

Método para Validar Técnicas de Tractografía por Medio de la Distribución de la Orientación de las Fibras (TOD)

Ramón Aranda
CIMAT A.C.
Mérida, Yucatán
arac@cimat.mx

Miguel Ángel Álvarez-Carmona
CIMAT A.C.
Monterrey, N.L.
miguel.alvarez@cimat.mx

Gabriel Aguilar Farrera
CIMAT A.C.
Monterrey, N.L.
gabriel.farrera@cimat.mx

I. INTRODUCCIÓN

La tractografía de materia blanca es una técnica que estima las vías de los tractos neuronales para determinar tanto la estructura como la conectividad del cerebro [1], [2]. La existencia de los tractos neuronales sólo había sido demostrada mediante técnicas histoquímicas y biológicas en muestras post mortem. Muchas estructuras de la sustancia blanca han sido bien documentadas en estudios anatómicos [3]. Sin embargo, los tractos cerebrales no se identifican bien mediante el examen directo de tomografías computarizadas o imágenes de resonancia magnética (IRM) regulares. Esto explica las funciones poco comprendidas de la materia blanca y la descripción inexacta del atlas neuroanatómico basado tracto neuronales [4]. A pesar de esto, la tractografía se ha usado para realizar estudios sobre desorden psiquiátrico y planificación quirúrgica [5], [6].

II. OBJETIVOS

La validación de los métodos de tractografía siempre ha sido un tema importante, ya que la exactitud y la replicabilidad de sus resultados es clave para el avance en conocer más las estructuras cerebrales y es una de las claves para poder estimar de manera precisa la estructura cerebral [4], [7], [8]. Por lo que en este trabajo se tiene por objetivo principal proponer un método de validación para los algoritmos de tractografía cerebral por medio de de la Distribución de la Orientación de las Fibras (TOD, por sus siglas en ingles) [9].

III. METODOLOGÍA PROPUESTA

Para mapear la distribución de los tractos cerebrales en el dominio espacial, el número de tractos que pasan por un único vóxel determina directamente el peso de ese vóxel en la distribución final. Esto es conceptualmente similar a un histograma, donde la presencia de puntos de datos se cuenta en contenedores discretos. Sin embargo, para la parte angular de la distribución se emplea una base de los armónicos esféricos modificada [10] para obtener directamente una representación continua del TOD [9].

Basándonos en la idea de TOD, se propone la siguiente metodología para la validación de métodos de tractografía:

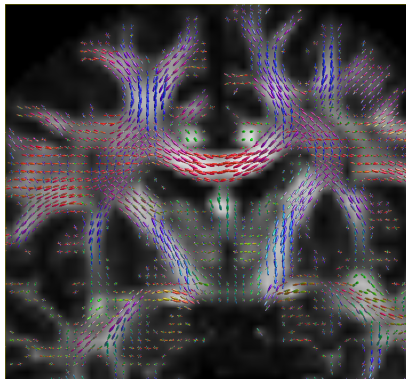
- 1) Dada como entrada un estudio de Imágenes de Resonancia Magnética Pesada por Difusión (DW-MRI):
 - a) Calculamos la Distribución de la Orientación de las Fibras (FOD).
 - b) Utilizando la FOD, estimamos los tractos cerebrales usando el método de tractografía cerebral a evaluar (T_0).
 - c) Calculamos el conectoma, C_0 , a partir de T_0 .
- 2) Dada la tractografía, T_0 , fijamos $i = 1$, y repetimos lo siguiente:
 - a) Estimamos la TOD a partir de T_{i-1} .
 - b) Estimamos los tractos cerebrales usando el método de tractografía cerebral, para generar T_i .
 - c) Calculamos el Conectoma C_i .
 - d) El proceso termina cuando la correlación de Pearson entre el C_0 y C_i sea menor cierto umbral ϵ .

La idea detrás de la propuesta presentada es que si el algoritmo de tractografía hace buenas estimaciones de la estructura cerebral, las diferencias entre las iteraciones $i-1$ e i serán muy pequeñas. Si el algoritmo de tractografía no es muy bueno, los cambios se verán rápidamente entre las iteraciones $i-1$ e i , por lo que iterará muy poco.

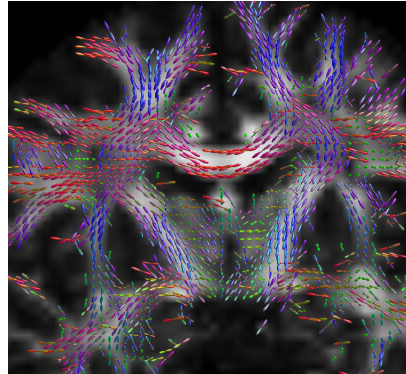
IV. RESULTADOS

En esta sección presentamos los resultados obtenidos al probar el método determinístico de tractografía FACT [11], por medio de la implementación de MRtrix3 [12]. Para el calculo de las T_i , el FACT se ejecuto con los parámetros por defecto de MRtrix3, excepto el número de streamlines que fue fijado a 1000000.

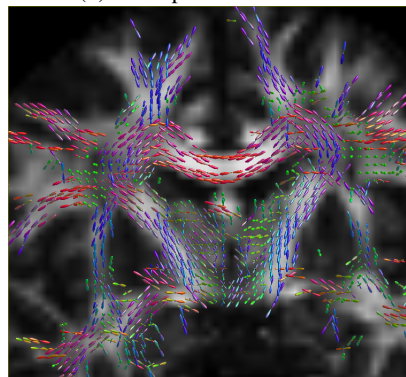
La figura 1 muestra la FOD (imagen 1a) que se calcula a partir de las imágenes DW-MRI, así las TODs de la primera y segunda iteración de la propuesta (imágenes 1b y 1c). Para el caso del FACT, claramente se puede ver como entre la iteración 1 y la 2 hay un gran cambio. Lo que significa que el algoritmo no puede estimar muy bien las estructuras cerebrales.



(a) FOD



(b) TOD primera iteración



(c) TOD segunda iteración

Fig. 1: Resultados

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una metodología para validar la calidad de las estimaciones de los tractos cerebrales a partir de la TOD. Aunque se presentaron los primeros resultados con un método poco robusto como lo es el FACT, la metodología propuesta puede tener potencial, sin embargo, aun necesita más validaciones con otros métodos de tractografía.

Aunque esta es una primera aproximación, la idea detrás suena prometedora, como trabajo futuro se compararán otros métodos y se buscará la mejor configuración de parámetros para hacer validaciones más precisas.

REFERENCES

- [1] R. Xue, P. C. van Zijl, B. J. Crain, M. Solaiyappan, and S. Mori, "In vivo three-dimensional reconstruction of rat brain axonal projections by diffusion tensor imaging," *Magnetic Resonance in Medicine*, vol. 42, no. 6, pp. 1123–1127, 1999.
- [2] T. E. Conturo, N. F. Lori, T. S. Cull, E. Akbudak, A. Z. Snyder, J. S. Shimony, R. C. McKinstry, H. Burton, and M. E. Raichle, "Tracking neuronal fiber pathways in the living human brain," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 96, no. 18, pp. 10422–10427, 1999.
- [3] T. Williams, N. Gluhbegovic, J. Jew, V. Hospital, and U. o. I. H. Care, *The Human Brain: Dissections of the Real Brain*. University of Iowa, 1999.
- [4] K. G. Schilling, F. Rheault, L. Petit, C. B. Hansen, V. Nath, F.-C. Yeh, G. Girard, M. Barakovic, J. Rafael-Patino, T. Yu, E. Fischl-Gomez, M. Pizzolato, M. Ocampo-Pineda, S. Schiavi, E. J. Canales-Rodríguez, A. Daducci, C. Granziera, G. Innocenti, J.-P. Thiran, L. Mancini, S. Wastling, S. Cocozza, M. Petracca, G. Pontillo, M. Mancini, S. B. Vos, V. N. Vakharia, J. S. Duncan, H. Melero, L. Manzanedo, E. Sanz-Morales, Ángel Peña-Melián, F. Calamante, A. Attyé, R. P. Cabeon, L. Korobova, A. W. Toga, A. A. Vijayakumari, D. Parker, R. Verma, A. Radwan, S. Sunaert, L. Emsell, A. De Luca, A. Leemans, C. J. Bajada, H. Haroon, H. Azadbakht, M. Chamberland, S. Genc, C. M. Tax, P.-H. Yeh, R. Srikanchana, C. D. Mcknight, J. Y.-M. Yang, J. Chen, C. E. Kelly, C.-H. Yeh, J. Cochereau, J. J. Maller, T. Welton, F. Almairac, K. K. Seunarine, C. A. Clark, F. Zhang, N. Makris, A. Golby, Y. Rathi, L. J. O'Donnell, Y. Xia, D. B. Aydogan, Y. Shi, F. G. Fernandes, M. Raemaekers, S. Warrington, S. Michielse, A. Ramirez-Manzanares, L. Concha, R. Aranda, M. R. Meraz, G. Lerma-Usabiaga, L. Roitman, L. S. Fekonja, N. Calarco, M. Joseph, H. Nakua, A. N. Voineskos, P. Karan, G. Grenier, J. H. Legarreta, N. Adluru, V. A. Nair, V. Prabhakaran, A. L. Alexander, K. Kamagata, Y. Saito, W. Uchida, C. Andica, M. Abe, R. G. Bayrak, C. A. G. Wheeler-Kingshott, E. D'Angelo, F. Palesi, G. Savini, N. Rolandi, P. Guevara, J. Houenou, N. López-López, J.-F. Mangin, C. Poupon, C. Román, A. Vázquez, C. Maffei, M. Arantes, J. P. Andrade, S. M. Silva, V. D. Calhoun, E. Caverzasi, S. Sacco, M. Lauricella, F. Pestilli, D. Bullock, Y. Zhan, E. Brignoni-Perez, C. Lebel, J. E. Reynolds, I. Nestrasil, R. Labounek, C. Lenglet, A. Paulson, S. Aulicka, S. R. Heilbronner, K. Heuer, B. Q. Chandio, J. Guaje, W. Tang, E. Garyfallidis, R. Raja, A. W. Anderson, B. A. Landman, and M. Descoteaux, "Tractography dissection variability: What happens when 42 groups dissect 14 white matter bundles on the same dataset?," *NeuroImage*, vol. 243, p. 118502, 2021.
- [5] G. Videtta, L. Squarcina, M. G. Rossetti, P. Brambilla, G. Delvecchio, and M. Bellani, "White matter modifications of corpus callosum in bipolar disorder: A dti tractography review," *Journal of Affective Disorders*, vol. 338, pp. 220–227, 2023.
- [6] M. Sharma, P. L. Plou, K. Gunawan, M. Ivan, and C. C. Chen, "Survey assessment of utility in the preoperative magnetic resonance (mr) tractography surgical planning," *World Neurosurgery*, 2023.
- [7] M.-A. Côté, G. Girard, A. Boré, E. Garyfallidis, J.-C. Houde, and M. Descoteaux, "Tractometer: Towards validation of tractography pipelines," *Medical Image Analysis*, vol. 17, no. 7, pp. 844–857, 2013. Special Issue on the 2012 Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention.
- [8] I. Drobnyak, P. Neher, C. Poupon, and T. Sarwar, "Physical and digital phantoms for validating tractography and assessing artifacts," *NeuroImage*, vol. 245, p. 118704, 2021.
- [9] T. Dhollander, L. Emsell, W. Van Hecke, F. Maes, S. Sunaert, and P. Suetens, "Track orientation density imaging (todi) and track orientation distribution (tod) based tractography," *NeuroImage*, vol. 94, pp. 312–336, 2014.
- [10] M. Descoteaux, E. Angelino, S. Fitzgibbons, and R. Deriche, "Apparent diffusion coefficients from high angular resolution diffusion imaging: Estimation and applications," *Magnetic Resonance in Medicine*, vol. 56, no. 2, pp. 395–410, 2006.
- [11] S. Mori, B. J. Crain, V. P. Chacko, and P. C. M. Van Zijl, "Three-dimensional tracking of axonal projections in the brain by magnetic resonance imaging," *Annals of Neurology*, vol. 45, no. 2, pp. 265–269, 1999.
- [12] J.-D. Tourmier, R. Smith, D. Raffelt, R. Tabbara, T. Dhollander, M. Pietsch, D. Christiaens, B. Jeurissen, C.-H. Yeh, and A. Connelly, "Mrtrix3: A fast, flexible and open software framework for medical image processing and visualisation," *NeuroImage*, vol. 202, p. 116137, 2019.