



Sujet de thèse de doctorat

Spécialité : Automatique (Ecole Doctorale EEATS de l'UGA)

Département Systèmes, Laboratoire LSSC

Placement optimal de capteurs mobiles pour le monitoring environnemental de dispersion de polluants

Résumé : Cette thèse de doctorat vise à aborder la question du placement optimal des capteurs mobiles pour la surveillance efficace de la dispersion des polluants atmosphériques au sein des environnements urbains. Le déploiement des capteurs joue un rôle essentiel dans la performance des méthodes d'estimation, un défi rendu plus difficile par la géométrie hétérogène des paysages urbains, qui induit des conditions aux limites complexes [3].

Contexte : Les recherches antérieures se sont concentrées principalement sur le développement d'estimateurs pour identifier des sources de pollution, négligeant l'aspect critique du placement des capteurs. Nous avons développé une approche réduite utilisant des différences finies supportées par des fonctions à base radiale pour un modèle d'équations aux dérivées partielles (EDP) d'advection-diffusion de polluants [1,2]. Différentes approches de placement existent dans la littérature. Pour la plupart, ce sont des méthodes développées spécifiquement pour une application donnée, exploitant le gradient spatial de concentration et la connaissance du champ de vent local. Pour les systèmes en dimension infinie décrits par des modèles EDP, des approches prometteuses reposant sur la propriété structurelle d'observabilité des systèmes dynamiques ont été proposées [4,5,6]. Dans cette thèse de doctorat, nous nous intéresserons au placement optimal des capteurs mobiles et à l'évaluation de l'impact de ce placement optimal sur la précision des estimateurs, tant dans des domaines en deux dimensions (2D) que trois dimensions (3D).

Objectifs de Recherche : Les objectifs principaux de cette étude sont les suivants :

1. **Approche Variationnelle en Dimension Infinie :** Etudier une approche variationnelle en dimension infinie, en intégrant l'optimisation du placement des capteurs pour améliorer la précision des estimations de dispersion de polluants atmosphériques, à la fois en 2D et en 3D.
2. **Mise en œuvre en Dimension Finie :** Explorer une approche pratique en dimension finie de l'approche variationnelle, en trouvant un équilibre entre la précision et l'efficacité computationnelle pour des scénarios en 2D et en 3D.
3. **Apprentissage Automatique Informé par la Physique (Physics-Informed Machine Learning - PIML) [7] :** Evaluer et exploiter les capacités des techniques d'apprentissage automatique informé par la physique (PIML) pour améliorer nos méthodes de modélisation, de placement de capteurs et d'estimation de la dispersion de polluants atmosphériques, tant en 2D qu'en 3D.

Méthodologie : Pour atteindre ces objectifs, la recherche suivra les étapes suivantes :

- Analyse approfondie de la littérature consacrée au placement optimal de capteurs mobiles et à l'approche variationnelle en dimension infinie de l'estimation des systèmes régis par des EDPs.
- Développement et mise en œuvre de modèles mathématiques et d'algorithmes avancés pour le placement optimal des capteurs mobiles et l'estimation simultanée de la dispersion de polluants atmosphériques pouvant être appliqués à la fois dans des environnements urbains en 2D et en 3D.
- Intégration de l'apprentissage automatique informé par la physique (PIML) pour affiner nos modèles et améliorer l'estimation par capteurs mobiles, à la fois en 2D et en 3D.
- Validation des méthodologies proposées à l'aide de simulations complètes impliquant des scénarios simplifiés en 2D et en 3D, à la fois stationnaires et dynamiques.
- Tests en conditions réalistes simulées dans des quartiers urbains, à Grenoble et/ou à Paris, pour évaluer l'applicabilité pratique et l'efficacité des approches développées dans des environnements urbains en 2D et en 3D.

Impact : Ces travaux de recherche permettront un déploiement optimal de capteurs pour la surveillance de la qualité de l'air dans les environnements urbains, en abordant les défis posés par les géométries urbaines complexes et les scénarios dynamiques de dispersion de polluants en trois dimensions. Cette étude vise à contribuer à une planification urbaine et à une gestion plus efficace et respectueuse de l'environnement.

Résultats Attendus : Les résultats de cette thèse doctorale comprennent de nouvelles stratégies de placement de capteurs, des résultats quantitatifs d'évaluation en simulation et une compréhension approfondie de la manière dont l'apprentissage automatique informé par la physique (PIML) peut améliorer la surveillance de la qualité de l'air en contexte urbain, aussi bien en 2D qu'en 3D.

Calendrier : Ces travaux s'étendront sur une période de 3 ans, impliquant un développement théorique rigoureux, l'implémentation en Python et des résultats de simulation approfondis, à la fois en 2D et en 3D.

Conclusion : La recherche proposée est en ligne avec le besoin crucial d'améliorer la surveillance de la qualité de l'air urbain, et aborde un écart de recherche important dans le domaine du placement de capteurs pour l'estimation de la dispersion des polluants. Elle offre un potentiel significatif pour faire progresser notre compréhension de la dynamique de la qualité de l'air en milieu urbain, tant en 2D qu'en 3D, et contribuer au développement d'environnements urbains plus efficaces et durables.

Profil et compétences recherchés :

- Profil mathématiques appliquées, avec un goût pour les modèles physiques et les méthodes numériques
- Modèles EDP, commande optimale, optimisation
- Programmation Python
- Autonomie, curiosité et capacité d'adaptation
- Qualité rédactionnelle



Domaines : Automatique, Traitement de signal

Sous-domaines : Estimation, Commande optimale, Equations aux dérivées partielles, Méthodes numériques, Dispersion atmosphérique, Capteurs

Moyens à disposition : outils de recherche bibliographique (Scopus, Orbit, accès aux principales bases de données IEEE, ScienceDirect), logiciels de calcul scientifique (Python, Matlab), COMSOL, Simulateur de dispersion atmosphérique ARIA Impact 3D (https://www.aria.fr/aria_impact3d.php).

Durée : 3 ans

Niveau : BAC+5

Direction de thèse : Pr. Didier Georges (Gipsa-lab) - didier.georges@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

Co-encadrement : Sylvain Leirens (CEA-LETI) - sylvain.leirens@cea.fr

Références :

- [1] R. Lopez-Ferber, S. Leirens, D. Georges, "Source Estimation: Variational Method versus Machine Learning Applied to Urban Air Pollution", IFAC Workshop on Control for Smart Cities, CSC 2022
- [2] R. Lopez-Ferber, D. Georges, S. Leirens, "Fast Estimation of Pollution Sources in Urban Areas Using a 3D LS-RBF-FD Approach", submitted to the European Control Conference 2024
- [3] M. Mendil, S. Leirens, P. Armand, C. Duchenne, "Hazardous atmospheric dispersion in urban areas: A Deep Learning approach for emergency pollution forecast", Environmental Modelling & Software, Volume 152, 2022
- [4] D. Georges, "Optimal Location of Mobile Sensors for Environmental Monitoring", European Control Conference (ECC), July 17-19, 2013, Zürich, Switzerland
- [5] D. Georges, "Optimal Location of a Mobile Sensor Continuum for Environmental Monitoring", 1st IFAC Workshop on Control of Systems Governed by Partial Differential Equations, September 25-27, 2013, Paris, France
- [6] VT Nguyen, D. Georges, G. Besançon, "Optimal sensor location for overland flow network monitoring", 3rd Conference on Control and Fault-Tolerant Systems, Barcelona, Spain, Sept. 7-9, 2016
- [7] M. Raissi, P. Perdikaris, and G. E. Karniadakis. Physics-informed neural networks : A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. Journal of Computational physics, 378 :686–707, 2019.