A pipeline for automatic semantic annotation of human connectomics revealed by diffusion tractography

Tristan Moreau and Bernard Gibaud

Signal and Image Processing Laboratory (LTSI). U1099 INSERM. University of Rennes 1. France

◆□→ ◆舂→ ◆注→ ◆注→ 注目

What is the human connectome? What is an ontology?

What is the human connectome?

Definition

[Sporns. 2013. The human connectome : origins and challenges.]

- "The connectome is a comprehensive map of neural connections whose purpose is to illuminate brain function."
- Microscopic scale ($\sim 1 \mu m$) : neurons, synapses, dendrites.
- Macroscopic scale ($\geq 1cm$) : gray matter regions, white matter fiber bundles.



< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

Different neuroimaging modalities to map the human connectome at macroscopic scale



What is an ontology?

"An ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualization" [Gruber 1993].



イロト イヨト イヨト イヨト ヨー わくで

ONTOLOGY

Introduction Design and implementation Application on real dataset

What is the human connectome? What is an ontology?

What ontologies can do for us?

Needs

- Comparing data across scales, modalities and species remains challenging.
- New neuroinformatics tools that allow different levels of granularity of multi-modal connectivity data to be described, shared, integrated and compared.

Ontologies can...

 ...provide a suitable integrative framework for domain knowledge as well as a tool to facilitate information retrieval, data sharing and data comparisons across scales, modalities and species.

・ロン ・聞と ・ ヨン ・ ヨン

Scenario Human Connectomics Ontology Desciption of the pipeline

Plan : a pipeline for automatic semantic annotation of human connectomics revealed by diffusion tractography

Introduction

- 2 Design and implementation
- Application on real dataset
- ④ Discussion and conclusion

<mark>Scenario</mark> Human Connectomics Ontology Desciption of the pipeline

Scenario

Competency questions inspired of the medial frontal cortex connectivity [Johansen-Berg et al. 2004. Change in connectivity profiles define functionally distinct regions in human medial...]

- Which parts of the medial frontal cortex are connected to the corticospinal tract or to some parts of the right precentral gyrus?
- Which parts of the medial frontal cortex are connected to some parts of the medial parietal cortex or to the inferior frontal cortex ?



Tristan Moreau LTSI tristan.soyyo@gmail.com A pipeline for automatic semantic annotation of connectomics

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

Scenario Human Connectomics Ontology Desciption of the pipeline

Human Connectomics Ontology (HCO)

HCO¹ is based on the Foundational Model of Anatomy² (FMA) [1- Moreau et al. 2015. Ontology-based approach for in vivo human connectomics...] [2- Rosse et al. 2003. A reference ontology for biomedical informatics : the foundational model of anatomy.]

- Gray_matter_part : any cell part cluster constituting a part of a gray matter region.
- MR_Node : any Gray_matter_part in brain images where a connection assessed by diffusion tractography begins or ends.
- White_matter_part : Any cell part cluster constituting a part of a white matter region.
- MR_Route : Any physical route of white matter fiber bundles reconstructed by diffusion tractography that links two MR_Node in brain images.
- tracto_connects : links an MR_Route to an MR_Node.
- <u>mr_connection</u> : denotes the existence of a pathway assessed by tractography linking 2 MR_Node.

Scenario Human Connectomics Ontology Desciption of the pipeline

Pipeline (OWL API)



Part-whole relationships between gray matter regions

- Mapping : row $i \rightarrow$ rh.superiorfrontal_3.label.
- Creation of an instance of Gray_matter_part.
- regional_part_of Gray_matter_of_right_superior_frontal_gyrus.

・ロト ・同ト ・ヨト ・ヨト

Scenario Human Connectomics Ontology Desciption of the pipeline

Pipeline (OWL API)



Connectivity and part-whole relationships

- The two gray matter regions (row, column) are represented as instances of **MR_Node** and related using **mr_connection**.
- An instance of **MR_Route** is created and related to the 2 **MR_Node** using the **tracto_connects** relationship.
- Part-whole relationship between the route of the connection and white matter fiber bundle : **regional_part_of**.

Representation using terms of the HCO Competency questions

Plan : Application on real dataset

Application on real dataset

- Representation using terms of the HCO
- Competency questions

・ 同 ト ・ ヨ ト ・ ヨ ト

Application on real dataset (5 healthy subjects)



Representation using terms of the HCO Competency questions

Example of connectivity relationships between two cortical parcels



Tristan Moreau LTSI tristan.soyyo@gmail.com

A pipeline for automatic semantic annotation of connectomics

Representation using terms of the HCO Competency questions

Translation of the two competency questions into DL queries

Translation of the competency question 1

- **Competency question 1** : which parts of the medial frontal cortex are connected to the corticospinal tract or to some parts of the right precentral gyrus ?
- Query 1 : (part_of some Right_superior_frontal_gyrus) and ((is_tracto_connected some (part_of some Right_corticospinal_tract_of_brain)) or (mr_connection some (part_of some Right_precentral_gyrus))).

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < □ > <

Representation using terms of the HCO Competency questions

Results of the differents queries



Tristan Moreau LTSI tristan.soyyo@gmail.com

A pipeline for automatic semantic annotation of connectomics

15

Plan : Discussion and conclusion



Discussion and conclusion

Discussion

• This pipeline is based on atlas-based segmentations of healthy subjects (CMTK Lausanne-2008 parcellation scheme, Jhu).

Conclusion

- A contribution that permits to annotate gray matter regions and connectivity assessed by diffusion tractography.
- This approach can facilitate both data sharing and comparison of data accross individuals and neuroimaging modalities.

Perspective : birth of nisemantic

- **nisemantic** : a python package to produce semantic annotations of neuroimaging dataset.
- Under the umbrella of the **nipy** project (nipy.org).