlos Noriega Defferrari - 51231

Agustin Scigliano - 51277

Tomás de Lucca - 52051

Juan Marcos Bellini - 52056

Keywords:

Photoplethysmography, Fourier Analysis, Fourier Transform, Fast
Fourier Transform

2 de Noviembre de 2017

Índice

1. Introducción	2
2. Metodología	3
2.1. Implementación	3
2.2. Captura de Video	3
2.3. Procesamiento	3
2.4. Medición de frecuencia cardíaca	4
2.5. Cálculo de la transformada discreta de Fourier	5
3. Mediciones y resultados	6
4. Conclusiones	8
5. Bibliografía	9

Abstract

El ritmo cardíaco es uno de los indicadores principales del estado de salud de una persona. Es uno de los signos vitales del ser humano. Conocer dicho parámetro – junto con el resto de los signos vitales – permite revelar el estado fisiológico de los distintos órganos fundamentales del cuerpo. El presente informe documenta el uso de métodos no invasivos de medición de la frecuencia cardíaca haciendo uso de la fotoplestimografía y videos tomados con cámaras de dispositivos móviles.

1. Introducción

Algunos de los problemas cardíacos que causan la muerte de muchas personas hoy día pueden ser evitados con ciertas precauciones que suelen ignorarse, muchas veces debido a la complejidad o molestia que representan los instrumentos de medición para realizar estas tareas.

En el presente informe se analizara un método para medir con cierto grado de precisión la frecuencia cardíaca, uno de los signos vitales del ser humano, mediante el uso de teléfonos celulares, herramienta básica en la sociedad actual. En particular, se hace uso de la cámara del mismo.

El proceso que se detalla en el informe cuenta con una implementación propia de la **transformada rápida de Fourier**, la cual se explica cómo opera, ya que es importante entender su importancia en el proceso para lograr que la medición sea veloz, pero a su vez precisa.

2. Metodología

2.1. Implementación

El desarrollo fue realizado en su totalidad en el lenguaje de programación *python*¹ debido a la facilidad y simplicidad de uso a la hora de realizar operaciones matemáticas que ofrece la librería *numpy*². Para la captura de video se dispone de la librería *OpenCV*³

El cómputo de la transformada discreta de Fourier⁴ se realiza haciendo uso del algoritmo de la transformada rápida de Fourier⁵ o **FFT (Fast Fourier Transformation)**. En particular, se utiliza el algoritmo de **Cooley - Tukey**⁶.

2.2. Captura de Video

La captura de video es realizada utilizando cámaras de dispositivos móviles. Los mismos deben tomar videos de 20 a 30 segundos, que serán utilizados para alimentar el sistema. Este último hace uso de **OpenCV** para obtener cada uno de los fotogramas del video en cuestión, descomponiendo cada uno de ellos en los colores primarios de la luz (**RGB**⁷).

El resultado de este proceso son tres series de fotogramas, uno por cada canal de luz:

$$\begin{aligned}\Phi_r &= [\phi_0^r, \phi_1^r, \dots, \phi_{M-1}^r] \\ \Phi_g &= [\phi_0^g, \phi_1^g, \dots, \phi_{M-1}^g] \\ \Phi_b &= [\phi_0^b, \phi_1^b, \dots, \phi_{M-1}^b]\end{aligned}\tag{1}$$

siendo M la cantidad de fotogramas que contiene el video. Se debe escoger uno de estos tres canales.

$$\Phi = \Phi_\alpha = [\phi_0^\alpha, \phi_1^\alpha, \dots, \phi_{M-1}^\alpha] = [\phi_0, \phi_1, \dots, \phi_{M-1}]\tag{2}$$

en donde $\alpha \in \{r, g, b\}$.

2.3. Procesamiento

Una vez obtenidos todos los fotogramas de cada canal, y habiendo escodido uno de los canales, se procede a truncan la cantidad de estos a la potencia de dos anterior. Esto es necesario debido a que dichos fotogramas conformarán una señal que será procesada mediante el algoritmo de la transformada rápida de Fourier de Cooley - Tukey, el cual exige que la entrada tenga longitud igual a alguna potencia de 2.

$$\Phi' = [\phi_0, \phi_1, \dots, \phi_{N-1}]\tag{3}$$

¹<https://www.python.org/>

²<http://www.numpy.org/>

³<https://opencv.org/>

⁴https://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_Fourier_transform

⁵https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Fourier_transform

⁶https://en.wikipedia.org/wiki/Cooley%E2%80%93Tukey_FFT_algorithm

⁷https://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model

con $N \in \{1, 2, 4, 8, 16, \dots\}$, $N \leq M$.

Luego, para cada uno de los fotogramas que no fueron desechados, se procede a extraer la región de interés. Esta es una zona rectangular del fotograma, parametrizable por el usuario.

$$\Psi = [\psi_0, \psi_1, \dots, \psi_{N-1}] \quad (4)$$

con $\psi_i \subseteq \phi_i$, $i \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$

Seguido a esto, se calcula el valor medio de la región de interés, para cada fotograma. Esta nueva serie de puntos conforma una primera aproximación de la señal a procesar.

$$\Lambda = [\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{N-1}]$$

$$\lambda_i = \frac{1}{L} \sum_{j=0}^L x_j, \quad L = \#\psi_i, \quad x_j \in \psi_i \quad (5)$$

Nótese que L es la cantidad de puntos que conforman cada fotograma ψ_i . Cada punto de éste es representado mediante el símbolo x_j . De esta serie de valores, se calcula el valor medio.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i \quad (6)$$

Finalmente, se obtiene la señal a procesar. La misma se conforma de la diferencia de cada valor obtenido en la ecuación (5), y el valor medio obtenido en la ecuación (6).

$$s = [\lambda_0 - \mu, \lambda_1 - \mu, \dots, \lambda_{N-1} - \mu]$$

$$= [s_0, s_1, \dots, s_{N-1}] \quad (7)$$

La señal obtenida es procesada haciendo uso del cuadrado del valor absoluto de la transformada discreta de Fourier.

$$S = |\mathcal{F}\{s\}|^2 = [S_0, S_1, \dots, S_{N-1}] \quad (8)$$

Luego este resultado es filtrado haciendo uso de un filtro paso banda⁸, cuyo rango es parametrizable por el usuario. Esto es necesario debido a que la señal de entrada suele presentar mucho ruido, y las frecuencias de interés se encuentran en un rango específico.

2.4. Medición de frecuencia cardíaca

Habiendo realizado todo el procesamiento de la señal, se procede a extraer el resultado de la medición. El mismo se obtiene buscando picos de amplitud (positivos o negativos) en la señal procesada. La frecuencia cardíaca resultante es aquella cuyo módulo de amplitud es mayor. Para obtener el resultado en **pulsaciones por minuto** (o **ppm**), se debe multiplicar por 60, ya que la transformada discreta de Fourier entrega el resultado en **Hz**.

⁸https://en.wikipedia.org/wiki/Band-pass_filter

2.5. Cálculo de la transformada discreta de Fourier

Como se menciono anteriormente, para el calculo de la transformada discreta de Fourier (**TDF**), se utiliza el algoritmo **FFT** de **Cooley - Tukey**. El principal motivo es que reduce significativamente la complejidad temporal del problema, haciendo uso de la definición, pasando de una complejidad de $O(n^2)$, a una complejidad de $O(n \log n)$.

Es un algoritmo del tipo **divide and conquer**. Este divide la TDF de tamaño N en TDFs mas pequeños de tamaño $N/2$, limitando el valor de N a potencias de 2. En este caso en particular, se usa una división **radix-2** ya que en cada paso recursivo, se divide la TDF entre índices pares e impares.

```
1 def fft(x):
2     if x is None or not isinstance(x, np.ndarray):
3         raise ValueError("The series must be a non null numpy array")
4     # As we know its going to have a complex part, we need to
       specifically set the type to admit complex
5     x = np.asarray(x, dtype=np.complex)
6     n = len(x)
7     if n <= 1:
8         return x
9
10    if 2 ** int(round(np.log2(n))) != n:
11        raise ValueError("Size of n must be a power of 2")
12
13    even_indexed = fft(x[0::2])
14    odd_indexed = fft(x[1::2])
15    x_k = np.concatenate([even_indexed, odd_indexed])
16
17    for k in range(0, n // 2, 1):
18        k_value = x_k[k]
19        x_k[k] = k_value + np.exp(-2j * np.pi * k / n) * x_k[k + n // 2]
20        x_k[k + n // 2] = k_value - np.exp(-2j * np.pi * k / n) * x_k[k
            + n // 2]
21    return x_k
```

Algoritmo 1: FFT de Cooley - Tukey

3. Mediciones y resultados

Consideraciones

Se han hecho mediciones para observar la precisión del sistema. Las mismas fueron realizadas utilizando la cámara de un iPhone 7 (12 MP, $f/1.8$), con y sin *flash*. Los videos fueron filmados con resolución **full HD (1080 x 1920)**. A continuación se exponen los resultados obtenidos de las mediciones, contrastando los mismos con simples cuentas de pulsaciones durante la filmación de los videos en cuestión.

Los videos han sido procesados por el sistema, indicando mediante parámetros la selección del canal de la señal, el rango del filtro paso banda, y la región de interés. Se han hecho ejecuciones del programa con distintos parámetros.

Cabe destacar que se ha acomodado el rango de frecuencias del filtro únicamente para aquellas mediciones cuya precisión fue baja. En cuanto a la región de interés, se ha la zona delimitada por {600, 630, 300, 360}, donde el primer elemento indica el límite superior, el segundo, el inferior, el tercero, el izquierdo, y el cuarto, el derecho. Nótese que se conforma una región rectangular.

En cuanto a las mediciones de videos si utilizar el flash, estos dieron muy distintos a la simple cuenta. Es por ello que no se incluyen los mismos en los resultados.

Mediciones utilizando el flash

Canal verde

Duración [seg.]	Cuenta	Aproximación [ppm]	Rango de frecuencias [Hz.]	Medición [ppm]
60	69	69	0.4, 7.0	65.04
30	35	70	0.4, 7.0	63.28
15	16	64	0.4, 7.0	56.25
10	13	78	0.4, 7.0	35.16
5	7	84	0.4, 7.0	28.13
2	3	90	0.4, 7.0	56.25
1	2	120	0.4, 7.0	56.25

Tabla 1: Resultados del canal verde utilizando el *flash* de la cámara

Canal rojo

Duración [seg.]	Cuenta	Aproximación [ppm]	Rango de frecuencias [Hz.]	Medición [ppm]
60	69	69	0.4, 7.0	66.80
30	35	70	0.4, 7.0	63.28
15	16	64	0.4, 7.0	63.28
10	13	78	0.4, 7.0	70.31
5	7	84	0.4, 7.0	56.25
2	3	90	0.4, 7.0	56.25
1	2	120	0.4, 7.0	56.25

Tabla 2: Resultados del canal rojo utilizando el *flash* de la cámara

Canal azul

Duración [seg.]	Cuenta	Aproximación [ppm]	Rango de frecuencias [Hz.]	Medición [ppm]
60	69	69	0.4, 7.0	66.80
30	35	70	0.4, 7.0	63.28
15	16	64	0.4, 7.0	63.28
10	13	78	0.4, 7.0	70.31
5	7	84	0.4, 7.0	56.25
2	3	90	0.4, 7.0	56.25
1	2	120	0.4, 7.0	56.25

Tabla 3: Resultados del canal azul utilizando el *flash* de la cámara

Recálculos adaptando el rango de frecuencias del filtro

En estos casos, se ha utilizado únicamente el canal verde.

Duración [seg.]	Cuenta	Aproximación [ppm]	Rango de frecuencias [Hz.]	Medición [ppm]
10	13	78	0.9, 7.0	63.28
5	7	84	0.9, 7.0	70.31
5	7	84	1.2, 7.0	98.44
2	3	90	1.2, 7.0	84.38
1	2	120	2.2, 4.0	168.75

Tabla 4: Resultados de los recálculos adaptando el rango de frecuencias del filtro

4. Conclusiones

Se ha llegado a la conclusión que el método es más preciso con videos de larga duración. Esto, en parte, se debe a que la simple cuenta de pulsaciones contiene un margen de error muy grande (debido a que la cuenta la realiza uno mismo, pero además porque se puede contar de a una pulsación). Al tomar tiempos cortos, el error se propaga de mayor manera cuando se quiere llevar el valor a pulsaciones por **minuto**.

Por otro lado, a pesar de que se esperaba a que el canal verde sea el más preciso, los resultados obtenidos muestran que éste fue el que más varía respecto a la simple cuenta. Además, se puede ver que los resultados para el canal rojo y el canal azul son idénticos.

Finalmente, se puede ver que videos de corta duración pueden aumentar su precisión mediante la aplicación de filtros. Inicialmente, todos los videos se analizan con un filtro paso banda cuyos límites son 0.4 Hz y 7.0 Hz ⁹. Sin embargo, los videos de corta duración necesitan un filtrado más preciso, con el cuál pueden alcanzar mejores resultados. Esto es muy importante porque permite obtener conclusiones médicas ahorrando tiempo (de filmación del video y procesamiento del mismo) y espacio (de almacenamiento del video).

A través de este trabajo se puede llegar a la conclusión de que hay métodos baratos y no invasivos, con alto grado de precisión, para realizar mediciones de alto interés médico (la frecuencia cardíaca es uno de los signos vitales del ser humano). A través de los mismos se pueden construir grandes aplicaciones médicas que podrían servir para salvarle la vida a personas que no tienen los medios para acceder a la medicina.

⁹Según X. Li, J. Chen, G. Zhao, and M. Pietikäinen. Remote heart rate measurement from face videos under realistic situations, estas son las frecuencias de interés del problema

5. Bibliografía

Apuntes de cátedra

- Introducción al análisis armónico
- Series de Fourier
- Transformada de Fourier

Libros

- Peter V. O’Neil. Matemáticas Avanzadas para Ingeniería. Cengage Learning, 6a Edición, 2008

Wikipedia

- Fourier Transform
- Discrete Fourier Transform
- Fast Fourier Transform
- Cooley–Tukey FFT algorithm
- Photoplethysmogram
- Band-pass filter

Papers provistos por la cátedra

- X. Li, J. Chen, G. Zhao, and M. Pietikäinen. Remote heart rate measurement from face videos under realistic situations
- Y. P. Yu, B. H. Kwan, C. L. Lim, S. L. Wong, and P. Raveendran. Video-based heart rate measurement using short-time fourier transform
- P. Pelegris, K. Banitsas, T. Orbach, and K. Marias. A novel method to detect heart beat rate using a mobile phone
- Enock Jonathan and Martin J. Leahy. Cellular phone-based photoplethysmographic imaging
- C. G. Scully, J. Lee, J. Meyer, A. M. Gorbach, D. Granquist-Fraser, Y. Mendelson, and K. H. Chon. Physiological parameter monitoring from optical recordings with a mobile phone
- Mathew J. Gregoski, Martina Mueller, Alexey Vertegel, Aleksey Shaporev, Brenda B. Jackson, Ronja M. Frenzel, Sara M. Sprehn, and Frank A. Treiber. Development and validation of a smartphone heart rate acquisition application for health promotion and wellness telehealth applications

- Yuriy Kurylyak, Francesco Lamonaca, and Domenico Grimaldi. Smartphone based photoplethysmogram measurement
- Kenta Matsumura and Takehiro Yamakoshi. iphysiometer: A new approach for measuring heart rate and normalized pulse volume using only a smartphone

Otros sitios de Internet

- <https://betterexplained.com/articles/an-interactive-guide-to-the-fourier-transform/>
- <https://github.com/podorozhny/fft-python>
- <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1118216/FULLTEXT01.pdf>