

Mise en Cohérence des Objectifs de TIPE (MCOT)

Supervision maritime par cartographie

Kerrian LE CAILLEC, Brieuc PRAUD

2020-2021

Positionnement thématique

Informatique, Physique théorique (Mécanique, Dynamique), Mathématiques

Mots-clefs

Mots-clefs – Sécurité – Cartographie – Traitement du signal – SIA – Navigation – Trajectographie

Keywords – Security – Cartography – Signal Processing – AIS – Navigation – Trajectography

Bibliographie commentée

Plusieurs systèmes permettent de diminuer les risques d'une collisions entre deux navires. Parmi eux, le Système d'Identification Automatique (SIA, ou AIS), qui permet de recueillir plusieurs informations à propos des bateaux équipés d'un émetteur adapté, les principales étant la position (envoyée toutes les 2 à 10 secondes), la vitesse et le cap. Ces informations sont captées et émises par les bateaux eux-mêmes (porteurs) et peuvent également être relayées par des transpondeurs côtiers (bruiteurs) [1]. Les informations récupérées par un bateau sont traitées puis enregistrées dans une base de données avant d'intervenir dans les calculs qui permettront le choix optimal d'une trajectoire en évitant les possibles collisions [2]. Ces calculs doivent prendre en compte l'inertie importante d'un navire en comparaison de sa puissance motrice, donc permettre une anticipation temporelle large.

On veut prédire la trajectoire d'un navire dont on reçoit les données. Sa situation est représentée par des variables aléatoires. À cause de bruits blancs gaussiens dus aux imprécisions des mesures réalisées à son bord, il est nécessaire de corriger les informations reçues à tout instant t_k . Pour cela, on utilise les équations du mouvement du bateau observé.

On modélise le vecteur $X_k = X(t_k) = \begin{pmatrix} v_x(t_k) \\ v_y(t_k) \\ r_x(t_k) \\ r_y(t_k) \end{pmatrix}$ où les $v(t)$ et $r(t)$ correspondent respectivement à la vitesse et à la position relative du porteur par rapport au bruiteur dans un repère cartésien.

L'évolution de la position r est donnée en fonction de la vitesse v par l'équation du mouvement : $r(t + dt) = r(t) + \int_t^{t+dt} v(t) dt$

Le modèle physique nous propose donc la relation discrétisée suivante :

$$X_{k+1} = \begin{pmatrix} v_x(t_{k+1}) \\ v_y(t_{k+1}) \\ r_x(t_{k+1}) \\ r_y(t_{k+1}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} X_k = A_k X_k$$

À ce modèle, il faut ajouter les bruits blancs, qui peuvent être représentés par des variables $V_k = V(t_k)$ et $W_k = W(t_k)$ suivant une loi normale. Les mesures réelles sont alors modélisées par un système linéaire :

$$\begin{cases} X_{k+1} = A_k X_k + W_k \\ Y_k = H_k X_k + V_k \end{cases}$$

L'information obtenue grâce aux observations (ici faites par l'AIS) est donnée par la suite $\mathcal{Y}_{n \in \mathbb{N}} = (Y_i)_{i=0}^n$ où les Y_k correspondent aux observations à tout instant t_k . X_k et Y_k sont liés par un produit matriciel par l'intermédiaire de la fonction de transfert dont la matrice est $H_k = H(t_{k+1}, t_k)$.

Notre volonté est d'obtenir une estimation de X_{k+1} notée \hat{X}_{k+1} à l'instant t_k . Afin de résoudre ce système, on peut utiliser le filtre Kalman, avancé par le chercheur du même nom en 1960 [3]. Cet algorithme est modélisé selon une chaîne de Markov. Autrement dit, seules les observations de l'état présent sont nécessaires pour déterminer le comportement futur du navire. Ainsi, on peut estimer X_{k+1} à l'instant t_k connaissant l'information \mathcal{Y}_k .

À partir d'une initialisation du vecteur $\begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{pmatrix}$. On calcule l'espérance ainsi que la covariance des variables à l'instant t_0 , afin d'obtenir $\hat{X}_0 = E(X_0)$.
Ensuite, on cherche à déterminer une estimation \hat{X}_1 sachant \mathcal{Y}_0 c'est-à-dire que

l'on cherche la loi suivie par $\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{pmatrix}$ en déterminant les matrices d'espérance et de covariance.

Finalement, une estimation est donnée par :

$$\hat{X}_1 = A_0 \hat{X}_0 + R_1^t H_1 (H_1 R_1^t H_1 + \text{Cov}[V_1])^{-1} (Y_1 - H_1 A_0 \hat{X}_0)$$

où R_1 est la covariance de X_1 sachant \mathcal{Y}_0 .

On réitère cette étape afin de déterminer à tout instant t_k une estimation \hat{X}_{k+1} [4] [5]. Dès lors, on obtient une estimation des données cinématiques du navire. Cette estimation peut être erronée selon une marge plus ou moins grande. Le modèle choisi a une influence importante sur l'estimation de la trajectoire, que ce soit la conception du bruit ou l'expression du système d'équations. Les erreurs de mesure restent minimes, en effet, le GPS et le compas gyroscopique ont respectivement des marges d'erreur de l'ordre du mètre et du degré.

La modélisation informatique du filtre est de complexité $\mathcal{O}(n)$ pour n réceptions d'information sur la trajectoire d'un seul navire [5], cette méthode est peu coûteuse en temps, ce qui explique son utilisation, notamment dans des zones à fort trafic.

Problématique retenue

Peut-on créer aisément un programme Python, basé sur le filtre de Kalman, capable d'assurer la sûreté et la sécurité sur voie maritime ? Est-ce qu'un tel programme fourni des résultats prévisionnels semblables aux décisions prises d'après les systèmes existants ?

Objectifs du TIPE

1. Cartographie : réalisation d'une carte virtuelle à partir d'une base de données reçue du SIA, dans le but d'obtenir une visualisation globale des informations traitées par l'algorithme
2. Modélisation informatique : réalisation d'un algorithme à partir du filtre de Kalman, basé sur les équations de mouvements (position, vitesse et cap) et les données récoltées précédemment
3. Exploitation de l'algorithme : Prédiction d'une trajectoire d'un navire et comparaison avec la situation réelle et étude des erreurs

Références

- [1] Arnaud SERRY : The automatic identification system (AIS) : a data source for studying maritime traffic. *In 7th International Conference On Maritime Transport*, 2016.
- [2] Bahlke C. Hering-Bertram M. Linsen L. LAST, P. : Comprehensive Analysis of Automatic Identification System (AIS) Data in Regard to Vessel Movement Prediction. *Journal of Navigation*, 67(5):799–809, 2014.
- [3] Rudolph Emil KALMAN : A new approach to linear filtering and prediction problems. *Transactions of the ASME–Journal of Basic Engineering*, 82(Series D):35–45, 1960.
- [4] WIKIPÉDIA : Kalman filter. Wikipédia, Mai 2020. https://en.wikipedia.org/wiki/Kalman_filter.
- [5] Fabien CAMPILLO : Filtrage de Kalman, application en trajectographie. *Cours de DESS-Universités Aix-Marseille I & II*, 1996.