



## FUSION DE DONNEES MULTICAPTEUR MULTIAPPLICATIVE

Jean-michel CRASTE

THOMSON-CSF division systèmes défense et contrôle - SDC  
7 rue des Mathurins  
92223 BAGNEUX

RÉSUMÉ

ABSTRACT

L'évolution conjointe des menaces et des capteurs a favorisé l'émergence d'une technique de fusion de donnée dans le domaine de la surveillance sol-air. Ainsi la société THOMSON-CSF, sur la base de son l'expérience opérationnelle a mis au point une technique de fusion asynchrone de plots qui permet d'obtenir un très haut niveau de performance, en exploitant le mieux possible la redondance des capteurs. Cette technique a été implanté de manière à pouvoir intégrer plusieurs types de capteurs : radars classiques ou multifonctions, capteurs passifs électromagnétiques ou optroniques. Ceci permet de l'utiliser dans plusieurs contextes opérationnels.

The parallel evolution of the threat and of sensors has resulted in the emergence of a data fusion technic in the air surveillance domain. THOMSON-CSF, by taking all benefits of its operational experiences, has developed a variable update plot fusion technic, which provides the best possible air picture. It has been implemented in such a way to be able to integrate many kinds of sensors : standard or multifunction radars, passive sensors, electromagnetic or optronic. It allows to use this technic in different operational contexts.

## 1. INTRODUCTION

Dans le domaine de la surveillance sol-air, la fusion de capteurs colocalisés et/ou délocalisés, est une solution utilisée depuis longtemps pour résoudre le problème difficile de l'établissement de situation aérienne. Mais l'évolution récente (et non achevée) des menaces (furtivité, contremesure, agilité et manoeuvrabilité des cibles), l'évolution des capteurs en riposte à ces menaces ont modifié le contexte de la surveillance et les contraintes à prendre en compte au niveau des fonctions de fusion. Dans un premier temps, il est nécessaire, avant d'expliquer les solutions mises en oeuvre, de détailler ce que recouvre ici le mot fusion.

## 2. DEFINITION DE LA FUSION

Dans le contexte de la surveillance sol-air, la fusion de données consiste à trai-

ter simultanément les données de détection fournies par plusieurs capteurs, de façon à établir une situation aérienne unique utilisable par les autres fonctions opérationnelles du système. L'objectif de la fusion est d'augmenter la probabilité de détecter les cibles et d'améliorer la qualité du suivi, ceci dans des contextes difficiles. Les capteurs considérés sont des radars de surveillance, des capteurs passifs électromagnétiques, des capteurs optroniques. Ils sont donc très complémentaires et leur association est dictée par les besoins opérationnels à satisfaire. Les caractéristiques inhérentes à ce contexte multicapteur sont :

. dimensions des mesures variables

1D : mesure angulaire,

2D : mesure angulaire et distance ou mesure angulaire et élévation,

3D : mesure angulaire, distance et élévation.

4D : mesure angulaire, distance, élévation, vitesse radiale.

- . renouvellement de l'information allant généralement de 0.5 seconde à 15 secondes suivant le capteur,
- . erreurs affectant la mesure (bruit et biais) propres à chaque type de capteur,
- . capteurs délocalisés et/ou colocalisés,
- . ratio vraies/fausses détections propres à chaque capteur.

Le problème est donc de déterminer quel est le niveau optimum dans la chaîne de traitement du capteur ou il faut prélever l'information pour la fusionner. Ce niveau doit être choisi afin de satisfaire simultanément les 3 contraintes suivantes :

- optimiser la performance de détection grâce à l'effet multicapteur,
- permettre un contrôle de la fausse alarme,
- tenir compte des moyens de transmission disponibles afin d'acheminer les informations à la fonction de fusion.

Compte tenu de ces contraintes, le niveau pris en compte ici est celui où les données de détections élémentaires correspondant à une même cible sont regroupées par un processus d'extraction (par exemple les plots pour les radars). Une fonction de filtrage peut-être utilisée en amont afin d'effectuer un premier tri entre vraies et fausses détections, tout en gardant une probabilité de détection satisfaisante. Le critère de filtrage peut d'ailleurs être adapté grâce à des consignes provenant de la fusion.

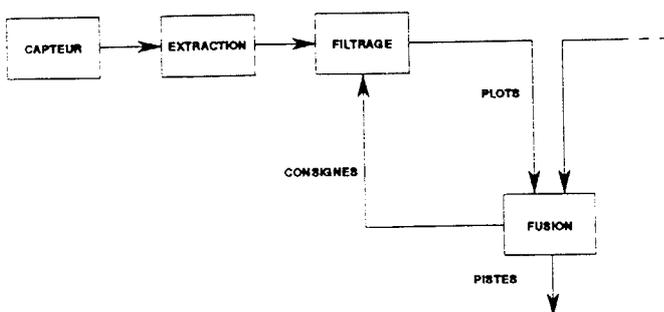


Figure 1

Le niveau considéré permet de prélever l'information dans le repère de mesure du capteur (repère polaire). La mesure peut donc être caractérisée par :

- un biais stationnaire (avec une constante de temps très élevée).
  - un bruit que l'on assimile à un bruit blanc discret.
- Les deux erreurs s'expriment dans le repère polaire sur chaque axe de mesure du capteur.

Cette caractéristique n'est plus vraie si le niveau de prélèvement de l'information est choisi plus en aval de la chaîne de traitement du capteur (par exemple après un étage de fusion monocapteur). Le niveau de fusion de plot multicapteur a déjà été développé et utilisé dans un contexte opérationnel grâce à la technique présentée dans la suite de ce document.

### 3. LA TECHNIQUE "FUSION DE PLOT ASYNCHRONE"

La technique de fusion de plot asynchrone consiste à traiter les plots fournis par chaque capteur dès leur arrivée dans le processus de fusion. Chaque plot est traité en fonction des caractéristiques de mesure (biais, bruit, erreur de dotation, et tout type d'erreur propre au capteur). Les pistes correspondant aux cibles entretenues sont corrélées et mises à jour à chaque fois qu'un capteur fournit des mesures. A la base cette technique résout le problème de l'hétérogénéité des périodes d'échantillonnage et des bruits de mesure. Elle permet d'obtenir une excellente qualité de tenue de situation aérienne, grâce à l'utilisation de toutes les données sans sélection sans délai.

Les grandes fonctions du processus de fusion sont les suivantes (cf figure 2).

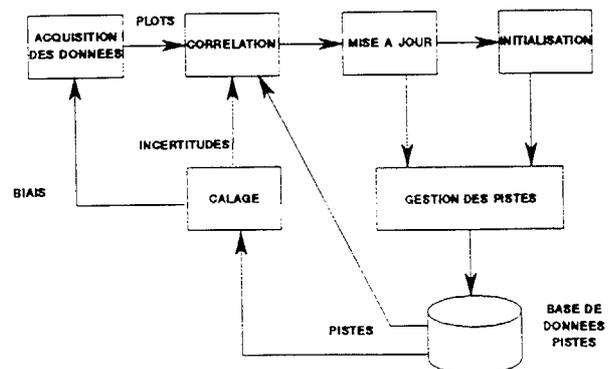


Figure 2



**La corrélation** : cette fonction consiste à rechercher puis attribuer les mesures aux pistes existantes. L'algorithme est du type association probabiliste.

**La mise à jour** : chaque piste ayant été corrélée à une (ou plusieurs) mesure, la mise à jour du vecteur d'état se fait grâce à un filtre de Kalman étendu avec adaptation du bruit de modèle par égalisation des covariances, ceci afin de pouvoir suivre les évolutions des cibles. Suivant le besoin opérationnel, on peut ici utiliser un filtre multi-modèle (IMM par exemple) pour assurer un meilleur suivi des évolutions ou un filtre à association probabiliste pour le cas des cibles proches.

**L'initialisation automatique** : tous les plots n'ayant pas corrélés avec des pistes déjà existantes font l'objet de tentatives de chaînages de tour à tour. Chaque "piste tentative" ainsi créée fait l'objet d'un test statistique basée sur une fonction de vraisemblance afin de décider de la confirmation.

Cette fonction caractérise le rapport de probabilité "vraie cible" sur "fausse alarme".

Elle intègre la cohérence cinématique de la piste tentative et les densités de fausses alarmes observées. La valeur de la fonction de vraisemblance est comparée à chaque nouveau calcul à un seuil afin de confirmer les pistes ou non. Le seuil est calculé afin de garantir un taux de fausses pistes.

**La gestion des pistes** : cette fonction permet de gérer les dossiers pistes, et de décider de l'abandon ou non des pistes en cours.

**Le calage** : cette fonction permet de calculer les erreurs systématiques qui affectent les mesures traitées par la fusion. Suivant le type de capteur, ces erreurs sont :

- biais de mesure sur chaque axe (mauvaise référence au nord, distance zéro mal calibrée, mauvaise référence horizontale).
- biais affectant la position du capteur,
- erreur de verticalité,
- erreur de gain en distance (due aux propagations anormales),
- erreur de squint,
- etc...

La fonction de calage est primordiale dans une fusion multicapteur. En effet, il est inutile de vouloir comparer et corréler des mesures fournies par différents sources, à un niveau où l'information est encore très pure, sans corriger les erreurs systématiques qui affectent ces mesures ; c'est pour cette raison qu'il a été choisi d'implanter une fonction de calage dynamique, qui fonctionne en parallèle de la fonction de fusion. Les références utilisées pour le calage sont des cibles d'opportunité sélectionnées en fonction de leurs comportements.

Un filtre de Kalman intégrant dans son vecteur d'état les pistes, les plots, les biais, est utilisé. Il permet d'estimer les biais mais aussi les précisions associées qui sont alors utilisées pour dimensionner correctement les fenêtres de corrélation. Une fonction de surveillance des biais, qui analyse le comportement du filtre, peut-être rajouté afin d'avertir l'opérateur en cas de dérive ou d'anomalie.

#### Le problème des dimensions hétérogènes

Le problème que ne résoud pas de base la technique citée est l'hétérogénéité des dimensions des mesures fournies par différents senseurs. Ce problème est aggravé par le fait que les modèles capteurs les plus couramment utilisés dans la surveillance sol-air sont des modèles basés sur une représentation en coordonnées cartésiennes dans un repère système. Or les senseurs élaborent, de par leurs natures, des

données en coordonnées polaires. Il est donc préférable de ne pas avoir à transformer les mesures polaires en coordonnées cartésiennes, mais plutôt de mettre à jour la piste en intégrant directement la mesure polaire dans le filtre, la linéarisation se faisant au niveau de l'équation de mise à jour du filtre. Enfin, de façon à pouvoir intégrer des mesures partielles (de 1 dimension à 4 dimensions suivant le capteur) et mettre à jour un état complet de la piste (3 dimensions) les mesures sont intégrées axe par axe avec le gain calculé sur chaque axe. La matrice de covariance de la mesure reste donc dans tous les traitements une matrice diagonale. Dans le cas de capteurs délocalisés, la matrice d'observation prend en compte le changement de repère local vers système en intégrant dans la matrice d'observation du filtre les équations relatives au changement de coordonnées.



Les équations donnant l'état estimé à l'instant  $k$  en fonction de l'état prédit sont donc :

$$X_{k/k} = X_{k/k-1} + K_k(Z_k - \mathcal{H}(X_{k/k-1}))$$

$$P_{k/k} = (I - K_k H_k) P_{k/k-1}$$

$$K_k = P_{k/k-1} H_k^T (H_k P_{k/k-1} H_k^T + R_k)^{-1},$$

avec :

.  $Z_k$  les coordonnées polaires de la mesure ( de dimension dépendante du capteur)

.  $X_{k/k}$  le vecteur d'état estimé à l'instant  $k$

.  $X_{k/k-1}$  le vecteur d'état prédit à l'instant  $k-1$

.  $P_{k/k}$  la matrice de covariance de l'état estimé

.  $R_k$  la matrice de covariance de la mesure

.  $H_k$  la matrice d'observation.

Cette dernière est obtenue en linéarisant la fonction autour de la position prédite de la piste, convertie en coordonnées polaires. Chaque axe est alors intégré tour à tour. Les équations de mise à jour deviennent :

$$X_{k/k}^1 = X_{k/k-1}^1 + k_k^1 (Az_k - Az_{k/k-1})$$

$$P_{k/k}^1 = (I - k_k^1 \cdot h_k^1) P_{k/k-1}^1$$

$$k_k^1 = P_{k/k-1}^1 \cdot h_k^{1T} / (h_k^1 \cdot P_{k/k-1}^1 \cdot h_k^{1T} + \sigma_{az}^2)$$

avec :

.  $Az_k$  l'azimut de la mesure

.  $h_k^1$  la matrice d'observation correspondant à l'azimut

.  $\sigma_{az}$  l'écart-type de bruit en azimut du capteur

pour intégrer l'axe azimutale. La première estimation ainsi obtenue est utilisée à la place de l'état prédit, la matrice d'observation est recalculée et les mêmes équations sont appliquées pour intégrer les deux autres dimensions si elles sont renseignées par la mesure courante.

Un autre avantage de cette technique est la possibilité de recalculer une dimension manquante pour des cibles dont le comportement cinématique est cohérent avec le modèle. En effet, selon les conditions d'observabilités (dépendant de la position de la cible et de la géométrie du réseau de capteur) le filtre de mise à jour recalcule de lui-même la dimension manquante, que l'on initialise d'abord avec une valeur forfaitaire, puis qui converge naturellement vers la valeur réelle.

Un exemple pratique consiste à recalculer l'altitude de cibles avec des capteurs ne fournissant aucune information dans la 3ème dimension.

### Cas des radars multifonctions

Cette technique permet non seulement de traiter des configurations multicapteur, mais peut aussi s'intégrer facilement dans des radars multifonctions en tant que traitement local de pistage. En effet, ces derniers possèdent des modes de fonctionnement sophistiqués afin d'assurer à la fois la veille et la poursuite. Plusieurs modes peuvent cohabiter, ce qui a pour effet d'induire des probabilités de détection, des périodes de renouvellement et des dimensions de mesures variables dans le temps mais aussi dans l'espace. Ces radars sont conçus en fait pour remplir simultanément les missions de plusieurs radars classiques.

Ainsi, la technique présentée s'adapte facilement à ces contraintes, en décomposant fonctionnellement le radar en plusieurs capteurs localisés de caractéristiques différentes.

**Conclusion** : La technique de fusion de plot asynchrone permet, de base, de résoudre plusieurs problèmes dus au contexte multicapteur. Grâce à une implantation ou les mesures sont entièrement traitées dans leur repère naturel (polaire), il est possible d'intégrer des capteurs de dimensions différentes et même de nature différente (optronique, électromagnétique, acoustique,...). Cela permet d'utiliser cette technique dans différents contextes opérationnels (défense aérienne, champ de bataille, système naval de combat, contrôle du trafic aérien). De plus, le fait d'avoir traité des configurations multicapteurs a permis d'apporter une solution au problème des radars multifonctions.