



Détection de motifs locaux et paramétriques dans des signaux temporels. Application au contrôle non-destructif de câbles haute-tension.

Superviseurs.

- Laurent Oudre laurent.oudre@ens-paris-saclay.fr
- Charles Truong ctruong@ens-paris-saclay.fr
- Fikri Hafid fikri.hafid@rte-france.com

Mots-clés. Détection de ruptures, monitoring structurel, traitement des signaux sur graphes, séries temporelles spatio-temporelles.

Présentation du laboratoire/de l'entreprise. Ce stage se déroulera entre RTE et le Centre Borelli de l'ENS Paris Saclay, qui collaborent ensemble dans le cadre notamment de la chaire Phlames.

RTE. RTE est en charge de la gestion du réseau français de transport d'électricité à haute et très haute tension. Assurant une mission de service public, RTE est garant du bon fonctionnement et de la sûreté du système électrique en France, dans un marché ouvert à la concurrence. Dans ce cadre, RTE exploite et entretient le réseau français de transport d'électricité à haute et très haute tension, réseau le plus important d'Europe (105 000 km de lignes et 50 lignes transfrontalières). RTE est une entreprise résolument tournée vers l'avenir, acteur de la transition énergétique en cours et soucieuse d'un développement durable. Ses 9000 salariés travaillent à faire de RTE une entreprise innovante et performante dans le domaine du transport de l'électricité. En tant que stagiaire, vous serez intégré(e) au sein du Pôle Gestion des Actifs de la Direction R&D de RTE. Ses principales activités concernent la réalisation d'études prospectives sur les actifs (conducteurs aériens, pylônes, fondations,...) et la fourniture d'expertise sur l'état du réseau électrique.

Centre Borelli. Le Centre Borelli est une unité de recherche pluridisciplinaire qui s'intéresse à toutes les applications des mathématiques en milieu industriel. Il rassemble des équipes pluridisciplinaires de mathématiciens et d'experts en physique, mécanique et ingénierie, pour mener des actions de recherche motivées par des données réelles et des cas d'utilisation. Elle propose des formations d'excellence en mathématiques appliquées sur des thèmes prometteurs à forts enjeux technologiques et sociétaux

Environnement. Le stagiaire aura l'occasion de s'intégrer pleinement dans une équipe interdisciplinaire composée de statisticiens, d'informaticiens, et de spécialistes industriels. En cas de succès, le stage pourra faire l'objet non seulement de publications scientifiques mais aussi d'un projet de valorisation. Le stagiaire assistera également à des séminaires de laboratoire hebdomadaires

Motivations. Dans un contexte industriel, la surveillance de la santé des structures consiste à détecter, localiser et caractériser les dommages subis par des structures telles que des

ponts ou des bâtiments. Ici, nous nous intéressons à la détection de défauts dans des câbles haute-tension par des méthodes non-destructives. Le principe des méthodes utilisées est de magnétiser l'acier du conducteur à expertiser à l'aide d'un aimant permanent puis de mesurer le champ magnétique à proximité immédiate du conducteur. Cela permet par exemple de détecter des fissures dans l'acier et des variations dans l'acier du conducteur. Un robot est déplacé le long du conducteur et mesure un signal où les défauts apparaissent comme des motifs à détecter.

Objectifs. La tâche de détection de défaut est écrite sous la forme d'un problème de codage convolutionnel parcimonieux, c'est-à-dire le problème d'optimisation suivant :

$$\min_{K, (\theta^{(k)})_k, (\mathbf{z}^{(k)})_k} \left\| \mathbf{y} - \sum_{k=1}^K \mathbf{z}^{(k)} \star \mathbf{d}(\theta^{(k)}) \right\|^2 + \lambda \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \|\mathbf{z}_t^{(k)}\|_0$$

où $\|\mathbf{x}\|_0 = 1$ si $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ et 0 sinon, \star est le produit de convolution et $\lambda > 0$ contrôle le compromis entre l'attachement aux données et le nombre de motifs prédits. Les vecteurs d'activations $\mathbf{z}^{(k)}$ sont parcimonieux et non-nuls seulement aux endroits où un motif est détecté. Ici, nous supposons que le dictionnaire $\mathbf{d}(\theta)$ est paramétrique de paramètre θ , c'est-à-dire que chaque atome peut être décrit analytiquement par une fonction donnée par un expert du domaine. Le problème d'optimisation est non-convexe et insoluble en général. L'objectif de ce stage est de proposer une méthode de résolution, en utilisant les contraintes physiques (non-superposition des motifs notamment) pour retrouver les défauts de câbles. Le stagiaire pourra par exemple utiliser les méthodes développées au laboratoire pour résoudre le codage parcimonieux avec une régularisation ℓ_0 , utilisées dans des contextes différents.

Planning.

1. Revue de la littérature pour le codage convolutionnel parcimonieux et la détection de motif (1 mois).
2. Développement d'une procédure d'optimisation adaptée (2 mois).
3. Tests sur données réelles et premières conclusions (1 mois).
4. Etude de l'influence des paramètres et calibration automatique (1 mois).
5. Publication des résultats et rédaction du mémoire de master (1 mois).

References.

- [1] Wohlberg, B. (2014, May). Efficient convolutional sparse coding. In 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 7173-7177). IEEE.
- [2] Moreau, T., Oudre, L., & Vayatis, N. (2018, July). Dicod: Distributed convolutional coordinate descent for convolutional sparse coding. In International Conference on Machine Learning (pp. 3626-3634). PMLR.
- [3] Garcia-Cardona, C., & Wohlberg, B. (2018). Convolutional dictionary learning: A comparative review and new algorithms. *IEEE Transactions on Computational Imaging*, 4(3), 366-381.
- [4] Chen, H., Sacchi, M. D., & Gao, J. (2023). Parametric Convolutional Dictionary Learning and Its Applications to Seismic Data Processing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.