

## IEE3773 - Laboratorio de resonancia magnética

### Reconstrucción de imágenes paralelas con SENSE<sup>1</sup>

#### Objetivos

- Aprender a reconstruir imágenes de resonancia magnética.
- Aprender a combinar señales submuestreadas adquiridas utilizando múltiples bobinas.
- Entender la diferencia entre adquisición paralela y submuestreo.

Los archivos **raw** contienen la señal completamente muestreada adquirida utilizando múltiples bobinas y otra completamente muestreada obtenida utilizando la bobina de cuerpo completo.

1. Utilice la función `readListData.m` para leer el espacio  $k$  (el output de la función es una matriz multidimensional de  $N_x \times N_y \times N_z \times N_c$ , donde  $N_i$  (para  $i = \{x, y, z\}$ ) representa el número de lecturas en distintas direcciones y  $N_c$  el número de bobinas).
2. Genere el set de imágenes totalmente muestreadas para cada bobina  $i$ , utilizando

$$m_i = F^{-1}k_i, \quad \forall i = 1, \dots, N_c \quad (1)$$

donde  $m_i$  es la imagen correspondiente a la bobina  $i$ ,  $F$  la transformada de Fourier<sup>2</sup>,  $k_i$  la señal obtenida de corregir el sobre-muestreo en la dirección de lectura para cada bobina  $i$  y  $N_c$  el número de bobinas.

3. Genere el mapa de sensibilidad  $c_i$  para cada una de las bobinas utilizando la imagen  $m_{\text{body}}$ .
4. Obtenga una aproximación de  $m$  a partir de  $m_i$  ( $i = 1, \dots, N_c$ ) utilizando el método de suma de cuadrados y ruido uniforme<sup>3</sup>:

$$m_{\text{sqrt}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_c} |m_i(x, y)|^2}, \quad m_u = \alpha \sum_i \frac{m_i \circ c_i^*}{\sqrt{c_i \circ c_i^*}} \quad (2)$$

donde  $\alpha$  es una constante de escalamiento,  $c_i$  la sensibilidad de la bobina  $i$  y  $\circ$  el producto de Hadamard. En la expresión anterior se asumió que la matriz de correlación de ruido era la identidad.

5. Genere tres patrones de submuestreo uniformes ( $U_1, U_2, U_4$ ) con factores de submuestreo de 2x y 4x (el patrón de 1x corresponde a la imagen completamente muestreada).

Los patrones de submuestreos se definen como

$$U_{IJ} = \begin{cases} 1 & \text{si el dato es muestreado} \\ 0 & \text{en el caso contrario} \end{cases} \quad (3)$$

<sup>1</sup>Pruessmann, K. P., Weiger, M., Scheidegger, M. B., and Boesiger, P. (1999). SENSE: Sensitivity encoding for fast MRI. Magnetic Resonance in Medicine.

<sup>2</sup>Puede utilizar las funciones `itok.m` e `ktoi.m` (disponibles en el repositorio del curso) para realizar la transformada de Fourier.

<sup>3</sup>Roemer, P. B., Edelstein, W. A., Hayes, C. E., Souza, S. P., and Mueller, O. M. (1990). The NMR phased array. Magnetic Resonance in Medicine.

Un ejemplo de patrón de submuestreo uniforme se muestra en la siguiente figura:

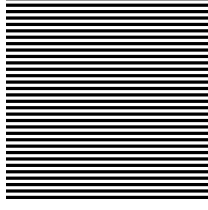


Figura 1: Patrón de submuestreo  $U_2$ .

6. Obtenga las imagenes aliadas para cada patrón de submuestreo, utilizando la formulación

$$b_i = F^{-1}Uk_i, \quad \forall i = 1, \dots, N_c \quad (4)$$

donde  $U$  es el patrón de submuestro,  $F$  la transformada de Fourier y  $b_i$  son las imagenes aliadas para cada bobina.

7. El problema de reconstrucción para una adquisición paralela y submuestreada utilizando SENSE se puede formular como el siguiente problema lineal:

$$E\hat{m} = B \quad (5)$$

donde  $\hat{m}$  es la imagen a reconstruir,  $E = UFC$  representa el operador de submuestreo (con  $U$  el patrón de submuestreo,  $F$  la transformada de Fourier y  $C$  la sensibilidad para todas las bobinas) y  $B$  la seal submuestreada en el espacio  $k$ . La imagen  $\hat{m}$  se puede obtener de la resolución del siguiente problema de optimización:

$$\min_{\hat{m}} \|E\hat{m} - B\| \quad (6)$$

que equivalentemente se reduce a encontrar  $\hat{m}$  que satisface

$$E^H E\hat{m} = E^H B \quad (7)$$

donde  $()^H$  corresponde a la transposición Hermitiana.

Implemente el método de gradiente conjugado<sup>4</sup> (GC) para resolver 7.

8. Compare los resultados obtenidos con la imagen reconstruida utilizando SENSE con datos completamente muestreados. Como mtrica de error utilice el Error Cuadrático Medio (MSE) definido como

$$MSE = \sum_{i=1}^L |m_i - \hat{m}_i|^2 \quad (8)$$

donde  $L$  es el número de pixeles en la imagen y  $()_i$  indica el valor de  $m_i$  y  $\hat{m}_i$  en el pixel  $i$ .

Grafique el número de iteraciones versus el MSE para los patrones de submuestreo uniforme y aleatorio.

9. Compare los resultados obtenidos en (f) y (g) para los distintos factores de submuestreo<sup>5</sup>. Comente qué sucede al aumentar el número de iteraciones.

---

<sup>4</sup>Revise la entrada de GC en wikipedia.

<sup>5</sup>En la comparación debe comentar aquellos resultados y detalles que le parecieron ms interesantes.