

Les techniques de traitement spatio-temporel adaptatif, STAP en anglais (*Space-Time Adaptive Processing*), ont été développées activement à partir des années soixante-dix. Plus précisément, elles se sont avérées nécessaires pour la détection de cibles mobiles par des systèmes radar aéroportés pointant vers le sol. En effet, pour de tels scénarios, les échos de cibles peuvent se trouver en compétition avec de forts échos de sol (le fouillis) dans les domaines de l'espace et du temps définis, respectivement, par l'angle d'arrivée des échos sur l'antenne et par le temps de récurrence de l'émission radar. Les premiers travaux sur le STAP se sont concentrés sur des systèmes radar opérant en visée latérale et prenant en compte de fortes hypothèses simplificatrices. Depuis, de nombreuses études se sont intéressées à d'autres configurations d'antenne radar, et, de manière plus générale, à des problèmes divers causés par un environnement réel.

Suite à un séminaire sur le STAP, organisé par la Délégation Générale de l'Armement (DGA) en 2006 à Paris, les radaristes français se sont regroupés pour former un lieu d'échange privilégié sur cette thématique : le club STAP. Les membres de ce groupe présentent, dans ce numéro double de la revue *Traitement du Signal*, une synthèse des travaux menés depuis ces quatre dernières années. Le premier article (Ovarlez *et al.*, 2011a) débute ainsi par une présentation du club STAP. Les partenaires du groupe sont présentés ainsi que leurs objectifs et un bilan des activités y est dressé.

Les membres du club STAP ont voulu destiner cet ouvrage autant à un étudiant de niveau master (ou équivalent) qu'à un ingénieur ou un chercheur ayant quelques *notions de bases sur le radar* et voulant approfondir la thématique du STAP. Ainsi, pour renforcer la cohérence entre les divers travaux qui sont présentés et permettre aux personnes non initiées au STAP de lire l'ensemble des papiers, le numéro commence par trois articles d'introduction sur les traitements spatio-temporels adaptatifs.

L'article (Montécot *et al.*, 2011) précise ainsi le contexte radar et l'enjeu du filtrage STAP. Après une présentation succincte des divers domaines actuels d'application du STAP, l'article se refocalise sur le domaine du radar aéroporté. En particulier, il explique pourquoi le traitement du signal radar classique ne suffit pas pour la détection de cibles dont la vitesse radiale relative est proche de celle d'un écho de sol. L'accent est mis sur le besoin de discriminer les composantes des signaux reçus non seulement en vitesse mais aussi spatialement, suivant la direction d'arrivée des signaux sur l'antenne.

L'article (Bidon, 2011) présente un modèle classique des signaux STAP traditionnellement adopté par la communauté radar. Le signal reçu  $y$  est décrit comme la somme de trois contributions indépendantes que sont l'écho de la cible, le fouillis, et le bruit d'agitation thermique. Les traitements STAP visent ainsi à filtrer la composante du fouillis pour permettre la détection de cibles. Une fois le modèle des signaux introduit, quelques traitements classiques qui en découlent sont présentés, en particulier : le traitement optimal et sa première version adaptative ainsi que deux exemples de traitements sous-optimaux de référence.

Si les deux derniers articles s'adressent avant tout à un public non initié au STAP, l'article suivant (Bidon *et al.*, 2011b) s'adresse tout aussi bien au lecteur averti. En effet, il décrit trois jeux de données originaux mis à la disposition des membres du club STAP sur lesquels les algorithmes sont testés dans les articles suivants. Ces trois jeux de données correspondent aux données mi-synthétiques/mi-réelles fournies par la DGA Maîtrise de l'Information (DGA/MI), les données synthétiques de l'ONERA et les données réelles de THALES. Par rapport à la méthode de simulation traditionnelle présentée dans (Bidon, 2011), les jeux de données du club STAP incluent des phénomènes physiques additionnels qui permettent un niveau de réalisme plus avancé, voire total, dans le cas de données réelles. On portera une attention particulière aux données fournies par la DGA/MI puisque la majorité des simulations présentées dans cette édition sont étalonnées par rapport à ces signaux.

Dans les deux premiers articles d'introduction sur le STAP, les difficultés de mise en œuvre du filtre STAP sont pointées. On en compte essentiellement deux : dans un contexte applicatif, l'algorithme STAP doit avoir un coût calculatoire raisonnable par rapport à la technologie embarquée ; également la synthèse du filtre STAP n'est pas évidente car elle repose essentiellement sur la connaissance de la matrice de covariance du fouillis et du bruit thermique. En pratique, n'ayant pas accès à celle-ci, elle est estimée sur des cases distance adjacentes à la case distance pour laquelle la présence de cibles est testée. Ces cases constituent l'intervalle d'apprentissage. Pour assurer une bonne réjection du fouillis, cet intervalle doit être convenablement choisi afin d'assurer un certain niveau de ressemblance, ou d'homogénéité, entre le fouillis de la case sous test et celui des données d'entraînement. Constituer un tel intervalle n'est pas évident, voir impossible pour certains modes radar. De nombreux algorithmes STAP ont ainsi été développés en vue d'être utilisés dans des environnements hétérogènes. Les articles suivants s'intéressent ainsi particulièrement à cette problématique.

En premier lieu, l'article (Bidon *et al.*, 2011a) fait une synthèse des causes d'hétérogénéité et présente les quatre principales stratégies mises en œuvre pour lutter contre celle-ci. Pour fixer les idées, les pertes en performances d'algorithmes classiques basés sur l'hypothèse d'homogénéité sont illustrées par des simulations simples sur des données générées suivant le modèle classique présenté dans (Bidon, 2011) et sur les données de la DGA/MI. Également, afin d'illustrer l'intérêt de la mise en commun de données au sein du club STAP, on s'intéresse aux performances d'un algorithme bayésien, récemment développé, qui utilise de la connaissance *a priori* sur le fouillis et qui incorpore un nouveau modèle d'hétérogénéité. L'utilisation des données de la DGA/MI permet de conforter les tendances observées pour cet algorithme sur des données moins réalistes.

Les deux articles (Ovarlez *et al.*, 2011b ; Ginolhac *et al.*, 2011) suivants présentent de nouveaux estimateurs et détecteurs STAP basés sur l'une des quatre stratégies de lutte contre l'hétérogénéité et qui consiste à intégrer un modèle d'hétérogénéité dans le design du détecteur. Le modèle d'hétérogénéité considéré dans ces deux articles est le modèle SIRV (*Spherically Invariant Random Vectors*) qui permet de rendre compte de fluctuations impulsives de la puissance du fouillis que l'on peut observer, par exemple pour des systèmes radar à haute résolution.

L'article (Marcos *et al.*, 2011), quant à lui, étudie les performances d'un algorithme récemment développé par les auteurs – la méthode FAPI (*Fast Approximate Power Iteration*) – sur les signaux fournis par la DGA/MI. L'algorithme réunit deux des stratégies de lutte contre l'hétérogénéité : il intègre un modèle d'hétérogénéité en supposant que le sous-espace interférence est linéaire à l'ordre 1 en fonction de la distance, également il nécessite peu de données secondaires et se range dans la classe des techniques à rang réduit.

L'article (Petitjean *et al.*, 2011) présente un algorithme ne nécessitant que peu de données secondaires en supposant que les interférences sont structurées. Plus précisément, un modèle auto-régressif (AR) est considéré. L'originalité de l'algorithme réside en l'estimation des coefficients AR via un filtrage de Kalman. Les performances obtenues sur les données de la DGA/MI montrent que les coefficients obtenus par cette méthode permettent de mieux mettre en valeur la cible en sortie de filtrage STAP.

Enfin, dans un cas où les données seraient trop hétérogènes, il peut être approprié de s'orienter vers des méthodes n'utilisant pas de données secondaires. C'est vers cette stratégie que s'oriente l'article (Savy *et al.*, 2011) clôturant ce numéro. Les auteurs proposent ainsi une version modifiée d'un détecteur sans données secondaires décrit récemment dans la littérature. Les performances sont illustrées sur les données de la DGA/MI et sur les données de l'ONERA.

STÉPHANIE BIDON  
Université de Toulouse

JEAN-PHILIPPE OVARLEZ  
ONERA, the French Aerospace Lab

SYLVIE MARCOS  
LSS, Université Paris Sud, Supélec

