

Jakob Wasserthal  
Dr. sc. hum.

## **Bundle-specific tractography with machine learning**

Einrichtung: DKFZ

Doktorvater: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Klaus Hermann Maier-Hein

Während die großen Faserbündel in der Weißen Substanz des menschlichen Gehirns für zahlreiche neurowissenschaftliche und medizinische Studien von großem Interesse sind, ist ihre manuelle Präparation aus dMRI-Traktogrammen zeitaufwändig, erfordert Expertenwissen und ist schwer zu reproduzieren. Zur Automatisierung dieses Prozesses wurden in der Vergangenheit Region-of-Interest oder clusterbasierte Ansätze verwendet. Die Ergebnisse dieser Ansätze sind jedoch oft qualitativ unzureichend. Darüber hinaus benötigen sie komplexe und rechenintensive Analysepipelines, deren Einrichtung viel Zeit in Anspruch nimmt.

Diese Arbeit stellt einen neuartigen Ansatz für die Rekonstruktion von Faserbündeln aus diffusionsgewichteten Bildern vor, der ein neues Level an Genauigkeit und Geschwindigkeit erreicht. Möglich wird dies durch die Nutzung der kürzlich eingeführten Deep-Learning-Algorithmen. Die dargestellte Methode funktioniert folgendermaßen:

Zunächst wird ein Trainingsdatensatz erstellt, indem 72 Faserbündel in 105 Probanden aus dem Human Connectome Project Datensatz extrahiert werden. Eine erste Version der Bündel wird mit Hilfe der bereits existierenden Traktographiewerkzeuge extrahiert. In einem zweiten Schritt werden die Bündel dann von einem Experten manuell verfeinert. Dies führt zu einem qualitativ hochwertigen Trainingsdatensatz.

Zweitens wird ein Convolutional Neural Network (genauer gesagt ein U-Net) trainiert, um eine binäre Segmentierung jedes Bündels zu erlernen. Als Input nimmt das Netzwerk die drei wichtigsten Faserorientierungen, welche durch Constrained Spherical Deconvolution (CSD) generiert werden.

Drittens wird ein weiteres U-Net trainiert, um den Start- und Endbereich jedes Bündels zu erlernen.

Viertens wird die Hauptrichtung jedes Bündels in jedem Voxel gelernt. Die Richtungen aller Fasern in jedem Voxel für jedes Bündel werden gruppiert. Dann wird der Mittelwert des größten Clusters als Hauptrichtung des Bündels in diesem Voxel genommen. Jetzt wird ein weiteres U-Net trainiert, um diese Hauptrichtung zu lernen. Das Ergebnis ist eine Tract Orientation Map (TOM) für jedes Bündel, die genau die Richtung des Bündels angibt. Dadurch wird das Problem der mehrdeutigen Faserkreuzungen vollständig vermieden.

Fünftens kann probabilistisches Tracking auf den TOMs ausgeführt werden und durch die Bündelmasken sowie die Start- und Endbereichsmasken gefiltert werden.

Dieser Ansatz ermöglicht faserbündel-spezifisches Tracking mit hoher Genauigkeit. Sowohl im qualitativ hochwertigen Trainingsdatensatz als auch im klinischen Datensatz und im Phantom-Datensatz übertrifft der vorgeschlagene Ansatz sieben Referenzmethoden mit großem Abstand.

Obwohl der Ansatz nur auf einem einzigen Datensatz trainiert wird, generalisiert er gut auf Datensätze, die von verschiedenen Scannern mit unterschiedlichen Einstellungen erfasst wurden, was auf 17 verschiedenen Datensätzen validiert wurde. Der Ansatz generalisiert auch gut zu Pathologien und zeigt anatomisch plausible Ergebnisse bei Patienten mit Schizophrenie, Alzheimer, Multipler Sklerose, Autismus und abnormaler Gehirnanatomie wie Atrophie oder vergrößerten Ventrikeln.

Dieser Ansatz kann auch zur Analyse von Faserbündeleigenschaften in Gruppenstudien eingesetzt werden. In dieser Arbeit wird er auf Katatoniepatienten angewendet und zeigt mikrostrukturelle Veränderungen der weißen Substanz entlang von Bündeln, die bisher nicht untersucht wurden.

Die vorgeschlagene Methode ist als einfach zu verwendendes Python-Paket frei verfügbar. Das Paket enthält ein vortrainiertes Modell und kann daher ohne vorheriges Training direkt verwendet werden. Der Trainingsdatensatz ist ebenfalls frei verfügbar.

Die vorgeschlagene Methode wird bereits von über 40 Forschungseinrichtungen aus der ganzen Welt eingesetzt, darunter mehrere der führenden Forschungsgruppen aus dem Gebiet der Traktographie. Der Datensatz wurde über 3500 mal heruntergeladen.