

Modeling effective connectivity in high-dimensional cortical source signals¹

Anass El Yaagoubi, Assvin Tharmarajah

Institut National des Sciences Appliquées de Rouen Normandie

20 décembre 2018

1. Yuxiao Wang, Chee-Ming Ting, Hernando Ombao
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7542588>

Article :

- Titre : Modeling effective connectivity in high-dimensional cortical source signals
- Auteurs : Yuxiao Wang, Chee-Ming Ting, Hernando Ombao
- Domaine : Modélisation de la connectivité
- Année de publication : 2016

Sommaire

1 Introduction

- Électroencéphalographie (EEG)
- Cartographie du cerveau
- Séries temporelles

2 Modélisation

- Modèle de mélange
- Régions d'intérêt et réduction de la dimensionnalité
- Modèles Autoregressifs (VAR)
- Connectivité effective entre dipôles
- Connectivité fonctionnelle entre dipôles

3 Résultats

- Données
- Résultats connectivité effective
- Résultats connectivité fonctionnelle

4 Conclusion

Sommaire

1 Introduction

- Électroencéphalographie (EEG)
- Cartographie du cerveau
- Séries temporelles

2 Modélisation

- Modèle de mélange
- Régions d'intérêt et réduction de la dimensionnalité
- Modèles Autoregressifs (VAR)
- Connectivité effective entre dipôles
- Connectivité fonctionnelle entre dipôles

3 Résultats

- Données
- Résultats connectivité effective
- Résultats connectivité fonctionnelle

4 Conclusion

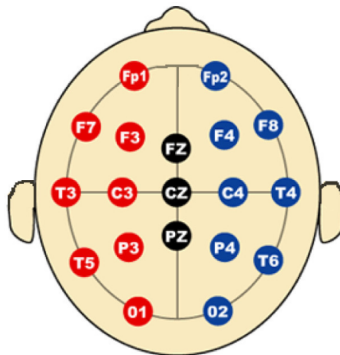
Électroencéphalographie (EEG)

Définition

L'électroencéphalographie est un examen qui permet de mesurer l'activité électrique du cerveau. Cette activité est mesurée par l'intermédiaire d'électrodes placées au contact du cuir chevelu. L'électroencéphalogramme désigne la transcription de l'enregistrement sous forme d'un tracé, cet examen fait partie des méthodes fréquemment utilisées pour étudier le cerveau humain, cette technique permet aussi de détecter certaines maladies telles que l'épilepsie.

Cartographie du cerveau

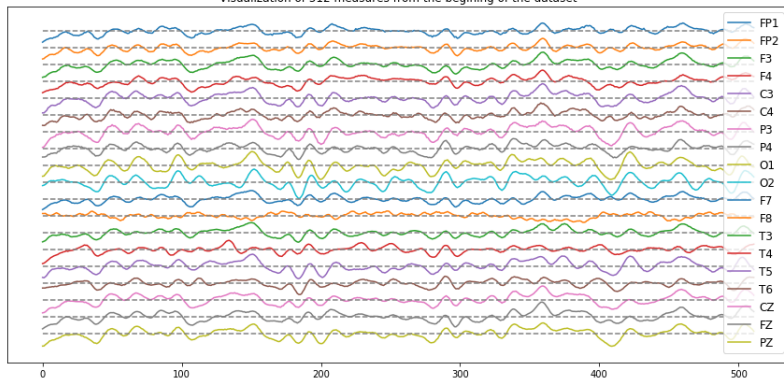
Carte d'Électrodes :



Données

Séries temporelles :

Visualization of 512 measures from the beginning of the dataset



Sommaire

1 Introduction

- Électroencéphalographie (EEG)
- Cartographie du cerveau
- Séries temporelles

2 Modélisation

- Modèle de mélange
- Régions d'intérêt et réduction de la dimensionnalité
- Modèles Autoregressifs (VAR)
- Connectivité effective entre dipôles
- Connectivité fonctionnelle entre dipôles

3 Résultats

- Données
- Résultats connectivité effective
- Résultats connectivité fonctionnelle

4 Conclusion

Notations

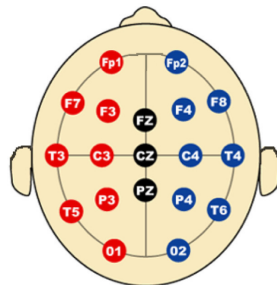
- $X(t) \in \mathbb{R}^M$ Observations
- $Z(t) \in \mathbb{R}^N$ Signal source
- $f(t) \in \mathbb{R}^M$ Signal source après réduction de la dimension
- $t = 1, \dots, T$

Modèle de mélange

- $X(t) = \mathbb{A}Z(t) + N(t)$
- $\mathbb{A} \in \mathbb{R}^{M \times N}$ matrice champ de plomb du cerveau : problème inverse
- $N(t)$ erreur de mesure et perturbations physiologiques

ROIs

- $Z(t) = [Z_1(t)', \dots, Z_r(t)', \dots, Z_R(t)']'$
- $\sum_{r=1}^R n_r = N$



Réduction de la dimensionnalité

- $Z_r(t) = Q_r f_r(t), r = 1, \dots, R$
- $Q_r \in \mathbb{R}^{n_r \times m_r}$ tel que $m_r \ll n_r$
- $Q_r' Q_r = I_{m_r}$
- $f(t) = [f_1(t)', \dots, f_r(t)', \dots, f_R(t)']'$
- $Q = \text{diag}\{Q_1, \dots, Q_R\}$
- $Z(t) = Qf(t)$

Vecteur Autoregressif (VAR)

$$f(t) = \sum_{k=1}^P \Phi^f(k) f(t-k) + \eta(t)$$

$$\Phi^f(k) = \begin{bmatrix} \Phi_{f_1 f_1}(k) & \dots & \Phi_{f_1 f_R}(k) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Phi_{f_R f_1}(k) & \dots & \Phi_{f_R f_R}(k) \end{bmatrix}$$

- $\eta(t) \in \mathbb{R}^M, \eta(t) \sim \mathcal{N}(0, \Sigma_\eta)$
- $\Phi_{f_r f_r}(k)$ auto-corrélation retardée pour la région r
- $\Phi_{f_i f_j}(k)$ mesure l'interdépendance entre les région i et j
- Choisir P qui minimise le critère d'information d'Akaike : AIC(P)

Vecteur Autoregressif (VAR)

$$\begin{aligned} Z(t) &= Qf(t) = Q\left(\sum_{k=1}^P \Phi^f(k)f(t-k) + \eta(t)\right) \\ &= Q\left(\sum_{k=1}^P \Phi^f(k)f(t-k)\right) + Q\eta(t) \\ &= \sum_{k=1}^P Q\Phi^f(k)Q'Qf(t-k) + Q\eta(t) \\ &= \sum_{k=1}^P \Phi^Z(k)Z(t-k) + E(t) \end{aligned}$$

Impact sur le nombre de paramètres

- $Z(t) = \sum_{k=1}^P \Phi^z(k)Z(t-k) + E(t) \implies PN^2$ paramètres à estimer
- $f(t) = \sum_{k=1}^P \Phi^f(k)f(t-k) + \eta(t) \implies PM^2$ paramètres à estimer

Cohérence partielle dirigée (analogue de la causalité de Granger en domaine fréquentiel)

Transformée de Fourier des paramètres du modèle

$$\Phi^z(\omega) = I - \sum_{k=1}^P \Phi^z(k) \exp(-i2\pi\omega k / \Omega_s)$$

PDC

$$\pi_{ij}(\omega) = \frac{|\Phi_{ij}^z(\omega)|}{\sqrt{\sum_{k=1}^N \Phi_{kj}^z(\omega) \Phi_{kj}^z(\omega)^*}}$$

Connectivité fonctionnelle

Matrice spectrale de Z

$$S^Z(\omega) = Q[\Phi^f(\omega)]^{-1} \Sigma_\eta [\Phi^f(\omega)]^* Q'$$

Cohérence entre dipôles i et j (estimation de la causalité)

$$\rho_{ij}^2(\omega) = \frac{|S_{ij}^Z(\omega)|^2}{S_{ii}^Z(\omega) S_{jj}^Z(\omega)^*}$$

Sommaire

1 Introduction

- Électroencéphalographie (EEG)
- Cartographie du cerveau
- Séries temporelles

2 Modélisation

- Modèle de mélange
- Régions d'intérêt et réduction de la dimensionnalité
- Modèles Autoregressifs (VAR)
- Connectivité effective entre dipôles
- Connectivité fonctionnelle entre dipôles

3 Résultats

- Données
- Résultats connectivité effective
- Résultats connectivité fonctionnelle

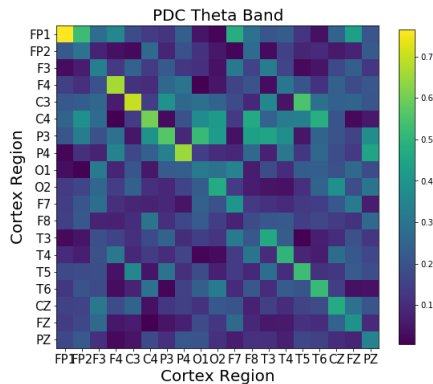
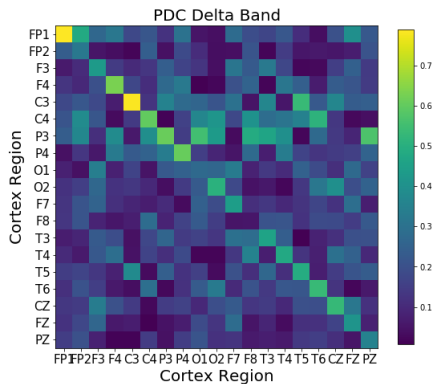
4 Conclusion

Données EEG : Colorado State University¹

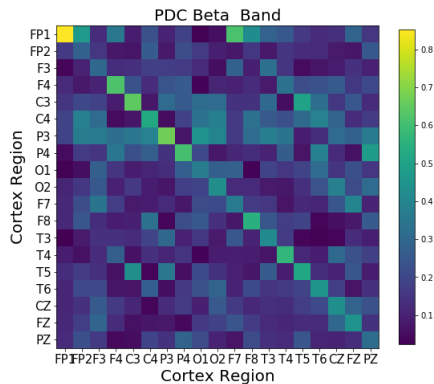
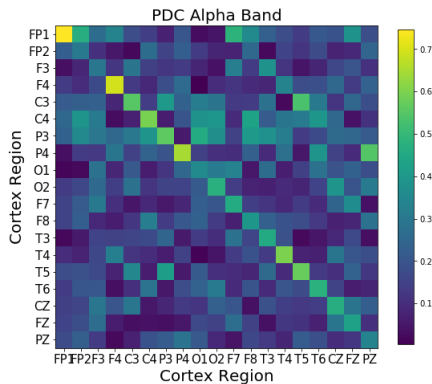
- Dataset : Neuropulse Mindset
- Nombre de canaux : 19
- Fréquence d'échantillonnage : 512 Hz
- Taille : 83.2 Mo

1. http://www.cs.colostate.edu/eeg/main/data/201112_BCI_at_CSU

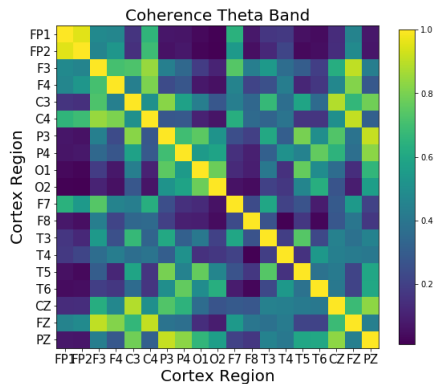
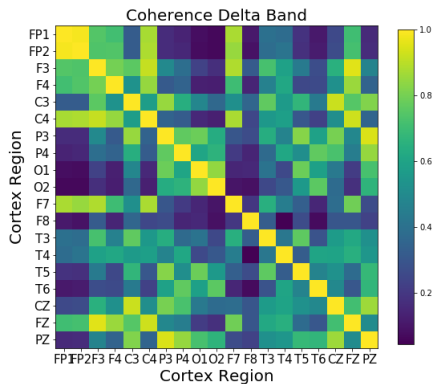
Connectivité effective Bande Delta et Theta



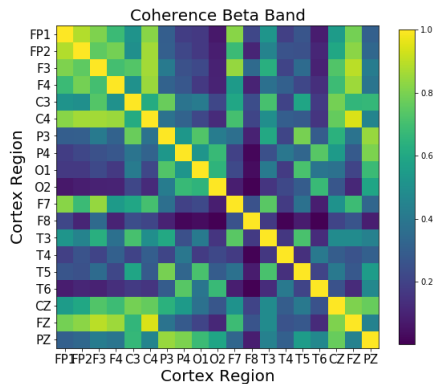
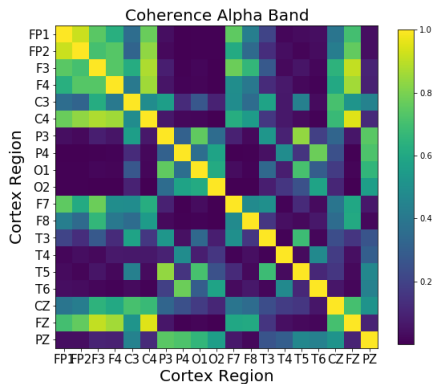
Connectivité effective Bande Alpha et Beta



Connectivité fonctionnelle Bande Delta et Theta



Connectivité fonctionnelle Bande Alpha et Beta



Sommaire

- 1 Introduction
 - Électroencéphalographie (EEG)
 - Cartographie du cerveau
 - Séries temporelles
- 2 Modélisation
 - Modèle de mélange
 - Régions d'intérêt et réduction de la dimensionnalité
 - Modèles Autoregressifs (VAR)
 - Connectivité effective entre dipôles
 - Connectivité fonctionnelle entre dipôles
- 3 Résultats
 - Données
 - Résultats connectivité effective
 - Résultats connectivité fonctionnelle
- 4 Conclusion

Apports du projet

- Modélisation des données du cerveau
- Manipulation de séries temporelles
- Modèles Autoregressifs
- Sélection de modèle

Perspectives d'évolution du projet

- Calculer la connectivité fonctionnelle
- Estimation du signal source
- ACP