



Prise en compte des pistes externes dans un système de veille multicapteurs

D. Laneuville*, H. Fargetton**, O. Cuillère* et M. Artaud**

*Laboratoire de Traitement des Images et du Signal
MATRA CAP SYSTEMES, BP 14
78142 Vélizy Villacoublay Cedex, France

**STSN/CTSN/LSA Arsenal du Mourillon DCN TOULON BP 28 83800
TOULON NAVAL

Résumé

Les bâtiments de surface de la Marine Nationale élaborent leur situation aérienne à partir des mesures fournies par les capteurs embarqués (radars, détecteurs infrarouge,...), mais aussi des pistes externes issues d'autres plate-formes via des liaisons hertziennes spécialisées. L'exploitation automatique des mesures permet d'élaborer des pistes multicapteurs.

Le présent article décrit un traitement automatique de fusion entre ces pistes et les pistes externes reçues par une liaison à faible débit.

1 Introduction

La prise en compte de pistes externes transmises via une liaison hertzienne spécialisée au sein du SFD (Système de Fusion de Données) des bâtiments de surface de la Marine Nationale est un enjeu majeur. En effet, une telle liaison opérationnelle permet d'accéder aux informations tactiques élaborées par une entité terrestre ou aéroportée. Celles ci peuvent alors être très utiles à l'enrichissement de la situation : augmentation de la couverture, mise en alerte des capteurs locaux, amélioration de la précision des pistes et enfin pilotage des capteurs et des algorithmes dans le cadre d'un système de fusion de données commandable [3] et [4].

Abstract

Navy surface ships elaborate an air tactical situation from on-board measurements (radar, IR, ...) and also from external tracks radioed by other platforms. Measurements automatic processing allows for multi-sensor tracking.

This paper presents an automatic fusion process between these tracks and external tracks received through a low-rate radio link.

2 Position du problème

En plus des problèmes classiques inhérents à la fusion de pistes [1], essentiellement changements de référentiels et asynchronisme des pistes, s'ajoute le problème particulier de l'indisponibilité au noeud de fusion de la matrice de covariance de la piste externe. En général, la fusion de pistes nécessite d'adresser au noeud de fusion non seulement les vecteurs d'état mais aussi les matrices de covariances associées aux filtres (le plus souvent de type Kalman) ayant produit les pistes. Dans le cas présent, cette matrice est comprimée en un indicateur scalaire de qualité : la TQ (Track Quality). Il n'est pas prévu en effet à ce jour, parmi tous les messages de type piste transitant sur la liaison, un champ réservé à la matrice de covariance.



La mise en oeuvre d'une fusion de piste exploitant les TQ (locale et celle transmise par la liaison) nécessite une connaissance précise de leur mode d'élaboration par chacune des chaînes capteurs. En particulier, il convient de prêter la plus grande attention au cas fréquent où les échelles de TQ sont relatives (c'est à dire associées au fonctionnement courant d'une chaîne), ce qui exige des précautions dans leur comparaison. D'autre part, il convient de noter qu'une échelle de TQ n'est pas toujours liée à une précision de pistage comme la matrice de covariance peut l'être : elle est en effet le plus souvent issue d'une logique de calcul. Dans ce cas, une fusion de pistes exploitant les TQ est difficilement envisageable et il est préférable de se ramener au cas classique [2] en pondérant les estimées par les matrices de covariance.

3 Reconstruction de la matrice de covariance

Pour obtenir une approximation des principaux éléments de la matrice de covariance associée à une piste, on utilise la solution asymptotique de l'équation de Riccati qui gouverne son évolution. Pour calculer la solution de cette équation en régime établi, il faut connaître un minimum sur le pistage ayant produit l'estimée d'une part et sur le mode d'élaboration de la TQ d'autre part.

Pour le premier point, on se place dans le cas courant où la piste est élaborée par un filtre de Kalman standard position-vitesse caractérisé par son bruit de modèle σ_v (il est fonction du facteur de charge maximum des cibles poursuivies). On a également besoin des principales caractéristiques du senseur ayant suivi le mobile : cadence T et précision ($\sigma_d, \sigma_{az}, \sigma_{ele}$) dans le cas d'un radar de veille.

Pour le second, on prend un cas générique d'élaboration de TQ : échelle de TQ variant de 1 à 7, TQ initiale de 4 pour une nouvelle piste, croissance de une unité à chaque mise à jour et décroissance de une unité en cas de manque (piste non recalée). Une piste ayant alors une TQ de 7 correspond à un "excellent" suivi.

Pour la reconstruction de la matrice de covariance P , on dispose au noeud de fusion de l'état estimé $X = [x \ y \ z \ v_x \ v_y \ v_z \ \dots]$ transmis par la liaison.

On calcule alors successivement :

$$az = \text{atan}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (1)$$

$$ele = \text{atan}\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) \quad (2)$$

$$d = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (3)$$

Ces données nous permettent de calculer à l'aide des caractéristiques de précision du senseur, la précision de la mesure qu'aurait un capteur mesurant directement x, y et z .

$$R_x = \sqrt{\sigma_d^2 \cos^2(az) + d^2 \sin^2(az) \sigma_{az}^2} \quad (4)$$

$$R_y = \sqrt{\sigma_d^2 \sin^2(az) + d^2 \cos^2(az) \sigma_{az}^2} \quad (5)$$

$$R_z = \sqrt{\sigma_d^2 \sin^2(ele) + d^2 \cos^2(ele) \sigma_{ele}^2} \quad (6)$$

R_x permet de calculer finalement les éléments $P_{xx}, P_{x\dot{x}}$ et $P_{\dot{x}\dot{x}}$ de la matrice de covariance suivant l'axe des x :

$$\lambda = \frac{\sigma_v T^2}{R_x} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{\lambda^2 + 8\lambda - (\lambda + 4) \sqrt{\lambda^2 + 8\lambda}}{8} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{\lambda^2 + 4\lambda - \lambda \sqrt{\lambda^2 + 8\lambda}}{4} \quad (9)$$

$$P_{xx} = \alpha \cdot R_x^2 \quad (10)$$

$$P_{x\dot{x}} = \frac{\beta \cdot R_x^2}{T} \quad (11)$$

$$P_{\dot{x}\dot{x}} = \frac{\beta(\alpha - \beta/2) \cdot R_x^2}{T^2(1 - \alpha)} \quad (12)$$

On reconstruit la partie en x de la matrice de covariance :

$$P_x = \begin{bmatrix} P_{xx} & P_{x\dot{x}} \\ P_{x\dot{x}} & P_{\dot{x}\dot{x}} \end{bmatrix} \quad (13)$$

On procède de même pour la partie en y et en z en remplaçant R_x par R_y , puis par R_z pour obtenir une approximation de la matrice de covariance (on

néglige les termes croisés entre les différentes coordonnées) :

$$P = \begin{bmatrix} P_x & O_3 & O_3 \\ O_3 & P_y & O_3 \\ O_3 & O_3 & P_z \end{bmatrix} \quad (14)$$

où O_3 représente la matrice nulle 3×3 .

Cette valeur de P est valable en régime établi, c'est à dire lorsque la TQ a atteint sa valeur maximum. En cas de manque la TQ décroît de une unité et il convient d'extrapoler cette matrice :

$$\phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix}, \quad Q = \sigma_v^2 \begin{bmatrix} \frac{T^4}{4} & \frac{T^3}{2} \\ \frac{T^3}{2} & T^2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$Px_T = \phi \cdot Px \cdot \phi' + Q \quad (16)$$

A titre d'exemple, pour obtenir l'approximation de P correspondant à une TQ de 4, il faut réitérer l'extrapolation décrite par les équations (15) et (16) 3 fois dans le cas où la TQ maximale vaut 7.

4 Mise en œuvre

La fusion des pistes externes transmise par une liaison à faible débit avec les pistes locales établies par le SFD se fait en plusieurs étapes : extrapolation des pistes locales à la date de la piste externe, changement de repère, corrélation et finalement fusion.

Le premier point est dû au fait que les pistes externes ne sont pas synchrones avec les pistes locales, et il convient d'extrapoler suivant un modèle d'évolution classique les pistes locales à la date de la piste transmise pour que les vecteur d'état soient établis à une même date.

Le deuxième point tient au fait que les pistes externes ne sont pas exprimées dans le même référentiel que les pistes locales. Il faut donc exprimer le vecteur d'état de la piste externe dans le référentiel utilisé par l'unité réceptrice avant de pouvoir corréler et fusionner les pistes.

Le troisième point met en correspondance la piste externe avec une piste locale. En effet, avant de fusionner les informations, il faut trouver parmi toutes

les pistes locales celle qui correspond à la piste externe et s'assurer qu'elles proviennent bien du même objet. Cette association, point clé de tout système de veille, se fait de manière courante et est bien documentée dans [1].

La fusion peut alors se faire de manière classique [2] et on rappelle ici le calcul de l'état fusionné :

$$X_{12} = P_2 (P_1 + P_2)^{-1} \cdot X_1 + P_1 (P_1 + P_2)^{-1} \cdot X_2 \quad (17)$$

où (X_1, P_1) sont issus du pistage local. X_2 est transmis et P_2 reconstruit suivant la méthode exposée ci-dessus.

L'avantage principal de la fusion, outre l'amélioration de la précision des pistes, concerne le renseignement : les attributs de classification de la piste externe viennent compléter ou confirmer ceux de la piste locale.

De plus, en cas de non corrélation avec une piste locale, (piste hors portée des senseurs locaux ou dans une zone de fouillis dense), on peut, dans le cadre d'un SFD commandable [4], agir sur les senseurs (demande de mesure dans la direction de la piste externe) ou sur les algorithmes d'initialisation afin d'acquérir plus rapidement la piste en question.

5 Exemple numérique

A titre d'exemple on considère le scénario illustré par la figure 1 : un bâtiment naviguant à proximité des côtes reçoit une piste externe transmise par un centre à terre. On se fixe le mode classique d'élaboration de TQ décrit ci-dessus et un bruit de modèle $\sigma_v = 4$.

Pour le capteur, on prend des valeurs typiques d'un radar de veille :

$$T = 4s, \quad \sigma_{az} = 7 \text{ mrad}, \quad \sigma_{ele} = 10 \text{ mrad}, \quad \sigma_d = 140 \text{ m.}$$

position transmise :

$$x_e = 14 \text{ km}, \quad y_e = 2.8 \text{ km}, \quad z_e = 600 \text{ m.}$$

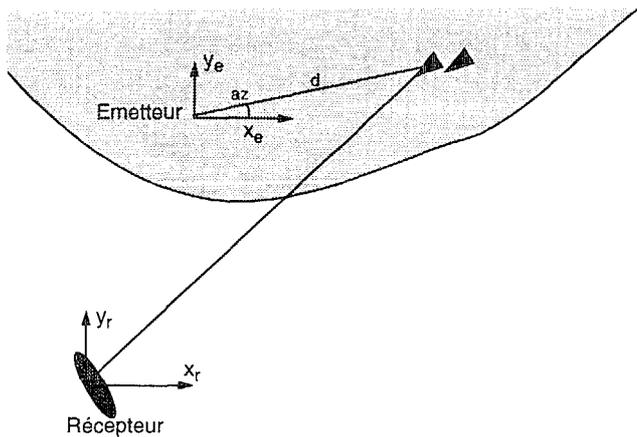
Pour une TQ de 7, correspondant au régime établi, on obtient :

$$Px = \begin{bmatrix} 109^2 & 37^2 \\ 37^2 & 32^2 \end{bmatrix}, \quad Py = \begin{bmatrix} 83^2 & 31^2 \\ 31^2 & 21^2 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad Pz = \begin{bmatrix} 111^2 & 38^2 \\ 38^2 & 21^2 \end{bmatrix}$$

et pour une TQ de 4 on obtient :

$$P_x = \begin{bmatrix} 376^2 & 105^2 \\ 105^2 & 34^2 \end{bmatrix}, P_y = \begin{bmatrix} 339^2 & 98^2 \\ 98^2 & 33^2 \end{bmatrix} \text{ et } P_z = \begin{bmatrix} 380^2 & 106^2 \\ 106^2 & 35^2 \end{bmatrix}$$

Figure 1 scénario type



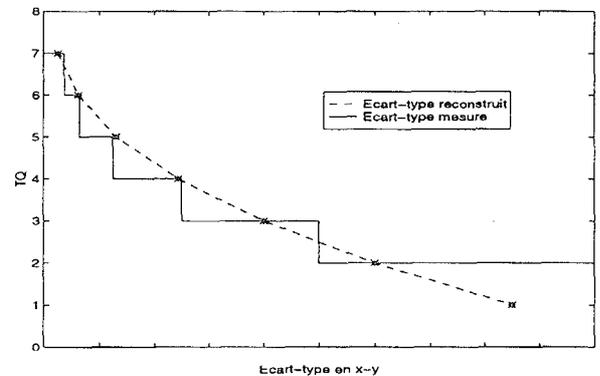
Afin de valider le concept, nous allons comparer les résultats en position obtenus sur la matrice de covariance reconstruite et la valeur réelle de cette matrice (non disponible en situation opérationnelle car non transmise). le CTSN/LSA a établi sur cas réel la correspondance entre la TQ d'une piste élaborée par leur système de fusion de données et sa covariance (disponible à ce niveau) dans le plan $x-y$. Pour des raisons évidentes de confidentialité, nous ne pouvons indiquer ici ces valeurs.

La courbe suivante illustre, d'une part, la relation entre la TQ et l'écart-type de l'erreur de position dans le plan $x-y$ pour le cas expérimental (courbe en escalier) obtenue par le CTSN/LSA et, d'autre part, l'écart-type de l'erreur de position reconstruit pour une TQ variant de 1 à 7.

L'écart-type reconstruit $\sigma = \sqrt{P_x(1,1) + P_y(1,1)}$, utilise les équations du paragraphe 4 pour obtenir

$P_x(1,1)$ et $P_y(1,1)$ avec des paramètres également non divulgués pour cause de confidentialité.

Figure 2 comparaison des écart-type en fonction de la TQ



6 Conclusion

Cet article a décrit une méthode permettant de fusionner des pistes externes transmises par une liaison hertzienne à faible débit avec les pistes élaborées par le SFD des bâtiments de la marine nationale. Cette méthode reconstruit la matrice de covariance des pistes transmises pour s'affranchir du problème de la fusion de piste basée sur des TQ issues de chaînes capteurs différentes.

7 Références

- [1] Edward Waltz James Llinas, Multisensor Data Fusion, Artech House, 1990.
- [2] Y. Bar-Shalom T.E. Fortmann, Tracking and Data Association, Academic Press, Orlando, 1988.
- [3] B. Hersen, A. Lalo, D. Laneuville and M. Mariton, Image Based Target Tracking : Fusion Architecture and Sensor Management, OE/Aerospace Sensing SPIE, Orlando 1993
- [4] O. Cuillière, H. Fargetton, D. Laneuville et M. Artaud, Pistage paramétrable auto-adaptatif pour une veille aérienne multicapteurs, quinzième colloque du GRETSI 1995