

# RÉSEAU NEURONAL INCRÉMENTAL DÉDIÉ À LA FUSION DE PISTES RADAR ET INFRA-ROUGE

V.Schmidlin(1)(2), G.Favier(1)

(1) I3S-CNRS/Université de Nice-Sophia Antipolis, Bât SPI n°4 - 250, rue. A. Einstein, 06560 Valbonne

(2) SYSTELIA Technologies, 6 Bd Maréchal Leclerc, 83320 Carqueiranne

**Résumé:** L'objet de cet article est de présenter une solution neuronale originale au problème de la fusion de pistes. Cette solution consiste d'une part en la détermination d'un critère de fusion à l'aide d'un réseau neuronal de reconnaissance de trajectoires, et d'autre part en l'application d'un opérateur de fusion de type moyenne ou basé sur la théorie de l'évidence. Des résultats de simulation permettent d'illustrer la solution proposée.

## 1. INTRODUCTION

Cet article concerne le problème de la poursuite multicible multicapteur. A partir de l'information fournie par plusieurs capteurs observant une même région de l'espace, dans laquelle évolue un nombre généralement inconnu de cibles, il s'agit de détecter ces cibles, et de suivre leur évolution, si possible en temps réel. L'approche que nous avons retenue est celle des réseaux de neurones, dont les points forts sont: (i) la capacité d'apprentissage (ii) la capacité de généralisation, (iii) une mémoire distribuée, (iv) le parallélisme dans le traitement, et enfin (v) leur capacité à traiter des informations partielles ou bruitées. De plus, cette approche présente l'avantage de ne pas nécessiter de description statistique a priori des signaux, et le caractère collectif et adaptatif du traitement neuronal des données permet de surmonter les difficultés rencontrées avec les approches classiques de traitement du signal [Bar], [Bla], [Dez]. Nous considérons une architecture de traitement décentralisée, c'est-à-dire que le pistage est effectué au niveau de chaque capteur, et que les pistes détectées par chacun des capteurs sont ensuite fusionnées au niveau d'un centre de fusion. Cette approche comporte essentiellement deux étapes connues sous les termes "d'association plot/piste", et de "fusion de capteurs".

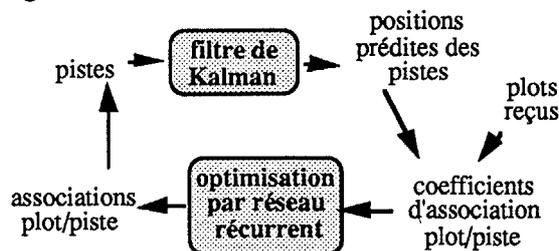
Dans le deuxième paragraphe, nous présentons succinctement notre solution au problème du pistage multicible monocapteur, sous la forme d'un réseau

**Abstract:** The aim of this paper is to present an original neural network based solution to the track fusion problem. This solution consists in the determination of a fusion criterion by means of a neural network dedicated to trajectory recognition, and the application of fusion operators: an average-type operator, or an operator based on the Dempster-Shafer theory. Simulation results allow to illustrate the proposed solution.

récurrent. Dans le §3, nous abordons la fusion multicapteur, et détaillons le critère de fusion, et les opérateurs de fusion utilisés. Le §4 est consacré à la validation de notre méthode de fusion multicapteur, sur des simulations. Le §5 présente les conclusions et les perspectives à donner à ces travaux.

## 2. PISTAGE

La solution que nous utilisons pour résoudre le problème de l'association plot/piste est illustrée à l'aide de la figure 1.



*Fig.1: Principe de la solution neuronale de pistage*

Des coefficients d'association sont présentés à l'entrée d'un réseau neuronal récurrent qui décide des associations plot/piste à effectuer. Ces coefficients d'association  $\alpha_{xi}$  sont calculés à partir de la distance  $d_{xi}$  séparant le plot  $i$  de la position prédite de la piste  $x$ , obtenue grâce à un filtre de Kalman.

$$\alpha_{xi} = \exp\left(-d_{xi}^2 / d_{max}^2\right) \quad (1)$$

Nous définissons alors une fonction-objectif  $\mathcal{E}_{obj}$  à minimiser

$$E_{obj} = \frac{1}{\mathcal{M}} \sum_{\chi=1i=1}^{\mathcal{M}} \prod_{\chi=1i=1}^{\mathcal{N}} (1 - \alpha_{\chi i} \mathcal{V}_{\chi i}) \quad (2)$$

où  $\mathcal{V}_{\chi i}$  est l'état de la cellule qui juge d'une éventuelle association entre le plot  $i$  et la piste  $\chi$ ,  $\mathcal{M}$  est le nombre total de pistes détectées, et  $\mathcal{N}$  est le nombre total de plots reçus au tour d'antenne traité. Cette stratégie permet d'éliminer, dès le départ, les associations plot/piste irréalistes, et d'initialiser le réseau relativement près de la solution, ce qui améliore la convergence. Pour plus de détails, se référer à [Sch].

### 3. FUSION DE PISTES

Il s'agit de fusionner les pistes monocapteurs obtenues grâce au pistage précédent, en des pistes multicapteurs, donc contenant une information plus riche et plus sûre. Deux questions primordiales se posent: (i) comment déterminer les pistes monocapteurs à fusionner, i.e. quel critère utiliser pour décider si deux pistes détectées par deux capteurs différents, correspondent ou non à la même cible, et (ii) quel opérateur mathématique employer pour calculer la piste fusionnée, à partir des pistes monocapteurs satisfaisant le critère défini en (i).

#### 3.1 Le critère de fusion

Un critère de distance entre pistes ne nous paraît pas être un critère suffisant pour décider de la fusion de pistes monocapteurs. En particulier, le cas de cibles proches évoluant à des vitesses semblables est insoluble par cette méthode. Nous avons donc décidé de construire un réseau neuronal capable d'apprendre toutes les successions spatio-temporelles de quatre plots cinématiquement possibles (pour réduire la quantité d'information à mémoriser par le réseau, nous nous limitons à la reconnaissance de trajectoires formées d'au plus quatre plots. Dès lors, lorsque ce réseau traite une piste, il travaille sur une fenêtre glissante constituée des quatre derniers plots de cette piste). Pour qu'il apprenne cette connaissance à partir de trajectoires réelles, il faudrait constituer une collection d'apprentissage couvrant tous les types de trajectoires que le réseau sera amené à traiter. Or dans la pratique, une collection d'apprentissage n'est jamais exhaustive. Aussi, un algorithme de construction incrémentale a été mis au point, garantissant une couverture complète de toutes les trajectoires cinématiquement possibles. Pour cela, il est nécessaire de connaître les caractéristiques cinématiques des cibles que nous cherchons à suivre, à savoir:

- la vitesse minimale des cibles  $\mathcal{V}_{min}$
- la vitesse maximale des cibles  $\mathcal{V}_{max}$
- l'accélération normale maximale des cibles  $\mathcal{G}_{max}$
- le temps de rotation du capteur  $\mathcal{T}$

C'est directement à partir de ces données que le réseau est généré, et que la taille et la structure du réseau sont déterminées, lui permettant de stocker l'ensemble des pistes-prototypes. Chaque neurone est alors une sphère,

caractérisée par son centre  $(C_x, C_y)$  et son rayon  $\mathcal{R}$ . Un plot quelconque de coordonnées  $(x, y)$  est associé au neurone pour lequel la distance:

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

est minimale. Dans notre réseau neuronal, le premier plot d'une piste est toujours pris comme référence (ce qui signifie que l'on reconnaît les pistes à une translation près). Le deuxième plot se trouve sur la première couche du réseau, le troisième plot sur la deuxième couche, et le quatrième plot sur la troisième couche.

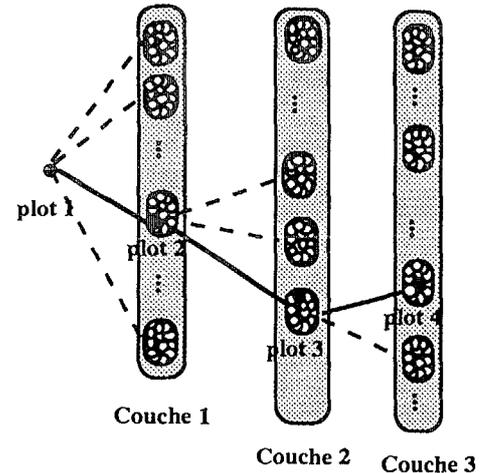


Fig.2 : Réseau de reconnaissance de trajectoires

Une piste prototype correspond donc, au niveau du réseau, à un enchaînement particulier de neurones, chaque neurone appartenant à une couche différente. A chaque piste monocapteur, ce réseau associe un ensemble de pistes-prototypes. Puis, au niveau central, on fusionne les pistes qui ont des prototypes en commun, donc des cinématiques proches. La procédure de fusion développée est résumée à l'aide de la figure 3. Nous commençons, au niveau de chaque capteur, par sélectionner les pistes constituées d'au moins quatre plots (1). Pour chacune de ces pistes monocapteurs, nous cherchons si d'autres capteurs ont détecté, dans la même région de l'espace d'observation, des pistes monocapteurs d'au moins quatre plots. Si ce n'est pas le cas, cette piste n'est fusionnable avec aucune piste (2). Sinon, cela signifie qu'on a trouvé deux pistes monocapteurs proches l'une de l'autre. Nous testons ensuite si ces pistes sont cinématiquement cohérentes. Pour cela, nous utilisons le réseau neuronal de reconnaissance de trajectoires. Si on ne peut pas associer de prototypes à une des pistes monocapteurs, cette piste est arrêtée, car elle contient forcément des faux-échos (3). Dans le cas contraire, on cherche si les deux pistes ont des cinématiques proches (4), i.e. si elles ont des prototypes en commun. Dans la négative, ces pistes sont proches mais ne correspondent pas à la même cible (5); dans l'affirmative, ces pistes sont fusionnables (6).

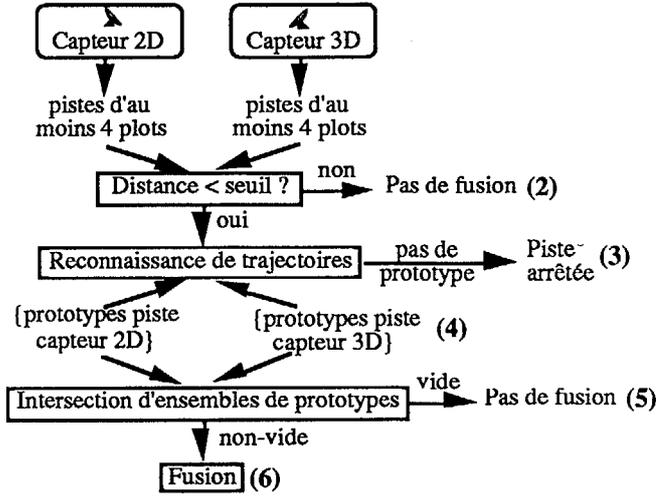


Fig.3 : Procédure de fusion

3.2 L'opérateur de fusion

Deux opérateurs de fusion sont utilisés pour calculer les coordonnées des pistes fusionnées: l'un est de type moyenne, et l'autre est basé sur la théorie de l'évidence. Le premier consiste tout simplement à prendre la moyenne des coordonnées des deux pistes fusionnées. Le second fait appel à la théorie de Dempster-Shafer qui, de par son aptitude à traiter des informations à la fois imprécises et incertaines, est bien adaptée pour résoudre le problème de la fusion de pistes. Cette théorie permet également de regrouper des sources d'information distinctes (provenant par exemple de différents capteurs) pour aboutir à une source unique caractérisée par une nouvelle distribution de masse. Si on considère deux sources d'information distinctes  $S_1$  (resp  $S_2$ ) caractérisées par une distribution de masse  $m_1(\mathcal{A}_i)$  (resp  $m_2(\mathcal{B}_j)$ ), on peut fusionner ces deux sources pour obtenir une source unique  $S$  de distribution de masse  $m(C_k)$  telle que [Sha]:

$$m(C_k) = \frac{\sum_{\mathcal{A}_i \cap \mathcal{B}_j = C_k \neq \emptyset} m_1(\mathcal{A}_i) \cdot m_2(\mathcal{B}_j)}{1 - \sum_{\mathcal{A}_i \cap \mathcal{B}_j = \emptyset} m_1(\mathcal{A}_i) \cdot m_2(\mathcal{B}_j)} \quad (4)$$

Pour fusionner des pistes provenant des capteurs radars 2D et 3D, on dispose de deux sources d'information distinctes;

- une confiance sur chaque piste monocapteur détectée par les capteurs radar 2D et 3D, obtenue grâce au capteur IR, et par conséquent une confiance globale sur l'ensemble des prototypes associé à chacune de ces pistes. Le complément à 1 de cette masse correspond à l'incertitude associée à cette piste.
- une correspondance piste/prototype pour chaque prototype à l'intérieur d'une famille de prototypes.

Finalement, la piste fusionnée est donnée par une moyenne pondérée des coordonnées des points des prototypes associés aux pistes monocapteurs à fusionner, les pondérations correspondant aux masses attribuées à ces prototypes lors de la fusion.

4. SIMULATIONS

Dans ce paragraphe, nous présentons des résultats de simulation correspondant à la fusion de pistes provenant de capteurs radar 2D, radar 3D, et infra-rouge (IR), dont voici les caractéristiques:

Capteur 2D:

- écart-type des bruits de mesure en distance: 100 m,
- et en azimut: 3 mrd,
- probabilité de détection: 0.85,
- faux-échos: 40 par tour d'antenne,

Capteur 3D:

- écart-type des bruits de mesure en distance: 20 m, en azimut: 2 mrd, et en site: 2 mrd,
- probabilité de détection: 0.9,
- faux-échos: 50 par tour d'antenne,

Capteur IR:

- écart-type des bruits de mesure en azimut: 1 mrd, et en site: 1 mrd,
- probabilité de détection: 0.9,
- faux-échos: 30 par tour d'antenne,

Le réseau de reconnaissance de trajectoires décidant des pistes monocapteurs à fusionner a été réglé de la façon suivante:

$$V_{min} = 200 \text{ m/s}, V_{max} = 350 \text{ m/s}, \text{ et } G_{max} = 4.$$

La figure 4 présente le scénario des pistes simulées.

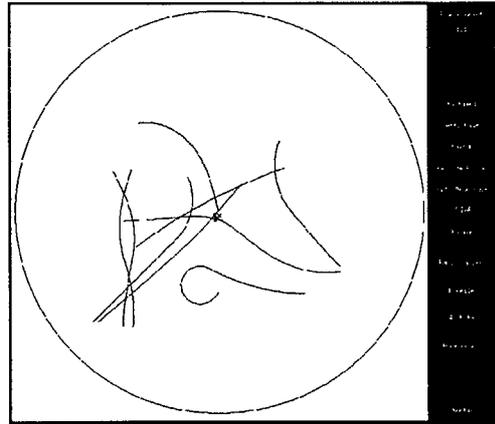


Fig.4: Trajectoires simulées non-bruitées

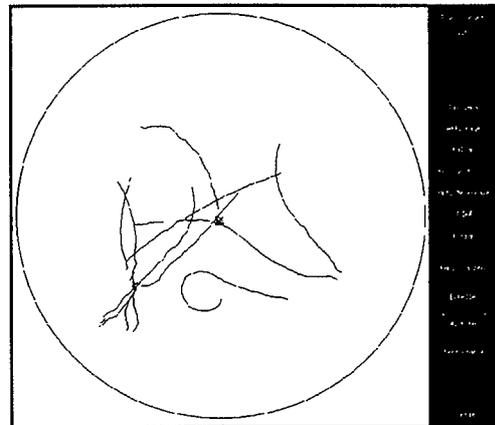


Fig.5: Fusion sans reconnaissance de trajectoires avec opérateur de type moyenne

La figure 5 montre les résultats de fusion sans reconnaissance de trajectoires et avec l'opérateur de type moyenne. Ces résultats sont à comparer avec ceux



obtenus en utilisant le réseau de reconnaissance de trajectoires et les opérateurs de type moyenne (figure 6) ou de type évidentiel (figure 7). Cette comparaison permet de mettre en évidence l'apport du réseau neuronal de reconnaissance de trajectoires, en particulier dans des cas complexes de cibles proches évoluant à des vitesses comparables. A noter que l'opérateur de type évidentiel, quoique plus complexe, ne donne pas de meilleurs résultats que l'opérateur de type moyenne, essentiellement parce que les données traitées sont uniquement de type numérique.

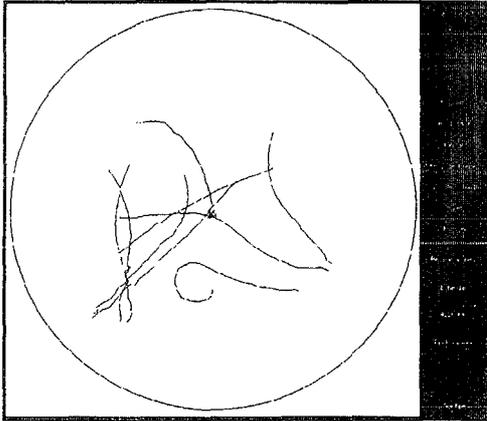


Fig.6: Fusion avec reconnaissance de trajectoires et opérateur de type moyenne

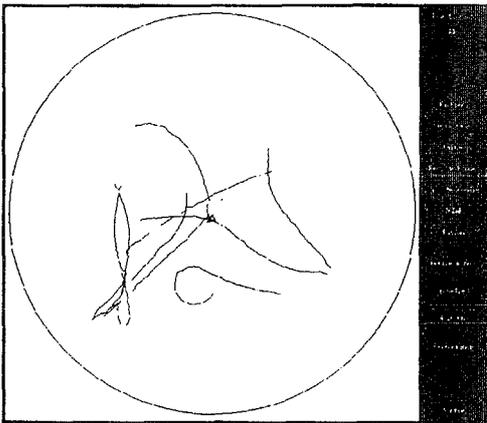


Fig.7: Fusion avec reconnaissance de trajectoires et opérateur de type évidentiel

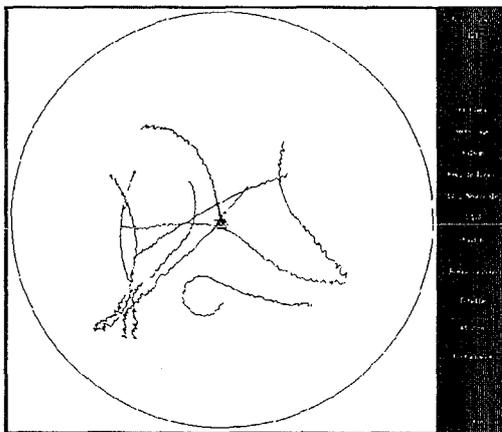


Fig.8: Pistage monocapteur radar 2D

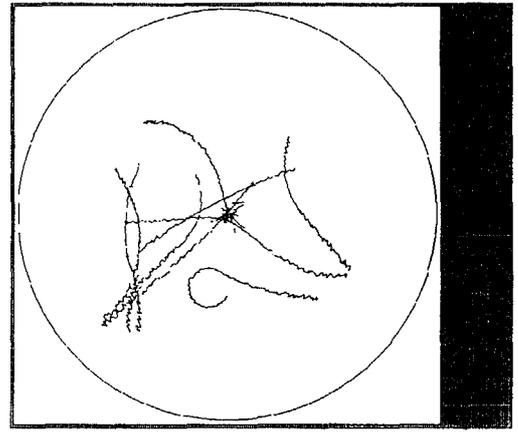


Fig.9: Pistage monocapteur radar 3D

Des essais sont envisagés avec cet opérateur pour traiter des informations de type symbolique (attributs). Enfin, l'intérêt de la fusion de pistes est bien mis en évidence en comparant les figures 6 et 7 avec les figures 8 et 9, qui correspondent à des pistages monocapteurs.

## 5. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté un réseau neuronal original permettant de définir un critère de fusion basé sur un test cinématique. Il permet d'une part d'éliminer une partie des fausses pistes monocapteurs, et d'autre part de déterminer si deux pistes monocapteurs sont fusionnables. Pour obtenir les pistes fusionnées, deux opérateurs de fusion ont été envisagés: l'un de type moyenne, et l'autre basé sur la théorie de l'évidence. Concernant les perspectives de ce travail, on envisage de fusionner des pistes provenant de capteurs identiques, mais obtenues à partir de traitements ou de réglages de méthodes différents, voire même d'utiliser des architectures mixant les approches multiméthodes et multicapteurs.

## BIBLIOGRAPHIE

- [Bar] Y.Bar-Shalom, T.E.Fortmann, "Tracking and data association", Academic Press, 1988
- [Bla] S.S.Blackman, "Multiple-target tracking with radar applications", The Artech House Radar Library, 1986
- [Dez] J.Dezert, "Poursuite multi-cibles mono-senseur: analyse des principales approches développées dans le domaine", Note technique, 10, ONERA Chatillon, 1988
- [Sch] V.Schmidlin, "Poursuite multicible multicapteur à l'aide de réseaux neuronaux - Application à la poursuite de cibles aériennes", Thèse, Université de Nice-Sophia-Antipolis, 1994
- [Sha] G.Shafer, "A mathematical theory of evidence", Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1976