

Application d'opérateurs de fusion floue à la classification automatique de cibles réalisée par un radar polarimétrique

E. RADOI¹, A. QUINQUIS¹, F. TOTIR^{1,2}

¹ENSIETA, 2 rue François Verny, 29806 Brest, France

radoiem@ensieta.fr, quinquis@ensieta.fr

²METRA, Bucarest, Roumanie

totirfe@ensieta.fr

Résumé – L'article décrit l'application de quelques opérateurs de fusion floue pour la classification automatique de profils de distance mesurés par un radar polarimétrique. L'acquisition des signatures radar réelles est réalisée dans la chambre anéchoïde de l'ENSIETA, pour 5 modèles d'avions réduits à l'échelle et 3 combinaisons de polarisation. L'analyse des résultats en classification obtenus au travers des intégrales de Sugeno et de Choquet, ainsi que de la théorie des possibilités, permet de conclure sur les opérateurs de fusion floue les mieux adaptés dans le contexte de l'application visée.

Abstract – The paper describes the application of some fuzzy fusion operators in the framework of automatic classification of polarimetric radar range profiles. Real radar signature acquisition has been performed in the anechoic chamber of ENSIETA, for 5 scale reduced aircraft models and 3 polarization combinations. The analysis of the classification results obtained using Sugeno's and Choquet's integrals, as well as the possibility theory allows to conclude about the best suited fuzzy fusion operators in the context of the application we have dealt with.

1. Introduction

Les profils de distance représentent une des signatures des cibles radar les plus utilisées pour leur classification automatique [1]. Le profil de distance d'une cible peut être obtenu par son illumination avec un signal à large bande et représente la projection de ses points brillants sur la ligne de visée.

Pour un système de classification donné, les performances sont d'autant meilleures que le volume d'information disponible est important. La solution idéale, constituée par la fusion des données issues de plusieurs capteurs, ne peut pas être envisagée pour un système autonome, d'un niveau de complexité moyen, comme c'est le cas de la plupart des radars actuels.

Cependant, une réponse intéressante à ce problème peut être imaginée dans le cas du radar polarimétrique, qui représente aujourd'hui une solution technologique de plus en plus utilisée. Avec ce radar il est possible d'obtenir simultanément trois signatures pour une même cible, correspondant aux combinaisons de polarisation HH, VV et HV (ou VH). Ces signatures étant partiellement complémentaires on peut s'attendre à obtenir de meilleures performances après leur fusion que dans le cas où chacune d'elles est classifiée séparément.

Afin de réaliser la fusion des profils de distance obtenus pour les trois combinaisons de polarisation, nous avons utilisé les intégrales floues de Sugeno et de Choquet et la théorie des possibilités. Le choix de ces opérateurs de fusion floue a été motivé par trois raisons principales. Tout d'abord, ces opérateurs permettent de prendre en compte, à la fois, l'incertitude et l'imprécision associées aux données réelles. Deuxièmement, ils présentent une grande flexibilité, grâce au

choix des fonctions d'appartenance floue et des opérateurs de combinaison. Troisièmement, leur mise en œuvre passe par des opérations relativement simples et rapides, ce qui les rend particulièrement adaptés pour les applications pratiques.

L'article est organisé de la manière suivante. La procédure de classification est présentée dans la section 2, ainsi que le choix des fonctions d'appartenance et les opérateurs de fusion. La section 3 décrit le cadre expérimental et les cibles utilisées, montre les résultats obtenus en classification et permet de comparer les différents opérateurs de fusion utilisés. Enfin, quelques conclusions et perspectives sont discutées dans la section 4.

2. Procédure de fusion

Les fonctions d'appartenance floue pour chaque profil de distance sont déterminées en fonction des coefficients d'appartenance de ses plus proches voisins appartenant à l'ensemble d'apprentissage et des distances par rapport à ceux-ci. Ainsi, si $V_K(\mathbf{x})$ désigne le voisinage, à l'ordre K , du profil de distance de test \mathbf{x} , alors son coefficient d'appartenance à la classe C_j est défini sous la forme :

$$u_j(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{\mathbf{x}_m \in V_K(\mathbf{x})} u_{jm} \|\mathbf{x} - \mathbf{x}_m\|^{-2}}{\sum_{\mathbf{x}_m \in V_K(\mathbf{x})} \|\mathbf{x} - \mathbf{x}_m\|^{-2}} \quad (1)$$

où u_{jm} représente le coefficient d'appartenance du profil de distance d'apprentissage \mathbf{x}_m à la classe C_j .

Le coefficient d'appartenance d'un profil de distance d'apprentissage à une certaine classe est calculé à partir du nombre relatif de ses voisins issus de cette classe :

$$u_{jm} = \frac{K_j^{(m)}}{K_F}, \quad K_j^{(m)} = \text{card}\{\mathbf{x}_n^{(j)} \mid \mathbf{x}_n^{(j)} \in V_{K_F}(\mathbf{x}_m)\} \quad (2)$$

où $V_{K_F}(\mathbf{x}_m)$ représente le voisinage à l'ordre K_F du profil de distance d'apprentissage \mathbf{x}_m .

Les coefficients d'appartenance ainsi définis varient de 0 à 1 et peuvent être vus comme une mesure de la capacité des profils de distance à être plus ou moins représentatifs pour une classe. La somme des coefficients d'appartenance d'un profil de distance à toutes les classes doit être égale à 1.

Définir l'appartenance aux classes de cette manière floue est moins contraignant et correspond mieux à la réalité physique, puisque les transitions d'une forme à l'autre sont souvent continues.

Les intégrales floues de Sugeno [2] et de Choquet [3] permettent de combiner les fonctions d'appartenance floue définies précédemment en utilisant les relations :

$$S_j = \max_{i=1,3} \left[\min(u_j(p_i), g(A_i)) \right] \quad (3)$$

$$C_j = u_j(p_3) + \sum_{i=1}^2 [u_j(p_i) - u_j(p_{i+1})] g(A_i) \quad (4)$$

Dans les relations ci-dessus, $\{p_i\}_{i=1,3}$ représentent les trois combinaisons de polarisation prises dans l'ordre qui correspond à la relation suivante :

$$u_j(p_1) \geq u_j(p_2) \geq u_j(p_3) \quad (5)$$

La fonction g définit la densité floue calculée pour les ensembles $A_1 = \{p_1\}$, $A_2 = \{p_1, p_2\}$ et $A_3 = \{p_1, p_2, p_3\}$, en utilisant l'expression de la mesure g_λ floue :

$$\begin{cases} g(A_1) = g(\{p_1\}) = g^1 \\ g(A_i) = g^i + g(A_{i-1}) + \lambda \cdot g^i \cdot g(A_{i-1}) \end{cases} \quad (6)$$

avec λ obtenue comme solution de l'équation :

$$\lambda + 1 = \prod_{i=1}^3 (1 + \lambda g^i) \quad (7)$$

Les valeurs $g^i = g(\{p_i\})$ représentent une mesure de l'imprécision des données et sont évaluées pendant l'étape d'apprentissage.

La théorie des possibilités a été développée par Zadeh [4], Dubois et Prade [5]. Elle permet de représenter à la fois l'imprécision et l'incertitude au moyen d'une distribution de possibilités et de deux fonctions caractérisant les événements : la possibilité et la nécessité.

Dans le cas de notre application, la distribution de possibilités est obtenue à partir des fonctions d'appartenance définies ci-dessus. Ensuite, quatre opérateurs de combinaison sont utilisés afin de calculer les coefficients d'appartenance aux classes des profils de distance de test : t-norme, t-conorme, moyenne et médiane [6].

Quel que soit l'opérateur de fusion utilisé, la décision finale est prise selon la règle du maximum du coefficient d'appartenance :

$$\mathbf{x} \in C_k \Leftrightarrow u_k(\mathbf{x}) = \max_j [u_j(\mathbf{x})] \quad (8)$$

3. Résultats des simulations

Les profils de distance que nous avons utilisés ont été mesurés en bande X (8 GHz - 12 GHz) dans la chambre anéchoïque de l'ENSIETA, pour 5 maquettes de cibles réduites à l'échelle 1/48 : Mirage, Tornado, Rafale, F16 et DC3. Leurs images sont présentées sur la figure 1.

180 profils de distance ont été enregistrés pour chaque cible dans le domaine angulaire compris entre 0^0 et 90^0 , correspondant à des angles de visée successifs, espacés de 0.5^0 . L'ensemble des signatures ainsi obtenues a été divisé de façon aléatoire en un sous-ensemble d'apprentissage et un sous-ensemble de test, comptant le même nombre de profils de distance.

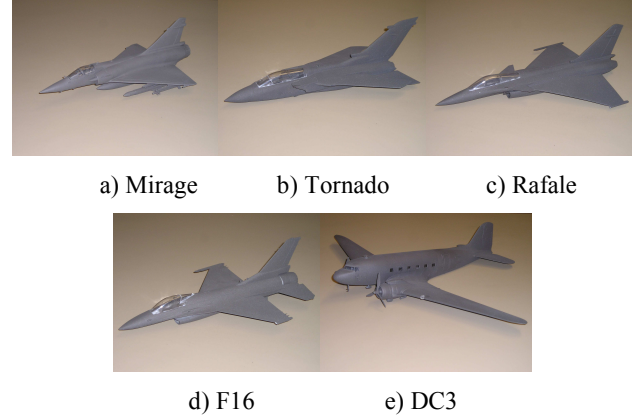


FIG. 1 : Maquettes des cibles mesurées dans la chambre anéchoïde

Les résultats correspondant à chaque opérateur de fusion sont comparés sur la figure 2 aux performances en classification obtenues à partir de chaque type de signature, qui sont aussi reprises, de manière plus synthétique, par le tableau 1.

TAB. 1 : Taux moyens de bonne classification correspondant aux différentes combinaisons de polarisation

Combinaison de polarisation	HH	VH	VV
TBC moyen	0.769	0.772	0.799

Il est ainsi possible de constater, de manière globale, l'amélioration du taux de bonne classification pour les classes considérées.

Une comparaison des opérateurs de fusion est réalisée sur la figure 3. Bien que leurs performances soient assez proches, il est à noter le meilleur comportement de l'opérateur de compromis « moyenne » dans le cadre de la méthode de fusion par théorie des possibilités.

La même conclusion peut être tirée par l'analyse du tableau 2, qui indique les taux de bonne classification, moyenné sur toutes les classes et pour chaque opérateur de fusion. Il est à noter un gain en taux moyen de bonne classification d'environ 10 %.

TAB. 2 : Taux moyens de bonne classification correspondant aux différents opérateurs de fusion floue

Opérateur de fusion floue	IF de Sugeno	IF de Choquet	T norme	T co-norme	Moy.	Méd.
TBC moyen	0.872	0.878	0.871	0.882	0.904	0.873

4. Conclusions

Le travail de recherche présenté brièvement dans cet article a eu pour but d'étudier le comportement de quelques opérateurs de fusion floue pour la classification automatique des profils de distance obtenus au moyen d'un radar polarimétrique. L'intérêt d'une telle étude vient d'une des évolutions technologiques récentes des systèmes radar, qui sont devenus capables de mesurer des signatures électromagnétiques large bande, simultanément pour plusieurs combinaisons de polarisation.

L'information disponible est plus riche que dans le cas où un seul type de signature est utilisée. En effet, certains détails de la structure de la cible, essentiels pour la classification, ne sont visibles que lorsque celle-ci est illuminée avec une certaine combinaison de polarisation.

La difficulté du problème vient de la très forte dépendance des signatures polarimétriques large bande de l'angle de visée. Ainsi, un même type d'élément structurel de la cible n'est pas toujours mis en évidence par la même combinaison de polarisation. En fonction de la position relative entre la cible et le radar il peut être mis en évidence et représenté avec un degré variable de complétude par une ou plusieurs signatures différentes.

Le rapport signal/bruit associé à ces signatures a aussi un niveau variable en fonction de l'angle de visée et parfois très différent d'une signature à l'autre. Ce phénomène introduit à la fois de l'imprécision et de l'incertitude dans le processus de classification.

Nous avons donc un problème où l'information concernant la forme d'un objet analysé est représentée de façon non-orthogonale par plusieurs signatures, caractérisées par des niveaux différents et variables d'imprécision, incertitude et incomplétude. Leur modélisation par une approche analytique nous semble complètement irréaliste en raison de la complexité du phénomène de réflexion électromagnétique et de la grande diversité de formes structurelles possibles.

Par contre, l'approche floue que nous proposons trouve ici toute sa place, grâce à sa capacité de prendre en compte, de manière adéquate et relativement simple, les informations apportées par l'ensemble de signatures polarimétriques, en présence d'imprécision, incertitude et incomplétude.

Notre principale contribution consiste dans l'application de ce type d'opérateurs de fusion dans un contexte large bande, sur des signatures mesurées en laboratoire.

En conclusion, deux idées sont défendues et démontrées dans cet article, au travers de quelques résultats, obtenus pour un nombre très limité de cibles.

La première est que l'accès à une information plus complète sur la forme de la cible, dans le but de sa classification, passe par l'utilisation conjointe de plusieurs combinaisons de polarisation.

La seconde est qu'une manière efficace et rapide de le faire consiste à utiliser les opérateurs de fusion floue, parmi lesquels celui qui correspond à la « moyenne » dans la théorie des possibilités semble donner les meilleurs résultats.

Bien évidemment, cette dernière conclusion est provisoire et reste à confirmer sur un ensemble de données plus important, lors d'une prochaine campagne d'acquisition de signatures polarimétriques.

Références

- [1] V.G. Nebabin, *Methods and Techniques of Radar Recognition*, Artech House, London, 1994.
- [2] M. Sugeno, Fuzzy Measures and Fuzzy Integrals – A Survey, *Fuzzy Automata and Decision Processes*, Amsterdam, North Holland, pp. 89-102, 1977.
- [3] C. Labreuche, M. Grabisch, The Choquet integral for the aggregation of interval scales in multicriteria decision making, *Fuzzy Sets and Systems*, pages 11-26, 2003.
- [4] L. Zadeh, Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, *Fuzzy Sets and Systems*, no.1, pp. 3-28, 1978.
- [5] D. Dubois, H. Prade, *Théorie des possibilités : applications à la représentation des connaissances en informatique*, Masson, 1985.
- [6] I. Bloch, *Fusion d'informations en traitement du signal et des images*, Hermès, Paris, 2003.

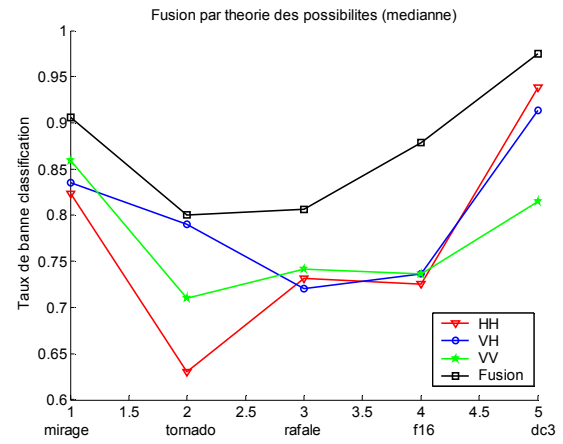
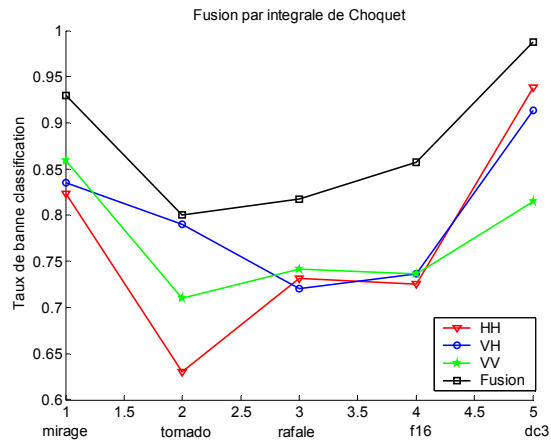
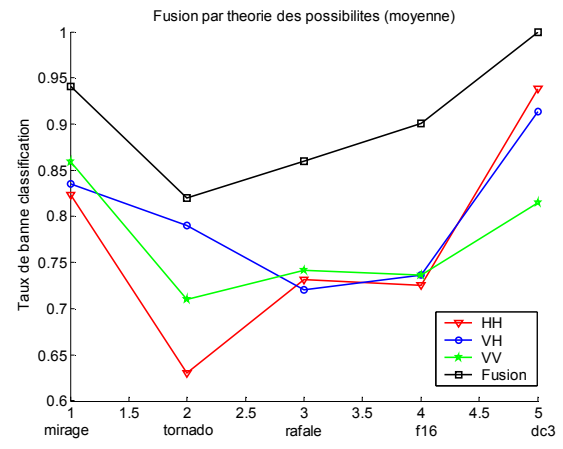
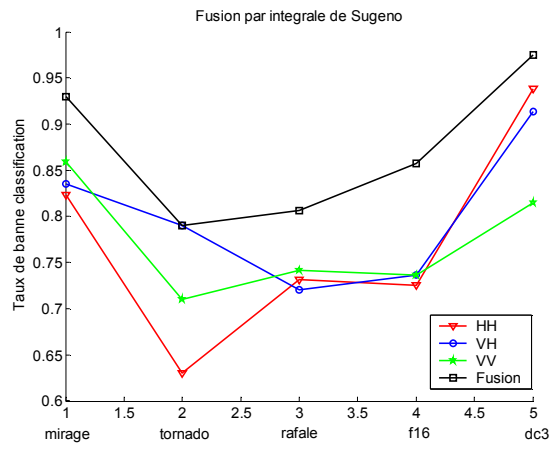


FIG. 2 : Amélioration des performances en classification obtenue avec les opérateurs de fusion floue

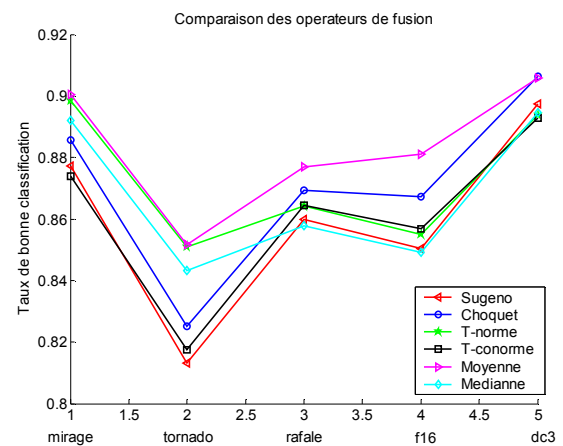
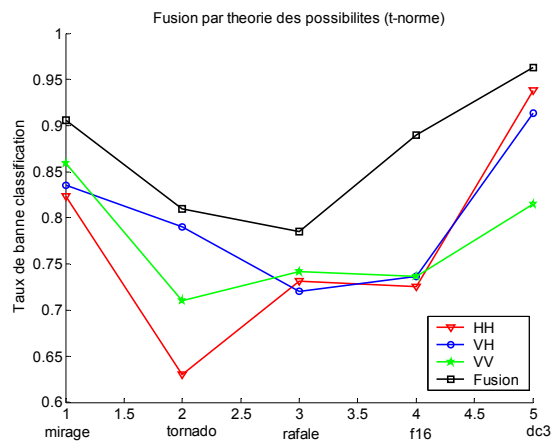


FIG. 3 : Comparaison des résultats obtenus avec les différents opérateurs de fusion floue

