

Alumno

Leonel Exequiel Gómez
LU: 436/07, UBA
leexgo1987@gmail.com

Director

Demián Wassermann
Investigador Permanente Athena Project Team, INRIA
demian.wassermann@inria.fr

La Resonancia Magnética de difusión (dMRI en inglés) es una técnica útil para generar imágenes del cerebro, sin la necesidad de someter al paciente a un procedimiento quirúrgico. Las imágenes construidas por esta técnica están fuertemente relacionadas con la difusión de las partículas de agua en los tejidos. Estas proveen valiosa información sobre la micro-estructura de los diferentes tipos de tejidos del cerebro (LeBihan and Breton 1985). En la actualidad, es la única técnica capaz de evaluar la conectividad neuronal en un cerebro humano vivo y por lo tanto posee un enorme potencial para resolver problemas actuales en el área de la neurociencia. Los estándares de resolución de hoy en día de dichas imágenes, permiten hacer diversos análisis sobre conjuntos de fibras de mediano y gran tamaño. Sin embargo, estos análisis pierden precisión en regiones donde los grupos de axones son muy pequeñas en comparación al tamaño del voxel (4 órdenes de magnitud más pequeños). Consecuentemente, existe la necesidad de incrementar tanto la resolución espacial, angular y temporal de las imágenes dMRI. Dado que el dominio de muestreo de la señal que da origen a este tipo de imágenes, no es solo espacial. Este comprende además la intensidad del gradiente de difusión aplicado, la dirección del mismo y el tiempo de difusión (espacio q [Callaghan et al., 1990]). Es por ello que decimos que estas imágenes poseen resolución angular y temporal. La baja relación señal ruido y el tiempo de adquisición de las imágenes dMRI son unos de los principales factores que limitan la resolución de las mismas. Hoy en día, existen escáners que pueden producir imágenes con muy alta resolución. Pero los mismos son muy costosos e imprácticos para escenarios clínicos.

Para obtener detalles más finos sobre las características micro-estructurales del tejido cerebral, como por ejemplo el diámetro axonal promedio en voxel, se puede ajustar un modelo matemático a los datos adquiridos. Uno de los principales objetivos de los modelos de difusión es recuperar información más detallada sobre la orientación de las fibras, haciendo uso del conocimiento a priori que se posee sobre la anatomía de los tejidos neuronales. Entre ellos se encuentra el modelo *Diffusion Tensor Imaging* (DTI). En el cual se representa la señal de difusión con un tensor de segundo orden [Basser et al., 1994]. También existen modelos más complejos como por ejemplo MAPL [Fick et al., 2016]. El mismo pertenece a una familia de modelos que parte del enfoque de representar la señal de difusión con herramientas de análisis armónico. Este extiende el pre-existente modelo llamado *Mean Apparent Propagator* (MAP) (Ozarslan et al., [2013b]), utilizando la norma del Laplaciano de la señal de difusión, como regularización en el ajuste de los coeficientes que MAP define.

Como consecuencia a los pocos escáners con buena resolución y la imposibilidad de aplicarlos en escenarios clínicos, recientemente varias técnicas han sido propuestas para obtener imágenes con alta resolución. Como por ejemplo transferencia de calidad de imágenes (*image quality transfer* en inglés). La cual consiste en explotar la información presente en imágenes adquiridas con alta resolución para mejorar otras con baja resolución [Alexander et al., 2014]. También la técnica conocida como súper-resolución, en la cual se obtiene una imagen con alta resolución utilizando varias imágenes en baja resolución. Estas se adquieren siguiendo un esquema determinado y deben ser del mismo sujeto [Irani et al., 1993, Robinson et al., 2010, Ning et al., 2016]. Estas técnicas pueden mejorar la resolución de las imágenes usando la representación de la señal de difusión, tal como la adquieren los escáners, o pueden utilizar algún modelo de la señal de difusión, de los tantos que existen en el área. Por ejemplo en el trabajo de Alexander et al. [2014] proponen hacer transferencia de calidad de imágenes utilizando algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning* del inglés) usando los modelos DTI y NODDI [Zhang et al., 2012]. La novedad de este trabajo es que el realce se hace sobre los parámetros del modelo de difusión y no sobre la señal de

difusión tal como la adquieren los escáners. En cambio el trabajo de Ning et al. [2016] combinan la técnica de súper-resolución con el modelo de difusión *compressed-sensing* [Naidoo et al., 2015]. A diferencia del primer trabajo, utilizan un algoritmo de optimización convexa para reconstruir la imagen con alta calidad. En ambos casos el algoritmo depende fuertemente del modelo seleccionado para representar la señal de difusión.

El objetivo de este trabajo es diseñar, por primera vez, una técnica de transferencia de calidad imágenes, para el modelo *Multi-Spherical Diffusion MRI* que toma en cuenta además la dimensión temporal [Fick et al.]. Este modelo es el único al momento que utiliza el análisis armónico para modelar la señal de difusión en función del espacio q y del tiempo de difusión. Lo cual es difícil, debido a que encontrar la manera más adecuada de muestrear un dominio de semejantes proporciones, con el fin de reconstruir fielmente la señal resulta sumamente complicado. Tanto la complejidad espacial, como temporal de las operaciones necesarias para trabajar con estos volúmenes de datos, representan un desafío computacional, en cuanto a desarrollar un algoritmo eficiente que lleve a cabo el realce buscado. Para ello plantearemos el objetivo en términos de un problema de optimización convexa, imponiendo además suavidad en la imagen resultante, dado la correlación que existe entre voxels vecinos. Plantearlo de esta manera nos permitirá sacar ventajas de la naturaleza esparza de la señal de difusión. Además dada la heterogeneidad de los tejidos neuronales, usaremos algoritmos de aprendizaje automático con el fin de clasificar los tipos de tejidos, para poder hacer un realce más preciso según la región de la imagen. Utilizaremos la base de datos *Human Connectome Project* [Sotiropoulos et al., 2013], la cual posee gran cantidad de imágenes dMRI con estándares de resolución muy alta.

References

- Daniel C. Alexander, Darko Zikic, Jiaying Zhang, Hui Zhang, and Antonio Criminisi. Image quality transfer via random forest regression: Applications in diffusion MRI. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 8675 LNCS(PART 3):225–232, 2014. ISSN 16113349. doi: 10.1007/978 – 3 – 319 – 10443 – 0₂₉.
- Peter J. Basser, J. Mattiello, and D. Leblond. Estimation of the Effective Self-Diffusion Tensor from the NMR Spin Echo. *Journal of Magnetic Resonance, Series B*, 103 (3):247–254, March 1994. ISSN 10641866. doi: 10.1006/jmrb.1994.1037. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1064186684710375>.
- P T Callaghan, D MacGowan, K J Packer, and F O Zelaya. High-resolution q-space imaging in porous structures. *Journal of Magnetic Resonance (1969)*, 90(1):177–182, 1990. ISSN 0022-2364. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-2364\(90\)90376-K](http://dx.doi.org/10.1016/0022-2364(90)90376-K). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002223649090376K>.
- Rutger H J Fick, Alexandra Petiet, Mathieu Santin, Stephane Lehericy, Rachid Deriche, and Demian Wassermann. Multi-Spherical Diffusion MRI : Exploring Diffusion Time Using Signal Sparsity.
- Rutger H J Fick, Demian Wassermann, Emmanuel Caruyer, and Rachid Deriche. MAPL: Tissue microstructure estimation using Laplacian-regularized MAP-MRI and its application to {HCP} data. *NeuroImage*, 134:365–385, 2016. ISSN 1053-8119. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.03.046>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811916002512>.
- Michal Irani, Michal Irani, Shmuel Peleg, and Shmuel Peleg. Motion Analysis for Image Enhancement: Resolution, Occlusion, and Transparency. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 4(4):324–335, dec 1993. ISSN 10473203. doi: 10.1006/jvci.1993.1030. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1047320383710308>.
- Anushka Naidoo, Kogieleum Naidoo, Nonhlanhla Yende-zuma, and Tanuja N Gengiah. NIH Public Access. 19(2):161–169, 2015. ISSN 00029378. doi: 10.3851/IMP2701.Changes.
- Lipeng Ning, Kawin Setsompop, Oleg Michailovich, Nikos Makris, Martha E. Shenton, Carl Fredrik Westin, and Yogesh Rathi. A joint compressed-sensing and super-resolution approach for very high-resolution diffusion imaging. *NeuroImage*, 125: 386–400, 2016. ISSN 10959572. doi: 10.1016/j.neuroimage.2015.10.061. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.061>.
- M Dirk Robinson, Stephanie J Chiu, Cynthia a Toth, Joseph a Izatt, and Joseph Y Lo. Novel Applications of Super-resolution in Medical Imaging. *Super-Resolution Imaging*, pages 383–412, 2010. ISSN 0010-4620. doi: 10.1093/comjnl/bxm075. URL http://duke.edu/~sf59/Medical_SR_chapter10.pdf.
- Stamatios N Sotiropoulos, Saad Jbabdi, Junqian Xu, Jesper L Andersson, Steen Moeller, Edward J Auerbach, Matthew F Glasser, Moises Hernandez, Guillermo Sapiro, Mark Jenkinson, David A Feinberg, Essa Yacoub, Christophe Lenglet, David C Van Essen, Kamil Ugurbil, and Timothy E J Behrens. Advances in diffusion {MRI} acquisition and processing in the Human Connectome Project. *NeuroImage*, 80:125–143, 2013. ISSN 1053-8119. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.057>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S105381191300551X>.
- Hui Zhang, Torben Schneider, Claudia A Wheeler-Kingshott, and Daniel C Alexander. NODDI: Practical in vivo neurite orientation dispersion and density imaging of the human brain. *NeuroImage*, 61(4):1000–1016, 2012. ISSN 10538119. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.03.072. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.072>.