

## L'ASSOCIATION-FUSION DANS LES SYSTEMES SONARS PASSIFS

Georges BIENVENU

THOMSON SINTRA ASM  
B.P. 157, 06903 SOPHIA-ANTIPOLIS CEDEX - FRANCE

### Résumé

De façon à maximiser la portée de détection des cibles de moins en moins bruyantes, les systèmes sonar modernes utilisent plusieurs antennes et plusieurs traitements par antenne pour s'adapter au mieux à la grande diversité des bruits rayonnés par ces cibles de part la bande de fréquences et leur nature.

Une même cible peut donc être détectée par plusieurs antennes et par plusieurs traitements. Il se pose un problème d'association des détections.

On présente dans cet exposé une description générale d'un système sonar (antennes, traitements) et les différents besoins d'association-fusion qui en découlent : l'association temporelle et l'association de piste. On décrit la structure de la fonction association-fusion actuelle, et les méthodes utilisées pour les deux types d'associations.

### 1. INTRODUCTION

En acoustique sous-marine, les sous-marins emploient principalement des sonars passifs qui utilisent les bruits rayonnés par les bâtiments pour les détecter, les localiser, mesurer leurs éléments cinématiques, et les classer. La diversité de ces bruits est très grande, de part la bande de fréquence (quelques Hertz à quelques dizaines de kilohertz) et leur nature (bruit de bande modulé, raies, bruits impulsifs, émissions sonar actif). De ce fait, et de façon à maximiser la distance de détection, les systèmes sonars modernes comportent plusieurs antennes, pour couvrir toute la gamme de fréquences utile et optimiser leur emploi opérationnel, et plusieurs traitements par antenne, adaptés à cette diversité des bruits rayonnés par les bâtiments.

Une même cible peut donc être détectée par plusieurs traitements sur plusieurs antennes. Il se pose donc un problème d'association des détections, et, pour les détections associées, de fusion des mesures effectuées sur ces détections.

### 2. DESCRIPTION GENERALE D'UN SYSTEME SONAR

La Figure 1 donne un schéma de principe d'une chaîne de

### Abstract

In order to maximize the detection range of less and less noisy targets, modern sonar systems use several arrays and several processing channels for an array, to best fit the great variety of the noises radiated by those targets concerning their frequency ranges and their features.

The same target may therefore be detected by several arrays and several processing channels. Thus the problem of association and fusion of the different detections arises.

A general description of a sonar system (arrays, processing) is presented, and the different needs of association that follow are described: time association (tracking) and track association. The present structure of the association-fusion function is presented, and the methods used for the two kinds of association are described.

traitement de système sonar. On distingue les différentes fonctions suivantes, réparties dans deux groupes.

Le premier groupe, que l'on appelle "traitements amont" est constitué de fonctions de traitement du signal :

- traitement spatial : il est destiné à séparer les signaux en provenance des différents points de l'espace (formation de voies classique, adaptative, de télémétrie, ...).
- traitement temporel : il utilise la connaissance que l'on a priori sur les propriétés temporelles (spectrales) des signaux émis par les cibles pour optimiser leur détection (analyse spectrale pour les signaux périodiques générés par les machines tournantes, détection-intégration pour le bruit de bande généré par les hélices par exemple, traitements adaptés aux modulations du bruit de bande, aux signaux transitoires, aux émissions de sonars actifs, ...).
- Détection/habillage d'événements : cette fonction estime les paramètres du bruit (moyenne, variance) de façon à fixer le seuil de détection en contrôlant "au mieux" la fausse-alarme, et pour chaque détection (événement) estime un certain nombre de paramètres (azimut, fréquence, ...) et leurs variances (habillage).

Tous ces traitements supposent que les propriétés des signaux et des bruits sont stationnaires (cibles fixes en



particulier) et sont donc effectués avec un temps d'observation qui correspond à cette hypothèse, et qui donc varie avec les antennes et les traitements.

Les possibilités de détection d'une cible sont très importantes, un système sonar pouvant comporter jusqu'à 5 types d'antennes avec plusieurs traitement par antenne :

- antenne linéaire remorquée à ~ 500 m (raies, bruit de bande),
- antenne d'étrave (bruit de bande, modulations, impulsions sonar),
- antenne de flanc (raies, bruit de bande, impulsions sonar),
- antenne de télémétrie (bruit de bande, impulsions sonar),
- antenne d'interception (impulsions sonar).

La détection du bruit de bande et de ses modulations est faite généralement dans plusieurs bandes indépendantes (2 à 4).

Le deuxième groupe, que l'on appelle "traitements aval", ne traite pas des signaux continus, mais des données (les événements), et tient compte du mouvement des cibles. Il est constitué de deux blocs principaux : l'association-fusion et la classification. Les fonctions de l'association-fusion sont décrites dans la suite.

### 3. L'ASSOCIATION-FUSION

L'association des événements issus des systèmes de détection doit se faire d'une part dans le temps, au rythme de la récurrence de leur prise de décision, et d'autre part entre les différents traitements des différentes antennes.

On pourrait décider de traiter globalement le problème. La structure adoptée actuellement est une structure hiérarchique. Tout d'abord, pour chaque traitement, on associe les événements qu'il détecte dans le temps : c'est l'association temporelle dont la fonction est d'associer les événements créés par la même cible et qui génère des pistes.

Ensuite, on associe les pistes issues des différents traitements d'une même antenne, puis les pistes résultantes entre les différentes antennes de la coque : on obtient ainsi les pistes "coques".

Dans ce processus, le principal moyen utilisé pour décider de l'association de pistes entre elles est que si elles sont générées par une même cible, les événements qui les constituent proviennent du même point géographique, donc du même azimut puisque les sonars passifs ne mesurent pas directement la distance, sauf les télémètres horizontaux. Les antennes sur la coque sont suffisamment proches pour que l'on puisse considérer que la parallaxe en azimut sur une cible est négligeable.

En revanche, la parallaxe entre la coque et l'antenne linéaire remorquée ne l'est pas, et il faut alors faire intervenir la distance des cibles dans le processus

d'association. On effectue une association pour l'antenne remorquée identique à celle d'une antenne de coque pour obtenir les pistes "antenne remorquée". Ensuite, l'association entre les pistes "coque" et "antenne remorquée" utilise la fonction appelée trajectographie passive qui outre la distance estime les trajectoires des cibles. Il existe aussi des procédés de trajectographie qui utilisent la structure de la propagation par trajets multiples qui donnent une mesure instantanée de la distance. Mais ils ne sont employés que sur des cibles détectées, après formation des pistes, car ils utilisent des mesures des caractéristiques des trajets multiples : les traitements d'antennes dits "matched field", qui pourraient être employés en détection panoramique, ne sont pas encore assez connus, leur sensibilité notamment, et ne sont pas utilisés.

#### 3.1 Association temporelle

L'association temporelle a un double rôle : elle forme les pistes qui correspondent aux cibles, en se basant pour cela sur le fait qu'une succession d'événements en provenance d'une cible forment une trajectoire cohérente avec celle d'un bâtiment. Les événements créés par les fausses-alarmes ne présentent pas cette cohérence, et de ce fait elles sont fortement réduites.

Les techniques utilisées sont des techniques sous-optimales, principalement pour des raisons de charges de calcul. Le schéma de principe du processus d'association est présenté sur la Figure 2.

A un instant donné, il existe un certain nombre de pistes. Elles sont de trois types : les pistes en cours d'initialisation, les pistes initialisées et les pistes confirmées. A chacune de ces pistes est associé un point prédit qui est la meilleure estimation de l'état de la piste à la récurrence future. On utilise pour cela des filtres ( $\alpha$ - $\beta$ ) ou de Kalman selon le type d'antenne et de traitement. On construit autour de ce point prédit une fenêtre en-dehors de laquelle la détection de la cible qui a généré la piste, à très peu de chance de se trouver. Les procédures utilisées pour les pistes en cours d'initialisation sont différentes à cause du très faible nombre d'événements qui les constituent.

A la nouvelle récurrence, un certains nombre d'événements sont détectés. Ils tombent ou pas dans les fenêtres. Ceux qui tombent hors des fenêtres initialisent de nouvelles pistes. Ceux qui tombent dans une fenêtre sont associés à la piste correspondante. Un problème se pose lorsque plusieurs événements tombent dans la même fenêtre. Différentes techniques sont utilisées :

- a) On sélectionne un seul événement, en prenant celui qui a la plus grande probabilité d'appartenance à la piste (technique du plus proche voisin).

- b) On initialise en plus d'autres pistes avec un certain nombre des autres événements tombés dans la même fenêtre.
- c) On tient compte de tous les événements tombés dans une même fenêtre pour prolonger la piste, chacun d'eux ayant une certaine probabilité d'être une détection de la cible ; c'est la technique PDA, avec sa variante JPDA qui tient compte de l'éventualité de croisements de pistes (deux détections de cibles dans une même fenêtre).

Des procédures plus particulières sont utilisées pour les pistes en cours d'initialisation.

Une fois ce processus d'association effectué, on calcule la nouvelle vraisemblance de la piste, en tenant compte de celle de la piste antérieure et des caractéristiques de (ou des) l'événement associé. On calcule aussi le nouveau point prédit en utilisant des filtres  $\alpha - \beta$  ou de Kalman, modifié dans le cas des procédures PDA et JPDA.

La vraisemblance d'une piste peut croître, ou décroître, en particulier lorsqu'aucun événement ne lui est associé. Elle est comparée à deux seuils. Le plus élevé, qui correspond à un taux de fausse-alarme en sortie de l'association temporelle, sélectionne les pistes définitives qui sont seules transmises à la suite du système : ce sont les pistes confirmées. Le moins élevé sert à rejeter les pistes, qui sont alors considérées comme n'ayant été générées que par des fausses-alarms. Entre les deux vivent les pistes initialisées.

Cette procédure réduit le taux de fausses-alarms par un facteur supérieur à 100.

### 3.2 Association de pistes

Le problème de base à traiter dans l'association des pistes est le même, que ce soit entre traitements sur la même antenne, ou entre les antennes, ou même si l'on réalisait les deux conjointement. En revanche, l'association entre pistes "coque" et "antenne remorquée" présente un problème différent qui sera évoqué par la suite.

Il faut déterminer deux choses : le nombre de cibles et les pistes qui sont issues de chaque cible. Cela est illustré par l'exemple simple ci-après. Supposons que l'on ait 4 pistes : a, b, c et d . Il peut y avoir donc 1, 2, 3 ou 4 cibles. Selon le nombre de cibles, il peut y avoir les combinaisons suivantes :

- 4 cibles : (a/b/c/d)
- 3 cibles : (ab/c/d), (ac/b/d), (ad/b/c), (bc/a/d), (bd/a/c), (cd/a/b)
- 2 cibles : (ab/cd), (ac/bd), (ad/bc), (a/bcd), (b/acd), (c/abd), (d/abc)
- 1 cible : (abcd).

Il faut noter que toutes les combinaisons ne sont pas toujours possibles: si les pistes a et b, par exemple, sont issues du même traitement, elles ne proviennent pas de la même cible et donc toute combinaison ou le couple ab apparaît n'est pas à considérer.

Chacune des combinaisons ci-dessus correspond à une hypothèse d'association parmi lesquelles il faut déterminer la plus probable. Pour cela on utilise la théorie de la décision multi-hypothèses qui consiste à calculer les rapports de vraisemblance de chacune par rapport à une hypothèse de référence : le plus élevé donne l'hypothèse la plus probable (sans a priori).

Le critère de base utilisé pour l'association est le suivant : si plusieurs pistes proviennent de la même cible, l'habillage de chacun des événements qui constituent les pistes comporte des mesures de même paramètres de la cible : c'est en général l'azimut, avec éventuellement aussi la vitesse azimutale. Or pour chaque hypothèse, qui correspond à un certain nombre de cibles, la fonction de vraisemblance fait intervenir le paramètre vrai de chaque cible (l'azimut par exemple) supposée de l'hypothèse, qui est inconnu. On emploie alors la méthode sous-optimale du Rapport de Vraisemblance Généralisé (RVG), qui revient à remplacer les paramètres inconnus par leurs estimés par le Maximum de Vraisemblance.

Mais il est facile de démontrer que la vraisemblance de l'hypothèse la plus vraisemblable pour un nombre supposé de cibles C est systématiquement supérieure à celle de l'hypothèse la plus vraisemblable pour (C-1) cibles.

On utilise alors dans la pratique une procédure "ad-hoc" qui consiste à déterminer, pour chaque nombre supposé de cibles, l'hypothèse la plus vraisemblable par le RVG et à déterminer le nombre de cibles par un procédé qui revient à tester le nombre de degrés de liberté qui est sous-jacent dans la population des échantillons que l'on cherche à grouper : il y a plusieurs méthodes pour cela, comme les tests d'Akaïke, de Rissanen, de "pente". Le procédé consiste à faire varier la valeur du seuil lorsque l'on compare l'hypothèse la plus vraisemblable pour C cibles à celle pour (C-1) cibles. La Figure 3 donne un exemple de résultat obtenu sur simulation avec cette procédure. Il y a 5 cibles, chacune d'elles donnant lieu à 6 pistes. La figure présente en fonction du nombre supposé de cibles, la valeur de :  $-2 \text{ Log (RVG) (*)}$ , la valeur correspondante du seuil d'Akaïke (trait continu) et le nombre d'erreurs d'association (0). On remarque la décroissance monotone de :  $-2 \text{ Log (RVG)}$  soit la croissance monotone du RVG lorsque le nombre supposé de cibles augmente, et le franchissement du seuil pour le nombre exact de cibles.

Le problème de l'association entre les pistes "coque" et "antenne remorquée" est traité par couples de pistes, le rapport de vraisemblance faisant intervenir la trajectoire



de la cible unique dans l'hypothèse : "les deux pistes proviennent de la même cible", et l'azimut simplement dans l'hypothèse "deux cibles". On peut aussi utiliser des caractéristiques spectrales si les pistes ont été détectées sur raies.

#### 4. CONCLUSION

On a présenté dans cet exposé une brève description de la place de l'Association-Fusion dans les systèmes sonar et des caractéristiques principales des méthodes utilisées.

Un bon nombre de points sont encore à l'étude, comme les performances, qui présentent des difficultés de calcul théorique mais aussi de définition, l'utilisation de la classification dans le processus d'association, d'autres structures comme l'association temporelle et inter traitements/antennes simultanément, l'intégration des senseurs non-acoustiques.

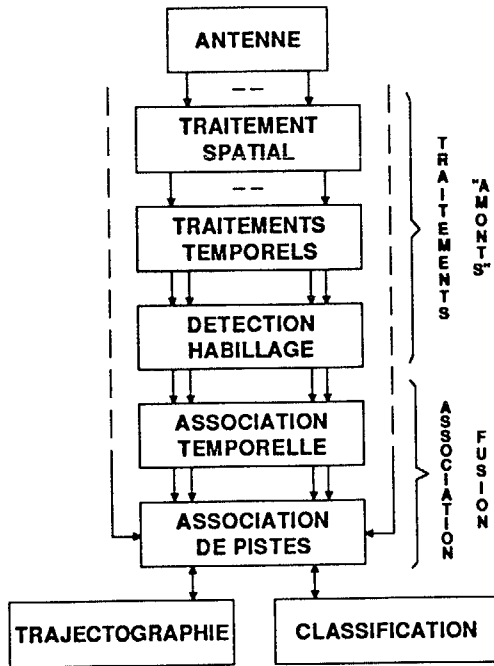


Fig. 1 : Système Sonar

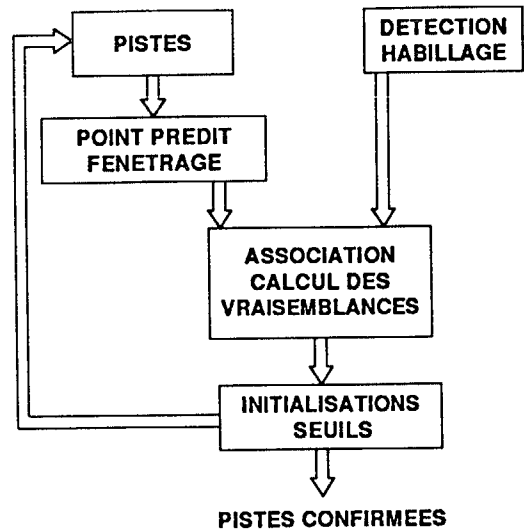


Fig. 2 : Principe de l'association temporelle

