

## Post doctorat ULCO/LISIC 2014

### Système positionnement sous-marin précis par mesures de code et de phase

#### Encadrants :

- **Serge Reboul (reboul@lisic.univ-littoral.fr)**
- **Jean Bernard Choquel (choquel@lisic.univ-littoral.fr)**
- **Jean-Charles Noyer (choquel@lisic.univ-littoral.fr)**

### Introduction

Le positionnement sous l'eau est utilisé dans diverses applications scientifiques et dans divers problèmes d'ingénierie, tels que l'étude des habitats marins, l'étude des processus sédimentaires, la recherche et la cartographie de ressources minières, la collecte de données, le placement et la récupération d'instruments positionnés sur les fonds marins, ...

Sous l'eau on utilise les signaux acoustiques pour géo-positionner une balise par rapport à un ensemble de points de référence. Cette balise qui est active retransmet les signaux émis par plusieurs émetteurs ayant une position connue. Le temps de transit des signaux permet d'estimer la distance entre la balise et l'émetteur et la position de la balise est obtenue par triangulation.

Les systèmes de géo-positionnement sous-marin ont été développés dans les années 1950 et 1960 par la marine américaine à des fins militaires. C'est l'industrie énergétique offshore qui a soutenu le développement dans le domaine public des techniques de géolocalisation sous-marine. En effet, c'est dans le cadre de la prospective minière sous-marine que la géolocalisation a été utilisée pour suivre les véhicules sous-marins et placer les réseaux de capteurs traînés par les bateaux. En production, les techniques de géolocalisation sont utilisées pour placer les pipelines et les câbles sous-marins ainsi que pour superviser les opérations de forage et de dragage.

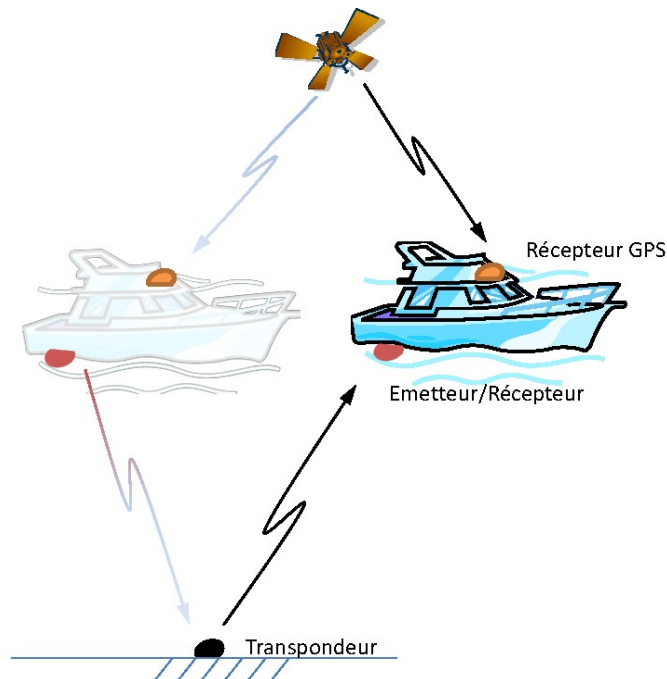
Aujourd'hui les techniques de géolocalisation sous-marine se développent aussi pour le positionnement des drones sous-marins et la surveillance des déformations de la croûte terrestre au fond de l'océan. Les deux enjeux majeurs liés à cette technique sont la précision centimétrique du positionnement et la couverture du système. En effet contrairement aux systèmes GNSS la couverture des systèmes de positionnement sous-marin n'est pas globale, mais locale.

Pourtant, il a été montré qu'en couplant le système de géo-positionnement sous-marin avec un système GNSS il est possible d'envisager aujourd'hui une couverture globale pour le positionnement des balises sous l'eau. Dans ce contexte, c'est la localisation centimétrique du bateau et de la balise qui est un enjeu pour le traitement du signal. En effet pour cette application, les signaux propagés dans l'eau de mer sont à faible rapport signal à bruit, entachés de multi-trajets et déformés par l'inhomogénéité ou l'irrégularité du milieu de propagation. L'objectif de cette étude post doctorale est d'utiliser la phase des signaux à étalement de spectre du système sous-marin pour atteindre la précision centimétrique. Ce

travail s'inscrit dans le cadre des axes de recherche du Campus de la Mer et du projet CPER Marco.

## Principe

On représente sur la Figure 1 le principe d'un système de géo-positionnement sous-marin. La localisation en milieu sous-marin se distingue principalement de la localisation GNSS par deux aspects. A l'air libre c'est le récepteur GNSS qui est localisé à partir des signaux en provenance de la constellation de satellites. En milieu marin c'est le transpondeur qui est localisé à partir des signaux en provenance du bateau. Dans un système de géo-positionnement sous-marin, la position de la balise est calculée dans le bateau tandis que, à la surface de la terre, le récepteur GNSS calcule sa position.



**Figure 1 Système de Géolocalisation sous-marine**

Le principe de la localisation s'appuie comme dans le cas du système GNSS sur quatre pseudo-distances. Ces quatre pseudo-distances sont estimées à partir du temps de trajet aller-retour entre l'émetteur/récepteur situé sur le bateau et la balise transpondeur. Elles sont ensuite utilisées avec les positions du bateau dans un calcul de triangulation pour définir la position 3D du transpondeur. L'utilisation de cette technique de localisation, qui permet d'obtenir une précision centimétrique, est envisagée aujourd'hui dans beaucoup d'applications, comme la géolocalisation du matériel de pêche ou l'observation et la surveillance de la morphodynamique des fonds marins. Nous avons choisi de développer notre propre système de positionnement. Celui-ci est composé d'une balise active qui génère un écho du signal reçu et d'un système d'émission réception embarqué sur le bateau.

La balise est réalisée dans un composant FPGA. Elle effectue en temps réel la réception et l'émission du signal. Le signal émis par le bateau est un signal à étalement de spectre composé d'un code CDMA (code GOLD du système GPS) de 254 éléments binaires et modulé à la fréquence de 4kHz. Le signal à étalement de spectre retransmis par la balise est modulé avec une modulation BOC(1,1) (Binary offset Carrier). L'objectif de cette modulation, aussi utilisée dans les systèmes GNSS modernes, est de lutter contre les multi-

trajets, grâce au déplacement en fréquence de l'énergie du signal et à la forme de sa fonction d'autocorrélation.



**Figure 2 Système de Navigation**

Le système de navigation Figure 2 est composé d'un récepteur GPS et d'un compas magnétique. Il a pour rôle la localisation précise de l'émetteur et du récepteur ainsi que la datation des données acquises. Dans notre approche le signal étalé est émis en continu et son écho en provenance de la balise est enregistré. Le positionnement du bateau et de la balise sont alors calculés hors-ligne.

## **Objectif scientifique**

Dans l'approche étudiée, les positions du bateau sont utilisées comme balises de référence. Dans ce contexte, les performances du système dépendront directement de la précision du positionnement. Pour obtenir une précision centimétrique, le calcul de position sera réalisé à partir des observables de phases [1]. Les compétences du laboratoire LISIC qui seront utilisées pour mener à bien ce projet portent sur le positionnement GNSS par le code [4,5], la phase [3] et le traitement des signaux circulaires [2]. Ce travail s'appuiera également sur l'expérience acquise dans le développement de systèmes de navigation [7,8] pour lesquels les méthodes de fusion d'information et de filtrage non-linéaire [6] constituent le noyau théorique. Ces approches permettront d'assurer une trajectographie précise du bateau en tenant compte de ses caractéristiques dynamiques spécifiques.

L'objectif de cette étude post doctorale est de réaliser le calcul de la position de la balise à partir des observables de phase des signaux émis par le bateau et retransmis par la balise. On souhaite donc réaliser le récepteur présent sur le bateau qui poursuit le code et la phase du signal et fournit des observations de pseudo-distances. Plusieurs effets liés à la propagation du signal dans l'eau doivent être pris en compte pour garantir la précision centimétrique du système.

En effet, on peut distinguer plusieurs spécificités du milieu marin étudié (Manche-mer du Nord) comme la faible profondeur et la présence de courants importants. Le fort courant

apporte un biais sur les valeurs de phase. Etant donnée la faible profondeur, la salinité et la température de l'eau sont stables. Il faudra cependant tenir compte de la profondeur pour définir la vitesse de propagation du signal. Enfin, cette faible profondeur est aussi la cause de nombreux multi-trajets dont il faudra tenir compte dans les traitements récepteurs. Le détroit de la Manche est un des endroits les plus fréquentés du monde. On déplorera donc une forte pollution sonore liée au trafic maritime intense et au bruit ambiant. Cette pollution sonore engendrera un niveau de bruit important sur le signal.

Dans ce travail on souhaite développer des opérateurs bayésiens dans le domaine circulaire pour estimer la phase du signal à partir d'observations bruitées. L'estimation sera envisagée en ligne sous forme de filtres d'états circulaires ou de filtres particuliers circulaires. Elle pourra aussi être envisagée hors ligne par minimisation d'une fonction de contraste pénalisée construite à partir de la distribution a posteriori de l'état circulaire à estimer sachant les mesures. Le premier objectif du travail est donc de proposer des traitements permettant de travailler à faible rapport signal à bruit.

Le deuxième objectif du travail est de développer une architecture du récepteur qui soit inspirée de la structure des systèmes GNSS. En effet le signal émis par la balise est un signal modulé par une modulation BOC qui est utilisée par les systèmes GNSS modernes, tels que Galileo. On souhaite dans ce cas développer une architecture réceptrice spécifique qui utilise les particularités de cette modulation pour le traitement des multi-trajets.

- **Bibliographie**

[1] G. STIENNE, S. REBOUL, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, Cycle Slip Detection and Repair with a Circular On-Line Change-Point Detector, *Signal Processing*, 100, pp. 51-63, 2014.

[2] G. STIENNE, S. REBOUL, M. AZMANI, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, A multi-temporal multi-sensor circular fusion filter, *Information Fusion*, 18, pp. 86-100, 2014.

[3] G. STIENNE, S. REBOUL, M. AZMANI, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, GNSS dataless signal tracking with a delay semi-open loop and a phase open loop, *Signal Processing*, 93(5), pp.1192-1209, 2013.

[4] G. STIENNE, S. REBOUL, M. AZMANI, S. BOUTOILLE, J. -B. CHOQUEL, M. BENJELLOUN, Bayesian Change-Points Estimation Applied to GPS Signal Tracking, *ISRN Signal Processing* 2011.

[5] S. BOUTOILLE, S. REBOUL, M. BENJELLOUN, A hybrid fusion system applied to off-line detection and change-points estimation, *Information Fusion* 11 (4), pp. 325-337, 2010.

[6] B. FORTIN, R. LHERBIER, J.C. NOYER, A labeled PHD filter for extended target tracking in lidar data using geometric invariance properties: vehicular application, 16th International Conference on Information Fusion (Fusion), Istanbul, 9-12 juillet 2013

[7] C. BOUCHER, J.C. NOYER, Automatic detection of topological changes for digital road maps updating, *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 61 (11), pp. 3094-3102 (2012)

[8] C. BOUCHER, J.C. NOYER, A hybrid particle approach for GNSS applications with partial GPS outages, *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 59 (3), pp. 498-505 (2010).