

Association plots-pistes dans un système de protection périmétrique.

CYRILLE ANDRE¹, ROGER REYNAUD¹, SYLVIE LE HEGARAT-MASCLE¹

¹Institut d'Électronique Fondamentale
Université Paris Sud, Bat 220, 91405 ORSAY Cedex, France

¹[Sylvie.Le-Hegarar, Roger.Reynaud, Cyrille.Andre]@u-psud.fr

Résumé - Dans le cadre d'une application réelle, nous proposons un pistage/labellisation des cibles susceptibles de générer une alarme. La mise en correspondance plots-pistes est effectuée par minimisation d'une fonction de coût ad hoc, et la labellisation prenant en compte le contexte dans le cadre de la théorie des fonctions de croyances.

Abstract – For an actual application, we propose a tracking/labeling of targets likely causing an alarm. The plot-track correspondence is obtained through the minimization of an ad hoc cost function, and the target labeling is done considering contextual information in the framework of the belief function theory.

1 Introduction

Le projet SafeAround réalise un démonstrateur de système de protection périmétrique sur un site où des zones spatio-temporelles interdites sont définies pour différents types d'intrus (typiquement véhicules, individus, groupes). Le système détecte les 'intrus', reconnaît leur type ou classe, et selon le contexte et leur position par rapport aux zones interdites, remonte une alarme ou une menace. Ce système s'appuie sur : une détection vidéo en visible couleur, une détection vidéo en infrarouge, et une détection par capteurs sismiques. Les deux caméras tournent sur elles-mêmes en deux secondes pour acquérir une image à 360° de la scène, tout en étant décalées entre elles de 180°. L'écart temporel entre l'acquisition d'un même point de la scène en visible et en infrarouge est donc d'une seconde. Les capteurs sismiques détectent la présence d'évènements (piétons, véhicules...) dans un rayon de 10 à 35 m selon le type de sol et le bruit ambiant. L'objectif du système de la fusion est alors d'exploiter la complémentarité de ces détecteurs (temporelle, spatiale, et en performance selon les conditions d'acquisition) pour présenter à l'utilisateur uniquement les menaces pertinentes, avec en outre un indicateur de 'sévérité' de ces menaces. L'apport est alors triple : diminution du nombre de fausses alarmes, amélioration de l'identification des intrus, amélioration de la localisation des intrus. Les deux étapes de la fusion

sont : la mise en correspondance des informations provenant des différents capteurs dans un référentiel commun (celui des pistes), la prise de décision en cas d'informations contradictoires.

Dans le système ces deux étapes font référence respectivement aux deux modules d'association plots-pistes et de classification multi-sources des pistes. L'architecture générale du système de fusion est décrite sur la Figure 1. Concernant l'organisation de la tâche de pistage, d'un point de vue séquentiel, la mise à jour des pistes s'effectue comme suit : (1) à chaque instant t où une nouvelle donnée est acquise, les 'plots' sont détectés ; (2) pour l'ensemble des pistes connues jusqu'à $t-1$, on réalise la prédiction à t de l'état (par filtrage de Kalman) notamment la position ; (3) les éléments des deux ensembles de pistes prédites à t et de plots détectés sur la donnée à t , sont mis en correspondance (comme détaillé plus loin) ; (4) l'ensemble des pistes est mis à jour, de même que la croyance des différentes classes pour chacune des pistes. La section 2 précise l'association plots-pistes à partir des données visible et IR (pour le pistage, on se limite aux données caméra, notamment en raison de l'imprécision de localisation des capteurs sismiques). La section 3 présente la fusion pour la classification des pistes. La section 4 conclue cette étude.

2 Association plots/pistes

Le module d'association entre les plots détectés à t et les pistes connues jusqu'à $t-1$ est central pour le pistage.

Notons tout d'abord que le délai d'une seconde entre les acquisitions successives rend nécessaire le recalage temporel des pistes. Ainsi, pour chaque piste, on réalise une prédiction (par filtre de Kalman) de sa position à t afin de déterminer une liste de plots candidats à

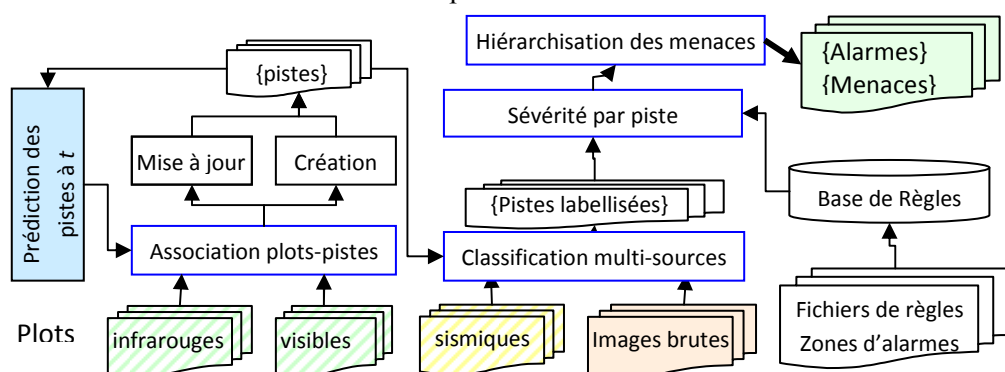


Figure 1 : Organigramme des tâches.

l'association. La difficulté fondamentale de l'association plots-pistes est alors liée à la présence de fausses alarmes et à la fragmentation des plots : généralement, pour chaque piste on a plusieurs plots candidats à l'association. Trois grands types de solutions ont alors été proposés en vue de définir les plots à prendre en compte pour recalibrer les pistes. Soit T une piste et $\{P\}_T$ un ensemble de plots candidats à l'association avec T . La première des techniques consiste à décider $p \in \{P\}_T$, qui sera associé à T (par exemple, p plus proche voisin dans l'espace des caractéristiques : localisation spatiale, forme, etc.). La seconde technique introduite par [Reid, 1979] et connue sous le nom de MHT (*Multiple Hypothesis Tracking*) consiste à gérer en parallèle plusieurs hypothèses d'association (par exemple, les N plus vraisemblables) de façon à rendre plus robustes les décisions de non-association (typiquement la décision n'est pas prise à chaque pas de temps mais au vu de l'évolution de la piste sur plusieurs pas de temps). La troisième technique consiste à combiner les résultats des différentes mises à jour de la piste à partir des différents plots candidats en prenant en compte la vraisemblance de l'association (filtres PDA, *Probabilistic Data Association*, [Bar-Shalom, 1987], et JPDA, *Joint Probabilistic Data Association*). Le choix d'une de ces trois techniques se fait notamment en fonction du niveau de bruit et de fausses alarmes. Par ailleurs, les techniques multi-hypothèses sont intéressantes dans le cas de trajectoires relativement régulières (par exemple suivi d'un avion ayant tourné) ce qui n'est pas nécessairement le cas dans le cas d'intrus sur un site protégé. Dans notre cas, outre les fausses alarmes, on est confronté au fait qu'une piste peut être mise en correspondance avec plusieurs plots (par exemple, phénomène de fragmentation des plots, notamment en IR, ou gestion des pistes de type 'groupe d'individus') et inversement (phénomène de croisement des pistes et de masquage des plots, par exemple individu caché derrière un véhicule). L'approche choisie est alors celle d'une optimisation globale de l'association plots-pistes prenant en compte la possibilité d'association 0- N que ce soit pour les plots ou pour les pistes. Nous faisons alors le pari que l'optimisation globale permettra de déterminer de façon fiable les fausses alarmes ; si plusieurs plots sont associés à une même piste, ils doivent alors tous être pris en compte pour l'actualisation de la piste au temps t (pratiquement nous travaillons avec des fenêtres englobantes et la nouvelle fenêtre englobante de la piste est calculée à partir de l'ensemble des plots associés à la piste). En l'absence de contrainte, le nombre de mises en correspondance possibles entre n pistes et m plots est alors de $2^{m \times n}$.

Le principe d'association adopté consiste à définir une fonction de coût sur l'ensemble des configurations d'association et à minimiser cette fonction de coût. L'argument de la fonction coût est l'ensemble \mathbf{J} des jonctions J_i entre une piste T_k et un plot P_l . Comme illustré sur la Figure 2, ces jonctions peuvent se produire entre regroupements de pistes et de plots.

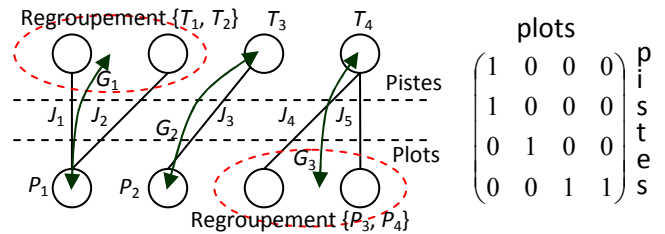


Figure 2 : 5 jonctions induisent 3 associations entre regroupements de plots / pistes : $\mathbf{J} = \{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5\}$, $\mathbf{G} = \{G_1, G_2, G_3\}$.

Par ailleurs, vu la taille de l'espace des solutions, on propose d'imposer à la fonction de mise en correspondance plots-pistes une contrainte supplémentaire, à savoir si une piste est associée à un regroupement de plots, un plot de ce regroupement ne pourra pas être associé à un regroupement de pistes, et inversement. Ainsi, la Figure 2 fait apparaître un regroupement de plots $\{P_3, P_4\}$, car associés à une même piste T_4 , et un regroupement de pistes $\{T_1, T_2\}$, car associées à un même plot P_1 , et vérifie la contrainte puisqu'il n'y a pas de jonction J_i entre un élément de $\{P_3, P_4\}$ et un élément de $\{T_1, T_2\}$. La contrainte introduite interdit donc les jonctions G_i d'un groupe de pistes avec un groupe de plots. Cependant, ces cas sont extrêmement rares sachant que dans notre application un groupe de personnes ou véhicules peut correspondre à un plot ou une piste (labellisés 'groupe') et donc n'apparaîtra pas comme un regroupement. Formellement si l'on représente la fonction de mise en correspondance par une matrice indicatrice de dimension $n \times m$, les associations mettant en jeu un regroupement de pistes correspondent à des colonnes avec plusieurs 1, et ceux mettant en jeu un regroupement de plots à des lignes avec plusieurs 1, la contrainte proposée revient alors à imposer que, pour chaque terme non nul de la matrice, la somme des termes vaille au plus 1 soit sur la ligne soit sur la colonne (les colonnes à zéro correspondant à des fausses alarmes ou des naissances de pistes, et les lignes à zéro correspondant à des non-détections ou des morts de pistes). Un exemple de telle matrice est montré dans le cas de la Figure 2.

Dans notre cas applicatif, les plots sont détectés sous forme de boîtes englobantes (de la cible) de largeur et hauteur notées w_i et h_i respectivement (l'indice i étant celui du plot, de la piste ou du regroupement de plots ou de pistes selon), la fonction de coût proposée de façon ad hoc est alors la suivante :

$$C = \alpha_1 n + \alpha_2 m + \alpha_3 \sum_{(i,j) \in G} \text{dist}(i,j) + \alpha_4 \left[\sum_{(\{p\}_k, \{t\}_l) \in \mathbf{J}} \frac{\text{abs}(w_k - w_l)}{\max(w_k, w_l)} + \sum_{(\{p\}_k, \{t\}_l) \in \mathbf{J}} \frac{\text{abs}(h_k - h_l)}{\max(h_k, h_l)} \right] \quad (1)$$

Avec α_1 , α_2 , α_3 , et α_4 des coefficients de pondération entre les différents termes de la fonction de coût, \mathbf{J} l'ensemble des jonctions, $\text{dist}(\cdot, \cdot)$ une fonction distance entre les rectangles englobants le plot (ou l'ensemble des plots) et la piste prédite à t , \mathbf{G} l'ensemble des jonctions éventuellement mettant en jeu un regroupement : $(\{p\}_k, \{t\}_l)$ est la jonction de \mathbf{G} entre le $k^{\text{ième}}$ groupe de plots (éventuellement réduit à un plot) et

le $i^{\text{ème}}$ groupe de pistes (éventuellement réduit à une piste) (sur la Figure 2, $|\mathbf{J}|=5$ et $|\mathbf{G}|=3$). Notons que $\max(m, n) \leq |\mathbf{G}| \leq m+n$. Par ailleurs, même si on accepte les non-associations que ce soit pour les plots ou les pistes, on choisit de les pénaliser par rapport à des associations. Ainsi, n' est le nombre de pistes non associées et m' le nombre de plots non associés. Les deux termes suivants permettent de mesurer les 'distances' spatiales et de forme entre les plots et pistes candidats à l'association.

L'optimisation de la fonction de coût est réalisée de manière stochastique en utilisant un recuit simulé comme suit : à partir d'une initialisation de la fonction de mise en correspondance et de son coût, on répète tant qu'il n'y a pas convergence les étapes suivantes : (a) tirage aléatoire d'un mouvement parmi les cinq suivantes 1) la naissance d'une nouvelle jonction, 2) la mort d'une jonction, 3) le changement de la piste d'une jonction, 4) le changement du plot d'une jonction ou 5) le décroisement de deux jonctions ; (b) tirage aléatoire des nouveaux éléments nécessaires au mouvement choisi (plots, pistes ou jonctions, respectant la contrainte) ; (c) évaluation du coût de la mise en correspondance testée ; (4) acceptation du nouveau mouvement avec une certaine probabilité dépendant des coûts des configurations courante et testée, et de la température courante (du recuit).

La Figure 3 présente le pourcentage de non-détections, p_{ND} , en fonction du pourcentage de fausses alarmes, p_{FA} . Ces pourcentages sont définis comme suit : soit la configuration d'association estimée et définie par l'ensemble des liaisons $\mathbf{J} = \{J_i, i \in [1, |\mathbf{J}|]\}$, et soit la configuration d'association vérité-terrain $\tilde{\mathbf{J}} = \{\tilde{J}_i, i \in [1, |\tilde{\mathbf{J}}|]\}$, une non-détection est un élément de $\tilde{\mathbf{J}}$ non dans \mathbf{J} , et une fausse alarme est un élément de \mathbf{J} non dans $\tilde{\mathbf{J}}$, alors $p_{ND} = |\tilde{\mathbf{J}} \cap \neg \mathbf{J}| / |\tilde{\mathbf{J}}|$ et $p_{FA} = |\mathbf{J} \cap \neg \tilde{\mathbf{J}}| / |\mathbf{J}|$. Chaque point représente un test d'association plots-pistes. Plus un point est proche de l'origine, meilleur est le résultat de l'association plots-pistes. La Figure 3(a) permet alors de comparer les résultats obtenus pour différentes fonctions coût : celle donnée par l'équation (1), et celles dérivées de l'équation (1) en omettant un terme à savoir n' , m' , la distance spatiale, et la distance de forme, successivement. On voit clairement que dans la fonction coût proposée tous les termes sont utiles en vue d'une performance maximale. Par exemple, l'absence des termes pénalisant les non-associations conduit souvent à zéro fausse alarme, mais aussi des non-détections importantes. La Figure 3(b) compare les résultats d'une association 1plot-1piste (fonction de coût de l'équation 1) avec ceux obtenus en laissant la possibilité de jonctions plot-multipistes et piste-multiplots. Comme attendu, dans le cas de cibles fragmentées (50% dans le cas de la Figure 3(b)) l'association 1-1 conduit à des non-détections (et très peu de fausses alarmes) et des performances en moyenne inférieures à celles de l'association 1-N.

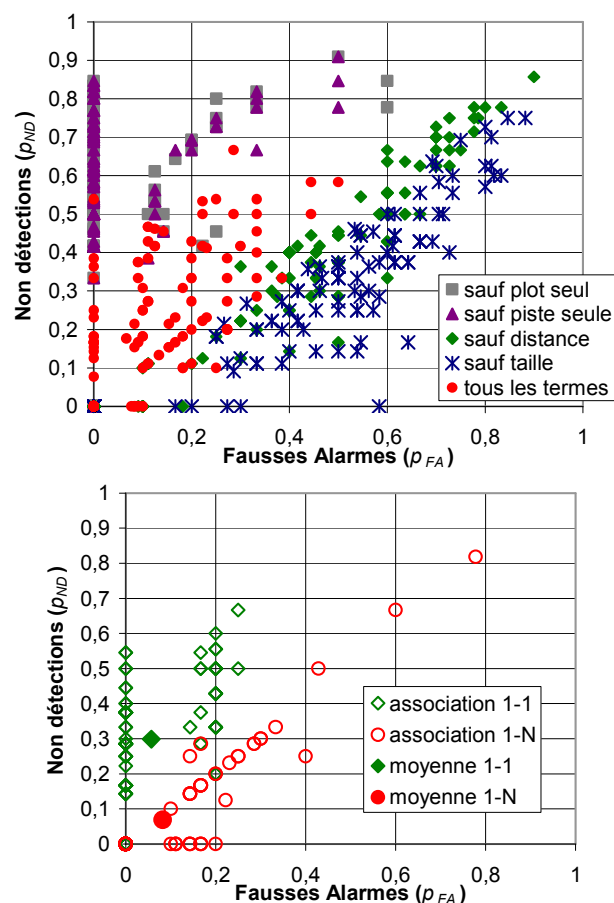


Figure 3 : Performances (probabilités de non-détections versus fausses alarmes) des associations plots-pistes mesurées sur 100 simulations : (a) comparaison des résultats correspondant à la fonction de coût proposée avec ceux obtenus avec des fonctions de coût partielles ; (b) comparaison des résultats d'une association 1-1 et des résultats d'une association 1-N ou M-1.

3 Évaluation de la vraisemblance des alarmes

L'objectif de cette partie est d'estimer la classe de chaque piste. Dans Safearound, les différentes classes que nous devons distinguer sont : 'Véhicule' (C_V), 'Personne' (C_P), 'Groupe' (C_G), et 'Autre' (C_A). A chaque instant et pour chaque piste, on estime la confiance en chacune des classes, en fonction des conditions opératoires (contexte), et des décisions mono-sources (détection de la piste, classification mono-source). Or, nous devons tenir compte des deux éléments suivants : les différentes sources ne discernent pas toutes les mêmes classes, la fiabilité d'une source varie en fonction du contexte (par exemple, une non-détection dans le visible la nuit, ne doit a priori pas diminuer la confiance dans la piste, contrairement à une absence de détection dans le visible en journée). Ainsi, pour combiner les différentes informations, nous avons choisi le cadre de la théorie des fonctions de croyances [Shafer, 1976, Smets, 1978], qui permet notamment de combiner des informations partielles, et de modéliser la fiabilité des différentes sources.

Plus précisément, l'espace de discernement Θ est l'union des deux hypothèses 'alarme' (noté Ω) et 'fausse alarme' (notée $\neg\Omega$), où Ω est une hypothèse composée incluant les différentes hypothèses singleton C_V, C_P, C_G, C_A : $\Omega = C_V \cup C_P \cup C_G \cup C_A$. La Figure 4(a) représente Θ et les différentes hypothèses incluses.

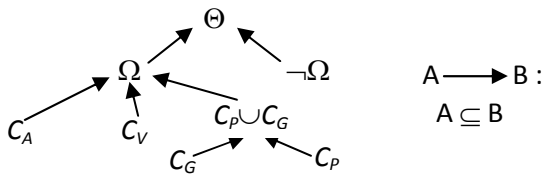


Figure 4 : Espace de discernement pour la classification et relation entre les hypothèses simples et composées.

A chaque plot détecté est associé un jeu de masse (bba pour *basic belief assignment*) comme suit : pour un plot de classe C_i , la masse est répartie entre C_i et Ω (Ω permet de représenter les cas où la classe attribuée au plot n'était pas fiable, par contre on suppose que le plot n'était pas une fausse alarme).

Avant combinaison des bbas des plots et des pistes, ceux-ci sont susceptibles d'affaiblissement (au sens de la théorie des fonctions de croyances). Dans le cas du plot, cet affaiblissement est lié au contexte et peut intervenir de deux manières différentes, selon que la source est considérée comme soit non fiable (capteur en panne, pluie...), soit non sensible (nuit, température chaude). La non fiabilité se traduit par un affaiblissement classique de la source (avec report de la masse sur Θ), tandis que la non sensibilité implique un affaiblissement contextuel, à savoir seulement en cas de non détection. En effet, la non sensibilité correspond à l'idée que si le capteur ne détecte pas une cible c'est explicable (par exemple capteur visible la nuit). Par contre, en cas de détection, la source ne doit pas être affaiblie (toujours dans notre exemple, un intrus muni d'une lampe de poche pourrait très bien être identifié). Par ailleurs, nous avons proposé de modéliser le vieillissement des pistes à chaque pas de temps par un affaiblissement de leurs bbas.

Une fois réalisée la mise en correspondance entre plots et pistes, les jeux de masses des pistes et des plots associés sont combinés selon la règle 'hybride' proposée par [Dubois et Prade,1988], qui utilise la notion de conflit pour combiner les sources de façon soit conjonctive, soit disjonctive. On en déduit les quatre cas suivants. 1^{er} cas : la piste est associée à un plot de même classe, alors la bba résultante est une bba plus engagée avec une confiance augmentée sur la classe. 2^{ème} cas : la piste est associée à un plot de classe différente, alors la bba résultante est une bba a priori moins engagée où la masse des deux hypothèses conflictuelles a été reportée sur la première des hypothèses composées en remontant dans l'arbre des hypothèses (cf. Figure 4 : $C_P \cup C_G$ ou Ω selon les classes conflictuelles), ainsi le conflit remet en cause la fiabilité de la classe détectée, mais pas la fiabilité de la détection. 3^{ème} cas : la piste n'est pas associée, alors il y a création d'une bba modélisant la croyance en une éventuelle fausse alarme (bba simple avec comme élément focaux Ω et Θ) qui est combinée avec la bba de la piste. 4^{ème} cas : le plot n'est pas associé, alors une piste est créée qui prend la bba du plot.

La Figure 5 donne en fonction du temps les probabilités pignistiques des différentes classes d'une piste 'piéton' avec un taux de bonne classification pour

les plots de 0.5, et (a) un taux d'indétermination (classe Ω) de 0.5, ou (b) un taux de mauvaise classe de 0.5.

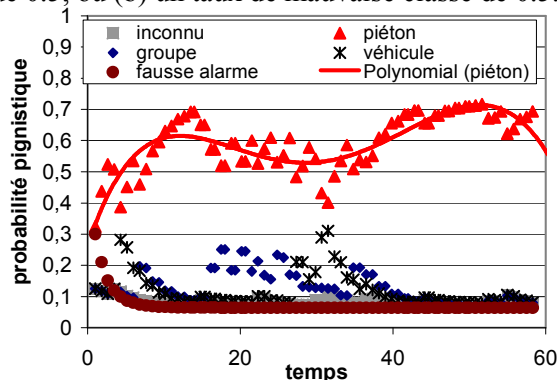


Figure 5 : Évolution des probabilités pignistiques d'une piste piéton versus les estimations des classes des plots : C_P à 50% et (a) Ω à 50%, ou (b) erreur de classification (C_I ou C_G) à 50%.

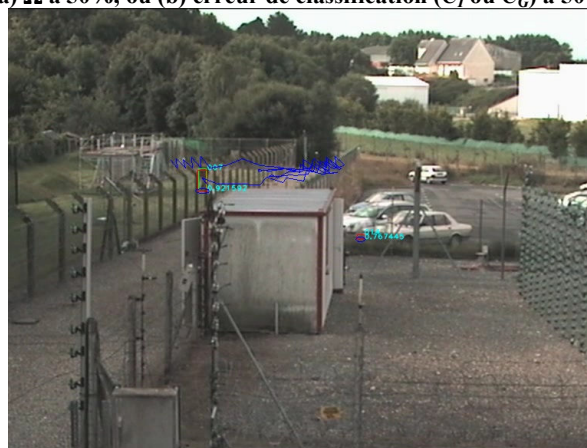


Figure 6 : Exemple de piste (en bleu) d'un intru 'piéton'.

4 Conclusion

Les données issues du projet Safearound ont été traitées (cf. Figure 6) par le système de fusion décrit précédemment. Plusieurs scénarii ont été considérés, tels que regroupement et séparation de piétons ; masquage en visible et/ou en infrarouge ; suivi d'un piéton partiellement masqué donnant plusieurs plots. La fonction coût a montré sa robustesse vis-à-vis de l'association $1 \rightarrow n$, $n \rightarrow 1$, tandis que la contrainte interdisant la jonction d'un groupe de pistes avec un groupe de plots a permis de converger en un temps de calcul compatible avec l'application (1 image par seconde). Enfin, les erreurs de labellisation (monosource) des plots ont été corrigées par les mécanismes proposés d'affaiblissement contextuel des fonctions de masse et de combinaison évidentielle utilisant la règle hybride.

5 Bibliographie

Reid D.B., 1979, "An algorithm for tracking multiple targets", *IEEE Tran. on Automatic Control*, **24**(6):844-854.
 Bar-Shalom Y., 1987, *Tracking and Data Association*, Academic Press Professional, Inc., San Diego, CA.
 Shafer G., 1976, *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton University Press, 1976.
 Smets P., 1978, "Un modèle mathématico-statistique simulant le processus du diagnostic médical", Ph.D. thesis, Belgium.
 Dubois D. and Prade H., 1988, "Representation and combination of uncertainty with belief functions and possibility measures", *Computation. Intelligence*, **4**:244-264.