

Allocation de ressources et fusion de données dans un système multi-capteurs pour la classification

M. CONTAT¹, V. NIMIER¹, R. REYNAUD²

¹ DTIM, ONERA, 29 av de la Division Leclerc, 92322 Châtillon, France. < nimier , contat >@onera.fr

² IEF, Université Paris Sud F91405 Orsay

Roger.Reynaud@ief.u-psud.fr

Résumé – Ce travail est une proposition d’une architecture modulaire avec gestion des interactions pour l’allocation des ressources capteurs dans un système multi-capteurs et multi-pistes de classification aérienne. Chaque acteur processus du système suit une piste et tente de classifier la cible correspondante. En fonction des hypothèses en course, il propose une liste ordonnées de requêtes vis-à-vis des capteurs. Un superviseur central ou distribué rassemble les requêtes à l’instant t et alloue les ressources capteurs aux différents acteurs.

Abstract – This work deals with a proposal of modular architecture with interactions managing for the allocation of the sensors resources in a multi-sensors multi-tracks system of air force classification. Each actor (process of the system) follows a track and tries classifying the corresponding target. According to the residual hypotheses in course, it proposes an ordered list of requests at time t and allocates the sensors resources at the various actors.

1. Introduction

L’utilisation des systèmes multi-capteurs s’est rapidement développée dans les applications civiles ou militaires, face au besoin d’obtenir une situation opérationnelle fiable et de plus en plus fidèle à la réalité [1]. Bien que de nombreuses données soient disponibles, elles n’améliorent pas obligatoirement la classification et l’identification des objets. Plusieurs processus traitent en parallèle différentes fonctions du système et effectuent des accès concurrentiels aux ressources capteurs. Pour chaque fonction fournissant l’estimation d’un attribut, et afin d’optimiser le choix du capteur et de son mode d’utilisation, nous proposons une architecture modulaire basée sur un mécanisme de construction de listes de requête capteurs par module[2], ordonnées par préférence, en utilisant des observations, des informations a priori et des informations contextuelles [3].

2. L’Architecture

L’architecture du système, visible sur la figure 1, est constituée d’un module Superviseur, gérant l’allocation des ressources ainsi que différents modules possédant un certain degré d’autonomie. L’organisation choisie permet une gestion efficace des conflits notamment pour l’allocation des capteurs les plus performants. Il y a traditionnellement deux façons d’obtenir les données :

- Un mode Push, où les informations sont acquises en continu et aiguillées par un routeur vers les processus qui les traitent au fur et à mesure ;
- Le mode Pull qui fonctionne sur la base de requêtes adressées aux capteurs par les processus qui en ont besoin.

Nous sommes dans ce dernier cas, et nous cherchons à diminuer le nombre de requêtes en sélectionnant par avance le capteur et son mode qui permet de discriminer le plus efficacement les classes entre elles, afin de trouver rapidement celle de la cible.

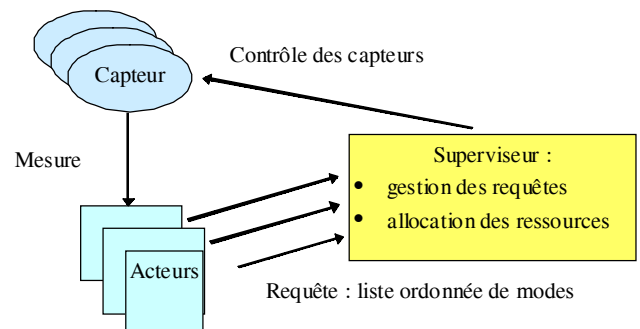


FIG. 1 : Schéma général

Il s’agit d’une architecture multi-acteurs. Les interactions entre acteurs et le superviseur sont basées sur l’utilisation de requêtes envoyées vers le module d’allocation des ressources. Le superviseur contrôle les capteurs et leurs modes d’utilisation. Ces derniers renvoient une mesure ou simultanément plusieurs mesures. En référence au travail [4], qui propose un algorithme itératif de négociation entre acteurs pour allouer de façon optimale et globale les ressources du système, nous proposons une gestion des interactions basée sur l’envoi d’une liste ordonnée de modes en un seul message, le superviseur réalisant en quelque sorte une négociation raccourcie à partir de toutes les listes reçues, et à partir de la connaissance des ressources oisives (« Idle »), des temps d’accès aux mesures, de choix stratégiques et tactiques et de mécanismes de gestion des pannes.

3. L’Algorithme

L’algorithme se présente sous forme modulaire (figure 2). Les modules de décision fournissent un ordre sur les modes à utiliser pour chaque cible en fonction des classes restantes (les classes encore possibles, qui n’ont pas été éliminées). Ainsi, pour p cibles, il y aura p modules de décision et le processus à ce niveau est parallèle.

Le module de décision permet de sélectionner les modes non utilisés, d'éliminer ceux qui seront inopérants et de trier les meilleurs à utiliser par la suite en fonction des classes restant en compétition. Pour cela, il est récursif et l'information contextuelle telle que l'orientation est introduite à cette étape. Chaque module fournit en sortie une liste ordonnée de modes pour chaque cible.

Le module d'ordonnancement des cibles interclasse les listes en fonction de leur importance ou de tout autre ordre que l'on veut utiliser. Cette étape, nécessaire avant l'allocation de ressources proprement dite, prend en compte la distance entre les capteurs, dans notre cas co-localisés, et la cible p . D'autres critères comme une information sur la trajectoire peuvent être utilisés. L'information en sortie de ce module est une liste ordonnée par cible de listes ordonnées de modes.

L'allocation de ressources est effectuée dans le module suivant, où toutes les listes ordonnées sont en compétition. En fonction des capteurs utilisés ou non et du temps de réponse pour le mode concerné, les requêtes sont créées et envoyées aux capteurs. Les modules de mesures fournissent les résultats des requêtes, qui sont ensuite fusionnés au niveau du module de fusion.

Le dernier module avant le test d'arrêt sert à éliminer les classes suivant un critère de seuil, pour ensuite relancer récursivement le processus sur la nouvelle liste de classes restantes.

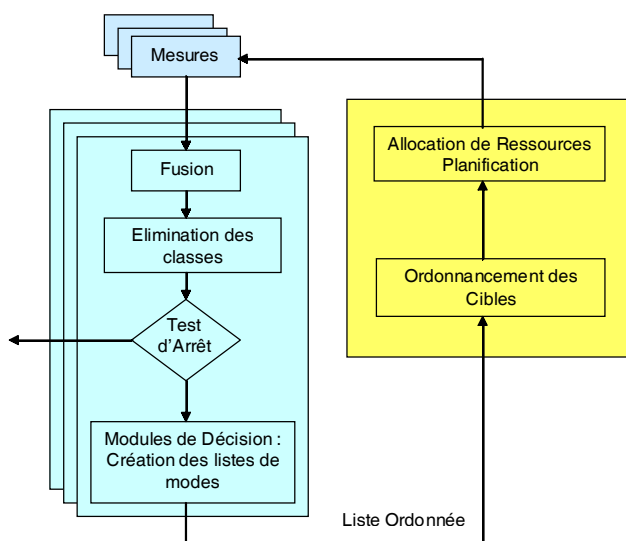


FIG. 2 : Détail de l'algorithme

4. Description des Modules

Les modules sont indépendants et évolutifs et permettent un traitement parallèle :

- Modules de décision/classification
- Ordonnancement des cibles
- Allocation de ressources
- Module de fusion
- Elimination des classes
- Evaluation de la menace

L'algorithme se présente donc sous une forme modulaire, ce qui procure l'avantage de pouvoir modifier, améliorer un module indépendamment des autres et donc d'évaluer son rôle dans le comportement de l'algorithme. Ce chapitre présente ainsi le détail de tous les modules importants, leur fonctionnement, l'utilisation des données et les améliorations possibles.

4.1 Modules de décision/classification

Ces modules sont l'élément central de la prise de décision sur la classification des cibles. En effet, pour chaque cible préalablement détectée, un module dédié est construit, qui prend en compte les informations contenues dans les Degrés de Séparation[3] ainsi que celles obtenues par les mesures précédemment effectuées. A ce niveau, chaque module utilise aussi l'information contextuelle telle que l'orientation de la cible, nécessaire par exemple pour les modes HRD et ISAR. Toute autre information intervenant sur la qualité des mesures et l'utilisation des modes est introduite à cet endroit.

Les modes déjà utilisés sont retirés de la liste à cette étape : en effet, à ce niveau, le choix est donné sur un aspect du fonctionnement global du système.

L'arrêt de l'envoi de requêtes est conditionné au nombre de requêtes déjà envoyées : l'utilisateur choisit le nombre maximal de requêtes par cible, qui est fixé par défaut au nombre de modes disponibles. A ce niveau, le comportement peut encore être amélioré en sélectionnant, une fois que tous les attributs de la cible ont été mesurés c'est-à-dire que tous les modes ont été utilisés, les attributs dont la mesure n'a pas été satisfaisante, qui paraît la plus incorrecte en fonction des meilleures classes possibles.

4.2 Module d'ordonnancement des cibles

Chaque module précédent de classification fournit une liste de modes ordonnés pour chaque cible. Cependant à ce niveau, aucun ordre n'a été défini sur les pistes détectés, ordre nécessaire afin de pouvoir définir des priorités en environnement multi-cibles.

Les capteurs de l'application sont immobiles et co-localisés : le premier ordre de priorité considéré sur les cibles est constitué suivant l'ordre de détection des cibles et la distance de la cible aux capteurs. Dans les simulations, ce critère est mis à jour à chaque fois qu'une nouvelle cible apparaît ou bien lorsqu'une cible a été reconnue.

Un module complémentaire d'évaluation de la menace peut aussi compléter le dispositif pour fournir des informations modifiant l'ordre de priorité des cibles. De même, l'intervention d'un opérateur humain sur le processus peut obliger le système à reconnaître une cible particulière ou peut fixer un ordre préférentiel parmi toutes les cibles.

4.3 Module d'allocation de ressources

Le module d'allocation des ressources choisit un capteur et son mode et l'affecte à une cible. Il dispose de toutes les informations sur l'environnement, sur les cibles aux travers des listes ordonnées de requêtes, ainsi que des données sur le système lui-même, concernant la charge, l'occupation des

capteurs, leur fonctionnement et le temps d'acquisition des capteurs en fonction des modes utilisés.

Les ressources disponibles d'un tel système concernent essentiellement les capteurs. En effet, la première vérification concerne le fonctionnement des capteurs, ceci afin de pouvoir gérer les pannes et les détériorations du système. Ensuite les informations concernant les modes des capteurs sont utilisées, en particulier le temps d'acquisition de chaque mode, qui varie beaucoup suivant les modes. Ainsi, le mode ISAR, qui est généralement le plus informatif dans nos simulations (car il fournit des attributs qui permettent de discriminer fortement les classes entre elles) nécessite un temps d'acquisition de l'ordre de 2 secondes, à comparer avec le mode Doppler qui est de l'ordre du dixième de seconde et le mode Cinématique (qui fournit les attributs cinématiques de la cible) de l'ordre du centième de seconde. La connaissance de ces valeurs permet d'évaluer la charge globale du système, pour toutes les cibles, et localement de choisir le meilleur mode tout en tenant compte du temps de réponse et du temps d'utilisation des capteurs.

Différentes stratégies d'allocation de ressources sont envisageables, privilégiant la classification des cibles individuellement suivant l'ordre donné, comme dans les simulations effectuées, ou bien la reconnaissance globale de tous les appareils. De plus, le temps d'acquisition des capteurs suivant les modes sont très disparates, ce qui permet aussi d'élaborer des stratégies reposant sur le temps : celui-ci peut être imposé pour chaque cible ou pour tout le processus.

4.4 Module de fusion

Après l'obtention des mesures, l'étape suivante est la fusion des résultats obtenus pour chaque cible détectée. Dans notre cas, les sources d'information, ici les capteurs, sont considérés comme fiables et sans problème d'association de données, c'est-à-dire que les mesures fournies concernent l'objet observé. L'aspect modulaire de l'algorithme permet ainsi de valider et tester différents opérateurs de fusion.

Les opérateurs disjonctifs ont été volontairement laissés de côté, car les sources sont considérées comme fiables et une grande partie des simulations a été effectuée avec un seul capteur, un radar multi-mode, possédant quatre modes d'utilisation différents. Cependant, le comportement des opérateurs de fusion adaptative n'a pas encore été évalué dans les simulations[2], ce qui pourrait éventuellement améliorer les performances ou au moins modifier le comportement global de l'algorithme.

4.5 Elimination des classes :

La dernière étape du processus est l'élimination des classes. En effet, après la fusion des données, les possibilités d'appartenance d'une cible à chaque classe ont été obtenues. Pour limiter la complexité, un critère de seuil élimine toutes les classes dont la possibilité d'appartenance, après normalisation, est inférieure à un seuil fixé par l'utilisateur. Ce comportement d'élimination n'est pas agressif : seules les classes les plus faibles en terme de possibilité d'appartenance sont éliminées.

4.6 Evaluation de la menace :

Le module d'ordonnancement fournit un ordre parmi les cibles. D'autres sources d'informations peuvent être considérées pour choisir les cibles prioritaires. Un module chargé d'évaluer la menace des cibles en observant leur comportement affine l'ordre de priorité.

Plusieurs types de données fournissent des informations utilisables : les données sur la trajectoire du mobile permettent d'être exploitées. En premier lieu, le type de mouvement de la cible peut indiquer un comportement suspect. Ensuite, il est intéressant de calculer les trajectoires possibles vers des objectifs stratégiques déterminés à l'avance. Ce type de module demande cependant une grande puissance de calcul, car suivant le nombre de mobiles et d'objectifs potentiels, les possibilités sont nombreuses et doivent être mises à jour à un intervalle de temps régulier et suffisamment court, en fonction de divers éléments tels que la vitesse des cibles.

Les informations issues de la classification peuvent aussi fournir une évaluation de la menace en fonction des classes obtenues ou éliminées : les types de classe choisis à l'avance intègrent différents types d'appareils comme les chasseurs, missiles ou les avions commerciaux. Au fur et à mesure que la classification s'affine, et donc que certaines classes sont éliminées, la distinction entre appareil menaçant ou non devient possible. En fonction de ces informations, le système modifie l'ordre de priorité des cibles et considère d'abord les mobiles qui, avant la fin de la classification, paraissent appartenir à des classes d'appareils militaires.

Chaque module peut être amélioré ou testé individuellement et le comportement global de l'algorithme dépend du comportement de tous ces modules. La validation de l'algorithme a été effectuée sur un logiciel programmé en langage objet décrit dans le chapitre suivant. Les propriétés du langage objet ont permis de tirer avantage de la structure modulaire de l'algorithme.

5. Résultats

Le scénario de classification utilisé pour les simulations est basé sur six classes et quatre modes, fournissant huit attributs. Les modes ainsi considérés sont : cinématique, HRD, Doppler et ISAR 2D. Dans les simulations, le nombre de cibles et le bruit sur les mesures varient. De plus le gain est mesuré par rapport à un ordre des requêtes aléatoire. Les résultats sont exprimés en nombre de pas d'itération, qui est le nombre d'appel au module d'allocation (fig. 3) et en nombre de requêtes envoyées pour reconnaître une cible (fig.4).

Les résultats des simulations ont ainsi montré que la qualité de reconnaissance (taux de non et de mauvaise reconnaissances) est conservée, alors que le nombre de requêtes par cible diminue. Ceci a permis de valider l'efficacité du mécanisme de reconnaissance basé sur les listes de modes (Modules de Décision). Par contre, nous avons surtout constaté l'amélioration de la vitesse globale de reconnaissance de tous les objets en présence : le nombre d'appel au module d'allocation des ressources a été réduit, témoignant d'une planification plus adaptée.

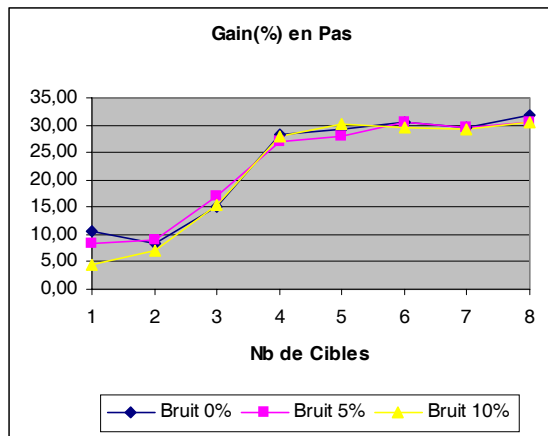


FIG. 4 : Gain en pas d'itération

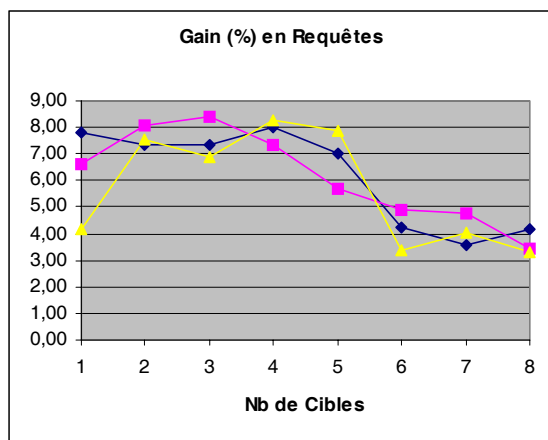


FIG. 5 : Gain en nombre de requêtes

6. Distribution de l'algorithme

Toujours en référence au travail de [4], nous proposons une version distribuée du superviseur nécessaire pour assurer la robustesse de l'ensemble de l'algorithme vis à vis d'une panne du calculateur supportant le superviseur (fig. 3).

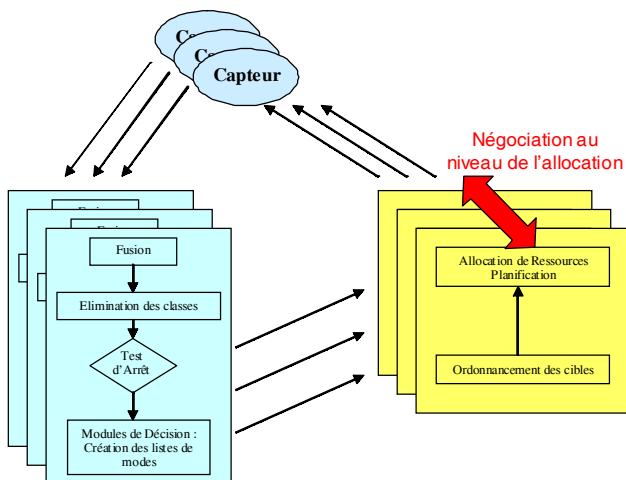


FIG. 3 : Schéma général distribué

Pour cela, la structure de données utilisée (listes ordonnées de modes, ordonnées entre elles par priorité) qui contient toutes les informations exploitées pour l'allocation est facilement distribuable sur chaque site participant à la négociation. La première voie est de copier le même processus sur chaque site disposant de la totalité des listes par un mécanisme de « Broadcast ». A cause du caractère asynchrone des traitements, le premier acteur qui s'alloue une ressource le notifie qui font évoluer la gestion des ressources restantes.

Les ressources capteurs les plus performantes seront choisies le plus fréquemment ; quand une telle ressource est occupée et si les autres capteurs n'apportent dans cette situation qu'une faible espérance de gain, une deuxième façon de procéder est l'anticipation de l'allocation de cette ressource. Cette anticipation amène un gain de performance au prix d'une latence plus élevée.

7. Conclusion

Les simulations effectuées pour valider la proposition ont montré la complexité des évaluations et nécessitent un choix de benchmarks qui permet de mesurer le gain en qualité (quand il y en a un), et à qualité constante, le gain en nombre de requêtes capteurs. Ce dernier point est important car une diminution globale du nombre de requêtes capteurs par processus de classification conduit la plupart du temps à une parallélisation plus importante des processus et permet ainsi d'augmenter le nombre de pistes traitées simultanément.

L'apparition d'articles [5] concernant le mécanisme souscription / publication d'informations relatives aux capteurs ou en sortie des traitements est en liaison directe avec la notion de listes de requêtes ordonnées. Celle-ci introduit une richesse supplémentaire en autorisant une négociation raccourcie et distribuée sur l'octroi de la ressource capteur. Les différentes ressources sont mises en compétition à un moment donné, la notification d'une allocation étant prise en compte immédiatement.

Références

- [1] S. Blackman, R. Popoli. *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*. Artech House, Norwood MA, 1999.
- [2] M. Contat, V. Nimier, R. Reynaud. *Gestion de prise d'informations pour la classification*. LFA'2001, Mons, Belgique, 26-27 Nov. 2001.
- [3] M. Contat, V. Nimier, R. Reynaud. *Request Management using Contextual Information for Classification*. Fusion 2002, Annapolis, Maryland, July 7-11, 2002.
- [4] J. Manyika, H. F. Durrant-Whyte. *Data Fusion and Sensor Management : a Decentralized Information-Theoretic Approach*. Ellis Horwood, 1994.
- [5] T. Bass. *The Federation of Critical Infrastructure Information via Publish-Subscribe Enabled Multisensor Data Fusion*. ISIF 2002.