

Base longue de surface et filtrage non-linéaire pour une localisation sous-marine précise

L. Collin*, S. Azou*, K. Yao*, G. Burel**

*Groupe de Traitement du Signal–Ecole Navale-B.P. 600, 29240 BREST Naval

**Laboratoire d'Electronique et Systèmes de Télécommunications-UMR CNRS 6616-
6 Av. Le Gorgeu - B.P. 809, 29285 BREST Cedex

{collin, azou, yao}@ecole-navale.fr , Gilles.burel@univ-brest.fr

1. Introduction

Le travail résumé ci-dessous a été réalisé dans le cadre du stage de DEA d'électronique de L. Collin [1].

Ce travail, initialisé par l'EPSHOM¹, porte sur la localisation précise (submétrique) d'une cible sous-marine. Cette cible est active, c'est à dire qu'elle peut émettre un signal acoustique pour être positionnée. Nous nous sommes focalisés sur le cas d'une cible remorquée mais les résultats peuvent s'appliquer à des cibles autonomes ou immobiles. Le système de localisation doit donc être mobile pour pouvoir suivre la cible sur une grande distance.

Ce problème est délicat ; En effet la mer est un milieu aléatoire, non-stationnaire, bruyant, non-homogène, et la propagation des ondes acoustiques y est soumise à de nombreux trajets réfléchis. Ces difficultés entraînent des mesures bruitées qui affectent la précision de la localisation.

2. Présentation du système de positionnement

Nous avons basé notre étude sur le principe du système industriel dit "base longue de surface" (BLS, [2]).

Une BLS est constituée de plusieurs bouées en surface formant une antenne qui capte l'instant d'arrivée du signal émis par la cible. Les bouées étant localisées par GPS il est possible d'estimer par triangulation la position de l'émetteur. Lorsque les bouées sont remorquées le système devient mobile. L'étude des sources d'erreurs permet d'en dégager trois prépondérantes :

- Le profil de célérité, qui affecte le chemin parcouru par l'onde acoustique et le temps mis pour le parcourir.
- La méconnaissance de la géométrie de l'antenne de réception (forme, orientation, position).
- L'incertitude sur l'instant d'arrivée du signal émis par la cible qui est perturbé par le bruit ambiant, le doppler et les trajets multiples.

Nous nous sommes donc limités à ces trois sources d'erreurs pour trouver la configuration de BSL susceptible d'offrir la meilleure précision de localisation.

3. Choix de l'emplacement des bouées

Notre approche est basée sur la constatation élémentaire "qu'il vaut mieux limiter l'influence des sources d'erreurs plutôt que de devoir corriger beaucoup d'erreurs ensuite". Dans cette démarche, nous nous sommes appuyés sur les

travaux réalisés dans le domaine du positionnement par GPS [3] et dans le domaine de la robotique [4]. En effet, la problématique rencontrée dans ces domaines est très proche de la notre ; des solutions permettant de limiter l'influence des erreurs de mesure y ont été développées.

Dans notre application nous pouvons tout d'abord estimer l'immersion de la cible de façon indépendante et précise, par une mesure de la pression sur le mobile par exemple.

En choisissant d'estimer le profil de célérité, notre système contient trois inconnues (latitude, longitude et célérité), il nous faut donc trois équations. Chaque capteur de l'antenne générant une équation il faut au moins trois capteurs.

Il faut alors chercher l'emplacement des bouées qui donnera la meilleure précision de localisation à partir de mesures bruitées. Chaque mesure permet de calculer une position estimée de la cible. Afin d'évaluer la robustesse de l'antenne, nous avons relevé l'erreur de localisation en variant la combinaison des erreurs de mesure, et ceci en balayant l'espace des positions réelles de la cible à proximité où à l'intérieur du triangle défini par l'antenne. Comme nous pouvions intuitivement le deviner, nous avons constaté qu'une antenne composée de 3 bouées disposées en triangle équilatéral était peu sensible aux erreurs de mesures, par rapport à d'autres configurations. Aussi, la position centrale de ce triangle est privilégiée pour une localisation précise. Une approche statistique en cours de développement a pour objectif de prédire les performances en localisation d'une antenne type BLS, et aussi de vérifier ces premières conclusions.

4. Filtrage non-linéaire pour le suivi de trajectoire

L'antenne que nous venons d'élaborer va fournir des mesures bruitées qui vont être filtrées afin d'estimer la trajectoire de la cible. Pour cela nous comparons deux estimateurs :

- Le filtre de Kalman étendu (EKF) qui est considéré comme estimateur non-linéaire de référence. Il linéarise les équations d'état et, bien que le caractère optimal du filtre de Kalman standard (KF) soit perdu, de bonnes performances sont souvent atteintes [5].
- Le filtre de Julier et Uhlmann (JUF, [6]), récemment proposé dans le domaine de la robotique, conserve la structure de type prédiction-correction du KF. Toutefois, il respecte totalement la non-linéarité du système grâce à l'approximation des moments des variables aléatoires (v.a.)

¹ Etablissement Principal des Services Hydrographiques et Océanographiques de la Marine, Brest, France.

résultant des transformations non-linéaires (équations d'état dynamique et d'observation). Ce filtre semble potentiellement meilleur que le EKF : les risques de divergence sont moindres et l'implémentation est largement plus aisée. Le principe retenu pour approcher les moments d'une v.a. y résultant de l'application d'une fonction non-linéaire f (qui peut être implicite) à une v.a. $x \in \mathcal{R}^n$ est brièvement décrit ci-dessous :

1. Un jeu de points $\{\chi_i\}_{i=1,\dots,2n+1}$ est calculé à partir de la moyenne \bar{x} et de la variance P_{xx} de la v.a. x ; à chaque échantillon χ_i on associe un poids W_i ;
2. La fonction non-linéaire f est appliquée à chaque point χ_i pour obtenir l'ensemble $\{\mathcal{Y}_i\}_{i=1,\dots,2n+1}$;
3. La somme pondérée des points transformés donne la

$$\text{moyenne de la v.a. transformée : } \bar{y} = \sum_{i=0}^{2n} W_i \mathcal{Y}_i ;$$

4. La covariance de la v.a. transformée est alors obtenue :

$$P_{yy} = \sum_{i=0}^{2n} W_i \{\mathcal{Y}_i - \bar{y}\} \{\mathcal{Y}_i - \bar{y}\}^T .$$

Cette méthode semble avoir une ressemblance avec la méthode de Monte Carlo mais il y a une différence fondamentale : Les échantillons ne sont pas pris au hasard, mais choisis de façon déterministe ce qui permet de calculer les informations sur la distribution y avec un petit nombre de points.

5 Simulations

Des simulations ont été effectuées afin de comparer ces deux filtres dans le contexte d'une localisation sous-marine par BLS. Un modèle dynamique linéaire intégrant position/vitesse/célérité a tout d'abord été adopté. La non-linéarité apparaît avec la mesure des trois instants d'arrivée, avec des bruits blancs additifs Gaussiens mutuellement indépendants. La figure 1 indique le scénario de trajectoire de la cible et la position des 3 bouées de l'antenne, disposées en triangle équilatéral :

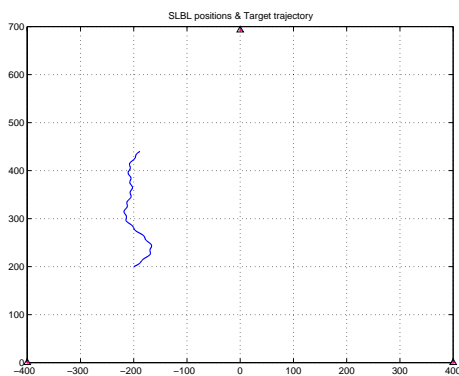


Fig. 1 - Antenne et trajectoire de la cible

L'évolution de l'erreur de localisation en fonction du temps, pour les deux filtres EKF et JUF est indiquée sur la figure 2. Les performances paraissent très proche, mais la réactivité du JUF est ici meilleure que le EKF. En revanche, au voisinage du « bord de l'antenne » (temps 15s environ),

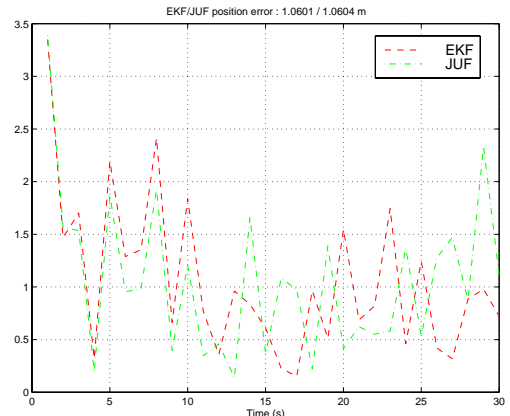


Fig. 2 – Erreur de localisation

la précision du JUF devient moins bonne. Les performances « à l'intérieur » de l'antenne sont quand même meilleures en général, et la fusion d'informations semble plus précise avec le JUF.

6 Conclusion

L'objectif de ce travail était d'amorcer l'étude d'un système de localisation sous-marine de précision. Nous nous sommes appuyé sur des travaux réalisés dans deux autres thématiques (GPS et robotique) pour élaborer une géométrie d'antenne limitant l'effet des erreurs de mesure. Une propriété mise en évidence est que la précision de localisation est meilleure lorsque la cible est au centre d'une antenne en triangle équilatéral. Parallèlement nous avons comparé deux filtres pour le suivi de trajectoire : le filtre de Kalman étendu comme estimateur de référence, et un filtre récemment proposé par Julier et Uhlmann. Ce dernier utilise une méthode originale et performante pour l'approximation des moments d'une v.a. issue d'une transformation non-linéaire. Cette technique est plus stable et plus facile à implémenter que le filtre de Kalman étendu.

Le travail présenté ici est encore incomplet. Il se poursuit actuellement par une thèse pour approfondir certains points (caractérisation des erreurs, filtrage non-linéaire) et choisir le signal émis par la cible. Des données recueillies en mer devraient permettre de juger de l'apport de l'estimation des profils de célérité par des fonctions empiriques orthogonales.

Références

- [1] L. Collin, "Pré-étude d'un système de localisation de cibles en milieu sous-marin", rapport de stage de DEA d'électronique, Univ. de Bretagne Occidentale. 1999.
- [2] J.-P. Verney, H. Thomas, « Localisation et navigation sous-marines », Revue Technique et Scientifique de la Défense, N° 44, pp. 69-77, 1999.
- [3] P. Mattos, « GPS », Electronics and Wireless World, vol. 98, pp. 982-987, 1992.
- [4] K. T. Sutherland, W. B. Thompson, « Localizing in unstructured environments : Dealing with the errors », IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 10, no. 6, pp. 740-754, 1994.
- [5] Y. Bar Shalom, T. Fortmann, « Tracking and data association », The Academic Press, 1988.
- [6] J. S. Julier, J. K. Uhlmann, H. F. Durrant-Whyte, « A new approach for filtering nonlinear systems », Proc. of the American Control Conf., pp. 1628-1632, 1995.