

IEE3773 - Laboratorio de resonancia magnética

Reconstrucción de imágenes paralelas con SENSE¹

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 Fourier², 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_{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 uniforme³:

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

donde α es una constante de escalamiento (asuma $\alpha = 1$), 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

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

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

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

³Roemer, 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:

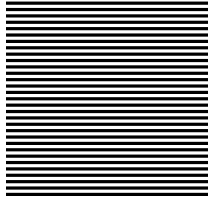


Figura 1: Patrón de submuestreo U_2 .

6. Obtenga las imágenes 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 submuestreo, F la transformada de Fourier y b_i son las imágenes 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 señal 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 conjugado⁴ (GC) para resolver 7.

8. Compare los resultados obtenidos con la imagen reconstruida utilizando SENSE con datos completamente muestreados. Como métrica 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 píxeles en la imagen y $()_i$ indica el valor de m_i y \hat{m}_i en el píxel i .

Grafique el número de iteraciones versus el MSE para los distintos patrones de submuestreo. Comente qué sucede al aumentar el número de iteraciones

⁴Revise la entrada de GC en wikipedia.