



Sujet de Thèse CIFRE

NAVAL GROUP/ G2Elab/GIPSA-Lab

Détection Passive de Champs Magnétique et Electrique De Dispositifs en Milieu Marin

Contexte

La Détection Magnétique consiste à mesurer sur un ou plusieurs capteurs embarqués dans un porteur (avion, hélicoptère, drone aérien ou sous-marin...), un champ magnétique, et à l'utiliser pour détecter la présence ou non d'un dispositif, en se basant sur le champ spécifique que celui-ci produit autour de lui. Ce champ a pour origine diverses sources qui composent ce dispositif: l'aimantation des éléments ferromagnétiques utilisés (acier), les courants continus ou alternatifs qui circulent dans les conducteurs, les courants dus à la corrosion des matériaux en milieu marin. Cependant, en plus du champ dû à la présence éventuelle de l'objet recherché (pipelines, câbles de transport d'énergie, sous-marins), les capteurs mesurent également le champ environnant (d'origine géophysique, géomagnétique, ou induit par le capteur et le porteur), vu comme du bruit par rapport au signal que l'on cherche à détecter. Ainsi, le champ mesuré lors du trajet du ou des capteurs doit subir un traitement spécifique, afin de statuer sur la présence ou non d'un dispositif, et d'éventuellement le localiser.

Cette thématique générale de la détection magnétique intéresse NAVAL GROUP. Dans le cadre particulier de la détection de sous-marins, il s'agit d'un véritable enjeu stratégique pour la Marine Nationale, et par conséquent, il l'est aussi pour NAVAL GROUP, qui réalise ces bâtiments et travaille à leur système de discrétion électromagnétique. NAVAL GROUP travaille depuis plusieurs années sur ces sujets en collaboration avec le G2Elab (Equipe Champs Magnétiques Faibles), spécialiste pour la caractérisation et la réduction des sources magnétiques d'indiscrétion, et le GISPA-Lab pour le volet de la détection.

Objectifs de la thèse

L'application historique de la détection magnétique pour le domaine naval est la détection de sous-marins par analyse du signal dû au magnétisme de la coque, signal mesuré sur un capteur embarqué dans un avion survolant une zone. Un certain nombre de travaux ont été menés sur ce sujet, entre le GIPSA-Lab et le G2Elab, ces dernières années [1]. En particulier avec NAVAL GROUP, des développements ont montré l'amélioration de la détection en considérant non pas uniquement l'objet à détecter comme dipolaire, mais comme un objet multipolaire plus complexe, ce qui permet notamment de tenir compte d'une distance plus ou moins grande de détection [2].

Un des premiers objectifs de cette thèse est de poursuivre les recherches sur cette thématique en s'intéressant plus particulièrement au traitement des bruits de la mesure. Il s'agit en effet d'étudier plus particulièrement l'impact sur les performances du bruit dû au(x) capteur(s) de mesures et à l'environnement magnétique (variation temporelle du champ local terrestre et gradients locaux dû au magnétisme du sous-sol marin survolé). L'idée est d'adresser le problème en s'intéressant à toutes les méthodes à notre disposition pour réduire l'impact sur la détection. Nous pensons notamment à l'étude pour le schéma de détection de différents modèles statistiques de bruit, ou de mesures s'appuyant non pas sur un seul capteur mais sur plusieurs (mesures de gradients). Des techniques issues de l'IA peuvent également être implémentées dans ce cadre. L'analyse des performances des algorithmes de détection sera menée. En sus, le problème de localisation/estimation des sources pourra être adressé.

Une fois le schéma investigué pour l'application historique sur tous les aspects principaux (modèle généralisé multipolaire de sources magnétiques plus précis, prise en compte plus fine des bruits), on souhaite étudier dans un second temps l'adaptation de ce schéma pour de nouvelles mises en œuvre de la détection.

Plusieurs points peuvent être adressés :

- Le signal utilisé jusqu'ici est le champ magnétique dû au magnétisme de coque, ou de l'aimantation des matériaux magnétiques constituant l'objet à détecter. D'autres sources peuvent produire un champ magnétique, notamment des courants dus à la corrosion des matériaux du bâtiment. Nous souhaitons étudier comment adapter le modèle de source pour ce cas. On pourra notamment considérer que la mesure peut être effectuée dans l'air ou dans le milieu marin (à l'intérieur de sources de courant,

pour le cas particulier de mesures sur drones sous-marins), et que la source à détecter est statique ou alternative.

- Il peut être intéressant ensuite de comparer les performances de détection pour l'exploitation des signaux de champ magnétique dus à la corrosion d'une part et au magnétisme de coque d'autre part pour un bâtiment donné, puis à l'apport combiné des deux signaux.

- Dans le même ordre d'idée, le champ électrique produit par la corrosion peut être étudié comme information principale ou additionnelle à l'information magnétique. Dans ce cas particulier, les sources de bruits devront également être analysées et modélisées.

- Un autre élément à investiguer est également le type de mesure réalisé, en tenant compte des caractéristiques actuelles ou à venir des capteurs magnétiques. En particulier, le cas de mesures mettant en œuvre un seul capteur ou un réseau de capteurs (par exemple une mesure en gradient) sera étudié. Une appropriation de capteurs à haute sensibilité existants (à résonance atomique) sera menée par ailleurs en collaboration avec NAVAL GROUP. Les travaux pourront alors être appliqués pour des données réelles sur maquette ou lors d'expérimentations en mer.

- Dans le cadre plus général de la détection d'objet, on pourra également s'intéresser à d'autres géométries de sources immergées, comme des câbles électriques sous-marin ou des pipelines. La caractéristique de ces éléments est d'être d'une très grande longueur, ce qui demande une adaptation du modèle de sources. Pour ce type d'objet, le champ magnétique directement dû aux sources (aimantation des pipelines, courant dans les câbles) peut être exploité, de même que le champ électrique pour des courants alternatifs. Les champs magnétiques et électriques dû à la corrosion pourront également être étudiés.

Ainsi, cette thèse doit permettre d'adresser la thématique de la détection au sens large, en exploitant les différents types de signaux issus des sources de l'objet à détecter, sans a priori sur les distances de mesures, et en imaginant toutes les mises en œuvre possibles pour réduire le bruit lié à la mesure. On cherchera également à s'intéresser à la détection d'autres objets sous-marins comme des pipelines, des câbles de conducteurs sous-marins. L'idée est a minima de faire un état de l'art et d'évaluer l'adaptation des schémas précédents à ce type de source, tout en s'appropriant les techniques de détection mises en œuvre pour ce domaine.

Références

[1] "Compared performances of MF-based and locally optimal magnetic anomaly detection", Zozor S., Rouve L-L., Cauffet G., Coulomb J-L., Henocq H., Conférence EUSIPCO 2010, août 2010, Danemark, Aalborg

[2] "Generalization of target-based magnetic anomaly detection by means of a multipole expansion", Pepe P., Zozor S., Rouve L-L., Coulomb J-L., Servièrè C., MARELEC 2015, United States (2015)

Planning de la Thèse

[T0-T0+3 mois] : Bibliographie générale sur la détection magnétique et électrique passive au sens large, pour différents dispositifs sous-marins (câbles de transport d'énergie, pipelines, navires, etc) et divers types de sources (magnétisme des matériaux, courant dans conducteurs électriques ou de corrosion). Le traitement du bruit sera particulièrement étudié.

[T0+3 mois -T0+15 mois] : Prise en compte dans le schéma classique de détection des sources de bruit par traitement statistique, mesures en réseau de capteurs ou techniques de l'intelligence artificielle. Analyse des performances de détection et en sus de localisation/estimation de l'objet à détecter.

[T0+15 mois -T0+27 mois] : Elargissement de l'étude au champ magnétique et/ou électrique dû à la corrosion des bâtiments ou à des géométries particulières.

[T0+27 mois -T0+30 mois] : Comparaison des approches entre elles avec application éventuelle à des mesures réalisées sur maquette ou en mer.

[T0+30 mois -T0+36 mois] : Rédaction du manuscrit de thèse

Mots clés :

Détection magnétique et électrique, sources de champs magnétiques et électriques faibles, modèles de bruit, magnétométrie

Pré-requis :

Electromagnétisme, conduction, corrosion, traitement du signal, statistique, intelligence artificielle, fusion de données, programmation (C ou Matlab).

Lieu de la Thèse:

Laboratoire de Génie Électrique de Grenoble (G2Elab) principalement, avec possibilité d'accueil au besoin au GIPSA-Lab (Grenoble Images Parole Signal Automatique)

Durée:

3 ans, à partir d'octobre 2022

Financement :

Thèse CIFRE NAVAL GROUP

Pré-Requis Entreprise :

Nationalité française exigée

Encadrement :

Didier CAVALLERA (NAVAL GROUP)	didier.cavallera@naval-group.com
Laurent DEMILIER (NAVAL GROUP)	laurent.demilier@naval-group.com
Romain KUKLA (NAVAL GROUP)	romain.kukla@naval-group.com
Olivier PINAUD (G2Elab)	Olivier.Pinaud@g2elab.grenoble-inp.fr
Laure-Line ROUVE (G2Elab)	Laure-Line.Rouve@g2elab.grenoble-inp.fr
Steeve ZOZOR (GIPSA-Lab)	steeve.zozor@gipsa-lab.grenoble-inp.fr