

# Régularisation, extraction d'informations et interprétation en imagerie SAR multi-modalités

## 1 Contexte

L'imagerie radar entre dans un nouvel âge d'or avec le lancement de 4 nouveaux capteurs entre 2007 et 2008 : ALOS (satellite japonais polarimétrique en bande L), TerraSAR-X (capteur allemand en bande X), Cosmo-SkyMed (constellation de 4 radars en bande X opérés par l'Italie) et RadarSAT-2 (capteur canadien polarimétrique). Les nouvelles données acquises ont une résolution de l'ordre du mètre et des potentiels interférométriques et polarimétriques accrus. Malgré ces améliorations, l'exploitation de ces données reste difficile. Paradoxalement, le gain en résolution a soulevé de nouveaux problèmes en exacerbant les spécificités de ce capteur : exceptionnelle dynamique, sur-représentation des échos forts en milieu urbain, distorsions géométriques. La difficulté d'interprétation des données SAR reste entière, nécessitant la prise en compte de la géométrie, de la hauteur des objets et de leur rugosité pour aboutir à une compréhension de la scène.

Parallèlement, les techniques de traitement d'images évoluent constamment. Parmi les nouveaux développements, les approches par coupure minimale remises à jour dans [14] ont permis la mise au point d'algorithmes d'optimisation efficaces pour les méthodes de régularisation. De nouveaux types d'approches comme les NL-means (moyennes non locales, qui consistent à aller chercher dans un voisinage étendu des fenêtres similaires) [3] ont également vu le jour. Toutes ces méthodes de régularisation devraient permettre une meilleure exploitation des données radar aussi bien en amplitude, qu'interférométriques, voire polarimétriques.

L'objectif de ce travail doctoral est de contribuer à l'exploitation des nouvelles données radar qui seront acquises dans les 10 prochaines années. L'axe de recherche principal sera la régularisation de différents types de données radar en développant de nouvelles méthodologies s'appuyant sur les développements récents du traitement d'images. Un des objectifs sera notamment la définition de mesures de similarité adaptées à l'imagerie radar pour différentes modalités. Ces approches seront ensuite exploitées pour construire une interprétation de la scène radar intégrant un modèle de représentation. Le LTCI devrait disposer de données TerraSAR-X [11] et CSK [13] dans le cadre des appels d'offres du DLR et de l'ASI.

## 2 Régularisation de données d'amplitude et polarimétriques

Un premier axe de recherche concernera la régularisation de données d'amplitude. La prise en compte du bruit multiplicatif présent sur les images radar nécessite le développement de nouvelles méthodes, que ce soit dans le cadre des approches par

minimisation d'une fonctionnelle bien choisie, ou de celles s'appuyant sur des moyennes non-locales. Dans le premier cas, on étudiera en particulier le modèle minimisant la variation totale ainsi que la perte de contraste inhérente [10]. Une solution pour le résoudre pourrait être l'exploitation des fonctions nivelables (i.e qui se décomposent sur des ensembles de niveaux) proposées dans [4]. On étudiera également l'influence du modèle (variation totale, quadratique tronquée, phi-fonction, etc.) et de la méthode d'optimisation sur les résultats obtenus. Dans le second cas (NL-means), il s'agira de définir un terme de similarité adapté à la distribution des données SAR pouvant remplacer avantageusement l'EQM (ou de façon équivalente le coefficient de corrélation centré normé) utilisée dans [3]. Les passages en données logarithmiques ainsi que les algorithmes qui en découlent seront également étudiés.

L'adaptation aux données polarimétriques peut se faire de plusieurs manières : d'une part en considérant les méthodes précédentes de façon vectorielle (avec 4 canaux en amplitude ou en complexe), d'autre part en exploitant les distributions des données polarimétriques (loi de Wishart). Une extension vectorielle de TV a déjà été proposée par [5] dans un autre contexte et elle pourra être adaptée à ce type de données. Le principe est de tenir compte des discontinuités dans les différents canaux lors de la définition du critère de régularisation. Parallèlement, la définition d'une mesure de similarité polarimétrique aurait un grand intérêt aussi bien directement pour améliorer la lisibilité des images dans des approches de débruitage, que pour des approches radargrammétriques. Des approches directement statistiques ou au contraire passant par le calcul de paramètres physiques intermédiaires peuvent être envisagées.

### 3 Régularisation de données interférométriques

Un second axe de recherche s'attachera au traitement des données interférométriques. Une nouvelle méthodologie de construction des interférogrammes sera étudiée. En effet, l'interférométrie traditionnelle repose sur le moyennage du produit hermitien entre les deux images complexes sur une petite fenêtre de taille fixe. La phase de ce moyennage donne la phase interférométrique quand son module fournit la cohérence, qui est considérée comme une mesure de la corrélation entre les deux images et donc de la fiabilité de la phase interférométrique. Cette étape dégrade de façon irréversible la résolution de l'interférogramme comparativement à la résolution nominale de l'image. Nous proposons d'étudier les alternatives à ce moyennage hermitien, permettant d'améliorer la résolution de l'interférogramme tout en préservant sa qualité, notamment la réduction du bruit par rapport à un produit hermitien pixel à pixel. Les deux familles d'approches précédentes envisagées pour les données d'amplitude ou polarimétriques peuvent se généraliser. Les approches par minimisation de fonctionnelle doivent tenir compte de la nature complexe des données et notamment le repliement de la phase. Une grande variété de fonctionnelles peut ainsi être définie en fonction des grandeurs utilisées et des modèles de régularisation choisis. Parallèlement, les algorithmes d'optimisation associés, issus du domaine discret comme les approches par coupure minimale ou du domaine continu à base d'EDP, doivent être étudiés. Une possibilité est notamment le couplage phase / amplitude dans les approches de régularisation comme dans [5].

Concernant les approches par moyennes non locales, à nouveau toute la difficulté réside dans la définition du critère de similarité entre signaux interférométriques. La complexité des distributions peut rendre rédhitoires des approches purement statistiques mais des schémas itératifs comme dans [9] pourraient constituer une solution.

L'exploitation des données brutes pour la création de l'interférogramme sera également envisagée. Cette piste reste une piste prometteuse qui s'affranchirait de la synthèse SAR, étape préalable à la construction des images Single Look Complex. Des tests pourront être menés sur des données ERS, les données brutes n'étant pour l'instant pas accessibles pour tous les capteurs. Dans le même esprit, le découpage en sous-bandes azimutales et la stabilité des cibles dans ces sous-bandes pourraient être exploités dans la création et la régularisation des interférogrammes [6] [12].

## 4 Interprétation des scènes SAR

Tous les traitements précédents tendent vers une meilleure interprétation des données SAR. Néanmoins, il s'agit de traitements de bas-niveau, proches du signal, qui n'intègrent pas de connaissances sur la scène imagée, sur les objets potentiellement présents et les relations entre ces objets [1] [2] [8]. Dans cette partie du travail doctoral, l'objectif est d'enrichir le signal en utilisant une représentation simple d'une scène urbaine pour aboutir à une interprétation. Cette représentation peut être déduite d'une description linguistique du contenu potentiel de l'image. Des approches à base de graphes permettant notamment de gérer l'incertitude sur les objets et leurs relations spatiales seront envisagées. Des outils de prédiction et de simulation à l'aide de modèles électro-magnétiques pourraient également contribuer à la définition d'un schéma d'interprétation de la scène [7].

Cette thèse sera aussi l'occasion de développements plus théoriques sur le raisonnement spatial. Celui-ci consiste à manipuler des entités spatiales et des relations entre ces entités en vue de produire de nouvelles interprétations de l'espace et donc de nouvelles connaissances. Ce raisonnement prend une grande importance dans le champ de l'interprétation automatique des images, de la robotique, de la vision par ordinateur et de l'indexation multimédia. Dans ce cadre, un des objectifs sera de développer des outils de représentation de l'information bipolaire et de raisonnement sur ce type d'information. L'information bipolaire se caractérise par une partie positive (par exemple une zone possible pour un objet) et une partie négative (par exemple une zone interdite), les deux n'étant pas nécessairement duales l'une de l'autre. Ces notions ont été explorées en intelligence artificielle récemment (dans des cadres flous, possibilistes, des bi-capacités, etc.) mais restent très peu explorées dans le cadre du raisonnement spatial. L'analyse formelle de concepts, qui permet d'associer des classes d'objets à des propriétés d'objets, se formalise à l'aide de concepts algébriques (relations algébriques liant l'objet et ses propriétés) proches de ceux utilisés en morphologie mathématique. L'exploitation de ces liens associée à la notion de bipolarité constitue une piste prometteuse pour l'interprétation de la scène radar.

## 5 Encadrement et collaborations

Cette thèse aura lieu au LTCI, à Télécom parisTech au sein du Département Traitement du Signal et des Images. L'encadrement sera assuré par Florence Tupin, Maître de Conférences à TELECOM ParisTech, habilitée à diriger des recherches. Isabelle Bloch, Professeur à TELECOM ParisTech, sera co-encadrante de la thèse et suivra notamment les aspects de raisonnement spatial et de gestion de l'incertain dans la partie interprétation des données SAR.

Deux types de collaborations extérieures pourront avoir lieu dans le cadre de cette thèse :

- une collaboration avec Loïc Denis, enseignant-chercheur à CPE-Lyon, notamment sur les aspects de régularisation et de définition des critères de similarité; cette collaboration a été initialisée dans le cadre de l'encadrement de stage de Master du candidat ;
- une collaboration avec l'équipe italienne de Daniele Riccio (Université de Naples), experte en simulation d'images radar à partir de modèles de milieu urbain (coopération dans le cadre d'un projet PHC Galilée avec l'Italie).

## Références

- [1] I. Bloch. Fuzzy Spatial Relationships for Image Processing and Interpretation : A Review. *Image and Vision Computing*, 23(2) :89–110, feb 2005.
- [2] I. Bloch. Spatial Reasoning under Imprecision using Fuzzy Set Theory, Formal Logics and Mathematical Morphology. *International Journal of Approximate Reasoning*, 41(2) :77–95, feb 2006.
- [3] A. Buades, B. Coll, and J.-M. Morel. Nonlocal Image and Movie Denoising. *International Journal of Computer Vision*, 10 :101–117, 2007.
- [4] J. Darbon. *Composants logiciels et algorithmes de minimisation exacte d'énergies dédiées au traitement des images*. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (ENST E050), 2005.
- [5] L. Denis, F. Tupin, J. Darbon, and M. Sigelle. Régularisation d'images SAR par minimisation discrète approchée rapide. Technical report, École Nationale Supérieure des Télécommunications, 2007-C002 (article soumis à IEEE Transactions on Image Processing), sept 2007.
- [6] L. Ferro-Famil, A. Reigber, E. Pottier, and W. Boerner. Scene characterization using subaperture polarimetric SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(10) :2264–2276, 2003.
- [7] G. Franceschetti, A. Iodice, and D. Riccio. A canonical problem in electromagnetic backscattering from buildings. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(8) :1787–1801, 2002.
- [8] C. Hudelot, J. Atif, and I. Bloch. Fuzzy Spatial Relation Ontology for Image Interpretation. *Fuzzy Sets and Systems*, 2007.

- [9] C. Kervrann and J. Boulanger. Local adaptivity to variable smoothness for exemplar-based image denoising and representation. *International Journal of Computer Vision*, 2007.
- [10] S. Osher, M. Burger, D. Goldfarb, J. Xu, and W. Yin. An Iterative Regularization Method for Total Variation Based Image Restoration. *SIAM journal on Multiscale modeling and Application*, 4 :460–489, 2005.
- [11] P.Gamba, F. Tupin, D. Soergel, D. Carrasco, P. Oliver, and P. Lombardo. Mapping and monitoring human settlements via high resolution SAR data. Technical report, Accepted proposal for TerraSAR-X data, 2008.
- [12] F. Tupin and C. Tison. Sub-aperture decomposition for SAR urban areas analysis. In *EUSAR 2004*, pages 431–434, Ulm (Allemagne), may 2004.
- [13] F. Tupin, C. Tison, and U. Soergel. Monitoring of urban areas by X band SAR interferometry and by joint use of optical and SAR images. Technical report, Proposal for CosmoSkyMed data, 2008.
- [14] O. Veksler. *Efficient graph-based energy minimization methods in computer vision*. PhD thesis, Cornell University, 1999.