

Sujet de thèse□, Apprentissage profond des conditions de courant océanique, de vent et de vague à partir de flux de données AIS

Directeurs de thèse : R. Fablet (Prof. Télécom Bretagne ; UMR LabSTICC, France), F. Rousseau (Prof. Télécom Bretagne ; UMR LaTIM, France)

Coencadrant : C. Le Goff (Eodyn)

Résumé : Le trafic maritime est en constant essor et la concentration de bateau en transit dans certains endroits du globe permet aujourd'hui une qualification voire une quantification précise des phénomènes géophysiques tels que les courants océanographiques, le vent ou encore les vagues. Ce lien entre le trafic des bateaux et la géophysique n'est pas récent et l'existence même du Gulf Stream a été découverte par B. Franklin en examinant les carnets de bord des bateaux contenant des informations sur leur dérive. Cette analyse détaillée des carnets de bord bien qu'elle ait perduré est depuis lors tombée aux oubliettes face à l'essor des altimètres satellitaires capable de détecter les variations de hauteur des océans et d'en déduire certains des principaux courants océaniques.

Dans ce contexte, la société Eodyn utilise aujourd'hui de manière systématique les messages AIS (Automatic Identification System) et détourne astucieusement leur fonction première de surveillance et de sécurité en remettant au goût du jour les techniques du traitement de la navigation à l'estime. La précision de localisation des navires et la densité du trafic qu'offre les flux de données AIS confère un nouvel horizon à cette technique. La nature même des données AIS non vouée à l'obtention de signaux géophysiques ne rend néanmoins pas immédiat le calcul des courants, vagues et vent et une approche de type « deep learning » et plus spécifiquement des modèles récurrents et des formulations probabilistes à variables latentes paraissent très prometteurs pour les applications considérées.

Mots clés : trafic maritime, AIS, navigation à l'estime, modélisation statistique, deep learning, réseaux de neurones récurrents, modèles à variables latentes

Descriptif détaillé

Contexte et enjeux scientifiques

En océanographie, les courants, vagues et vent et leurs interactions réciproques ne sont que partiellement compris et ont pourtant un rôle prépondérant dans notre compréhension de l'océan et du climat. D'autre part la majorité des échanges commerciaux mondiaux s'effectuent par la mer et des options de routages maritime plus complet incluant courants vagues et vent pourraient permettre une économie substantielle de combustible fossile. Les bateaux subissent de manière simultanée les forces physiques résultantes de ces trois phénomènes. Ils sont donc une source d'information importante non négligeable. Le contexte de ce projet est de rendre intelligible le lien entre l'environnement du bateau et les effets de ce dernier sur celui-ci. Dans ce contexte, l'AIS (Automatic Automated System système d'échange de données entre navires rendu obligatoire par l'Organisation Maritime Internationale (OMI) depuis 2004) nous fournit nombre de données inhérentes à la marche du navire. Vitesse, position exacte, cap, taille ou encore tirant d'eau sont désormais accessibles avec une fréquence importante (émission de signaux au mieux toutes les 10s) et permettent d'obtenir une résolution spatio-temporelle de champs géophysiques comme les courants bien supérieure à celle fournie par l'altimétrie (Le Goff et al. Submitted).

De manière générale, par rapport à l'analyse détaillée d'un carnet de bord, le traitement des flux AIS n'est pas aussi riche en information et la principale difficulté de ce sujet sera de discerner les manœuvres ou comportement du bateau en réponse aux éléments naturels de celles liées aux autres causes : pannes, manœuvres anti-collision, entretien des moteurs etc. Dans ce contexte, cette étude rejoint les efforts en cours concernant la surveillance et la détection automatique de situations anormales (e.g., Cazzanti et al., 2015 ; Pallota et al., 2013; Nguyen et al., 2018). Cet enjeu est au centre de cette proposition de thèse, qui vise à explorer les avancées récentes dans le domaine de l'apprentissage profond et des réseaux de neurones récurrents adaptés à l'analyse de flux de données (séries temporelles). Dans un second temps, une fois le filtrage des signaux effectué le projet de thèse se concentrera alors sur la reconstruction de champs géophysiques à partir de différentes techniques connues comme l'interpolation optimale ou l'assimilation analogue (e.g., Fablet et al., 2017 ; Ouala et al., 2018).

Approche méthodologique envisagée

Vis-à-vis des objectifs définis précédemment, nous proposons initialement une méthodologie en deux étapes :

- une analyse automatique des flux de données AIS associés à un navire, traités comme des séries temporelles, par des techniques d'apprentissage profond (eg, Nguyen et al., 2018) afin d'extraire et débruiter les informations élémentaires nécessaires à l'inversion de signaux géophysiques d'intérêt (e.g., vagues, vents, courants). On privilégiera des modèles probabilistes (eg, VRNN stochastiques (Nguyen et al.)), qui ont déjà démontré leur pertinence dans un contexte d'analyse des comportements des navires à partir de flux de données AIS. Il s'agira de les étendre à la séparation des effets environnementaux (vents, vagues, courants) et des effets comportementaux (e.g., manoeuvres, pannes,...);
- une reconstruction de champs géophysiques (e.g., vagues, vents, courants) à partir des informations élémentaires extraites par les approches développées dans la première étape à partir des données AIS associés à un ensemble de navires. En se fondant sur des approches de l'état de l'art (e.g., interpolation optimale, assimilation analogue, réseaux de neurones), on cherchera tout particulièrement à exploiter conjointement différentes sources de données complémentaires des flux de données AIS (eg, champs de vent, données altimétriques, champs de traceurs géophysiques);

En fonction de l'avancement des travaux, on pourra explorer une formulation conjointe des deux étapes identifiées ci-dessus.

Les développements méthodologiques et algorithmiques envisagés seront évalués sur des jeux de données synthétiques (OSSE (Observing System Simulation Experiment) à partir de simulations numériques haute-résolution) et réels pour fournir une évaluation qualitative et quantitative des approches proposées par rapport à l'état de l'art. Des régions d'intérêt (e.g., canal de Sicile, courants des Aiguilles) seront sélectionnés pour évaluer l'apport et les limites des mesures géophysiques issues des flux de données AIS vis-à-vis des sources de données satellitaires disponibles actuellement (e.g., données altimétriques Nadir) ou dans un futur proche (missions SWOT, SKIM).

Agenda prévisionnel des travaux :

- **Mois 1 à 2:** Etat de l'art □
- **Mois 3 à 18 :** Apprentissage profond de réseaux récurrents pour la modélisation de données trajectométriques AIS □
- **Mois 18 à 30 :** Amélioration des champs géophysiques existants à partir des précédents résultats
- **Mois 31 à 36 :** Rédaction du manuscrit de thèse et préparation de la soutenance □

Références

C. Le Goff, Y. Guichoux, B. Chapron. Complementing Altimetry with AIS Data information to monitor the Greater Agulhas Current. (Submitted to JGR)

L. Cazzanti, L. M. Millefiori and G. Arcieri. A document-based data model for large scale computational maritime situational awareness. *EEE Int. Conf. on Big Data*, 2015, Santa Clara, CA, 1350-1356, 2015.

G. Pallotta, M. Vespe, and K. Bryan. Traffic knowledge discovery from AIS data. *16th Int. Conf. on. IEEE Information Fusion (FUSION)*, 2013.

Duong Nguyen, Rodolphe Vadaine, Guillaume Hajduch, René Garello, Ronan Fablet. A Multi-task Deep Learning Architecture for Maritime Surveillance using AIS Data Streams. *2018 IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*, Oct 2018, Turin, Italy. 2018 IEEE 5th International Conference on Data Science and Advanced Analytics.

Ronan Fablet, Phi Huynh Viet, Redouane Lguensat. Data-driven Models for the Spatio-Temporal Interpolation of satellite-derived SST Fields. *IEEE Transactions on Computational Imaging*, 2017, pp.647 - 657.

Said Ouala, Ronan Fablet, Cédric Herzet, Bertrand Chapron, Ananda Pascual, et al.. Neural-Network-based Kalman Filters for the Spatio-Temporal Interpolation of Satellite-derived Sea Surface Temperature. 2018. (submitted to Remote Sensing)