

Ecole Doctorale
MathSTIC

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Avis de soutenance

Monsieur HAMOUDA Atef

présentera ses travaux en vue de l'habilitation à diriger des recherches, sur le sujet suivant :

"Classification et extraction d'objets d'intérêt"

Le mardi 12 octobre 2021 à 10h

la soutenance est dématérialisée en visioconférence.

Le jury sera ainsi composé :

- **M. HAMROUNI KAMEL, Professeur**
Université Tunis El-Manar - TUNIS
- **M. HATON JEAN-PAUL, Professeur des universités**
Université de Lorraine - VANDOEUVRE-LES-NANCY
- **M. KHENCHAF ALI, Professeur des universités**
ENSTA Bretagne - BREST
- **M. RIADH FARAH IMED, Professeur**
campus universitaire La Manouba -
- **M. SOLAIMAN BASEL, Professeur**
IMT Atlanti. Bretagne Pays Loire - BREST
- **M. ZAHZAH EL HADI, Professeur**
Université de la Rochelle - LA ROCHELLE

A BREST, le 01 octobre 2021

Le Président de l'Université de
Bretagne Occidentale,



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Gallo'.

M. GALLOU

**PRÉSENTATION DE TRAVAUX EN VUE DE L'OBTENTION
DE L'HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES**

Auteur : ATEF HAMOUDA,

**Maitre assistant à la FST Tunisie, membre du LIPAH et chercheur
associé à l'IMT Atlantique**

Intitulé : Extraction d'objets d'intérêt et Classification

Jury :

Pr Ali Khenchaf	ENSTA Bretagne
Pr Basel Solaiman	IMT Atlantique Bretagne
Pr Kamel Hamrouni	ENIT Tunis
Pr Jean Paul Haton	Henri-Poincaré Nancy
Pr El Hadi Zahzah	Université de la Rochelle
Pr Imed Riadh Farah	ISAMM Manouba Tunisie

Résumé :

Les travaux que j'ai menés dans le cadre de mon HDR s'articulent autour de trois axes qui sont :

- Théorie des fonctions de croyance, estimation des distributions de masse et fusion de sources d'information.
- Transformée de Radon généralisée et applications.
- Extraction d'objets d'intérêt dans les images T.H.R

1) TFC, Estimation des distributions de masse et fusion de sources d'information.

La disponibilité d'une multitude de sources d'informations pour les scènes d'étude impose plus de précisions et de fiabilité pour les résultats des classifieurs. Vu l'insuffisance des informations issues d'une seule source (incertitude et imprécision), la tendance dans les recherches actuelles est penchée vers des approches de classification multi-sources. Chaque source de données apporte une information complémentaire et l'ensemble pourra constituer une base plus riche dans la phase de décision.

C'est ainsi que nous nous sommes intéressés au domaine de la fusion de sources d'information et au choix d'un formalisme de fusion. La théorie des fonctions de croyance (TFC) est celle que nous avons retenue, elle est la plus récente et dont les recherches ont montré qu'elle intègre les théories des probabilités et des possibilités en tant que deux de ses cas particuliers. La TFC se base sur des fonctions de masse qui expriment la confiance accordé à un évènement. Ces fonctions dépendent du cas d'application et nécessitent un travail minutieux d'estimation conformément au formalisme de la TFC.

Toutefois, une limite majeure de l'application de la TFC dans la fusion de sources d'informations est la complexité combinatoire qui croît proportionnellement avec le nombre de classes et le nombre de sources et qui pose une contrainte surtout quand on s'attaque à des volumes importants de données.

Un autre aspect de la fusion est le conflit entre sources d'informations. Ce conflit caractérise deux ou plusieurs informations conduisant à des interprétations contradictoires et donc incompatibles.

Le premier axe de nos travaux s'est donc orienté vers la fusion de sources d'information et l'application de la TFC. Les travaux que nous avons réalisés dans cet axe peuvent être résumés comme suit :

- **Fusion de sources d'information pour la cartographie d'une scène forestière :**

Nous avons proposé l'architecture d'un système de fusion qui s'appuie sur des méthodes d'estimation des fonctions de masse basées sur des approches spectrales, texturales, contextuelles et structurelles. Pour la première partie de cet axe nos contributions se résument dans :

⇒ La proposition d'une méthode de réduction du référentiel de définition permettant

de réduire la complexité des calculs de masses et d'éviter l'explosion combinatoire. La méthode proposée réduit considérablement le temps de calcul puisqu'il ne s'agit plus de calculer toutes les masses pour exclure dans une deuxième phase les propositions (classes ou union de classes) de masses non nulles, mais de restreindre le calcul sur les classes et les sous-ensembles de classe du référentiel de définition réduit déterminé initialement à partir des histogrammes des classes issus de la phase d'apprentissage.

- ⇒ La proposition de techniques d'estimation de fonctions de masse : spectrale, texturale, contextuelle et structurelle. L'information de texture souvent omise dans le calcul des fonctions de masse s'avère importante et la comparaison des matrices de confusion (avec et sans texture) prouve l'apport de l'utilisation des exposants de singularité de l'image de Hölder dans l'amélioration de la qualité de la classification et la diminution de la confusion entre classes.
- ⇒ L'exploitation d'une source déduite de l'image des couronnes d'arbre et la proposition d'une approche de transfert de masse basée sur l'information contextuelle intérieure et extérieure d'une couronne.
- ⇒ La proposition d'une architecture d'un système de fusion basé sur un processus qui applique des prétraitements sur les sources initiales et converge vers la classification des sources image haute résolution.

- **Fusion de sources multi-temporelles pour l'analyse du changement :**

Il s'agit d'une application qui vise à extraire le changement à partir d'une séquence d'images multi-temporelles en s'appuyant sur une estimation des fonctions de masses basées sur des centroïdes de classes sémantiques. Etant donné le cadre non supervisé, les classes sont obtenues à travers un algorithme de clustering multi-centroïde que nous avons proposé. Le conflit entre les deux sources (images bi-temporelles) est utilisé pour définir une métrique pour le changement. Pour la deuxième partie nos contributions ont été axées sur les volets suivants :

- ⇒ Proposition d'un nouvel indice flou de validité de clustering pour la détermination du nombre de classes dans une image.
- ⇒ L'implication du nouvel indice de validité de clustering dans un algorithme d'évaluation bi-indices pour assurer une meilleure évaluation et détermination du nombre optimal de classes.

- ⇒ Proposition d'un algorithme de clustering multi-centroïdes pour obtenir une meilleure discrimination et définition des classes sémantiques
- ⇒ Estimation de la fonction de masse à partir des informations issues de l'algorithme de clustering proposé
- ⇒ Contribution théorique dans l'analyse et l'interprétation du conflit évidentiel
- ⇒ Décomposition du conflit global en un ensemble de conflits partiels tout en classant ces derniers par types
- ⇒ Mesure du changement à l'aide du conflit partiel
- ⇒ Mise en place d'un algorithme dédié pour la déduction de la carte binaire de changements et les directions à partir de la carte de conflit partiel ;
- ⇒ Application et évaluation de l'approche proposée avec des changements intentionnels et d'autres réelles.

- **Distribution de masse pour le large échelle :**

Il s'agit d'un travail dédié au calcul des distributions de masse pour les données volumineuses et qui consiste à réduire la complexité des calculs en projetant l'espace relatif aux sources sur une carte de Kohonen et profiter de ce cadre réduit pour l'estimation des distributions de masse. Pour cette dernière partie de cet axe nous avons introduit une nouvelle méthode dédiée à l'estimation de la fonction de masse.

L'approche proposée a la particularité de traiter les volumes importants de données qui caractérisant les images de télédétection à haute résolution. Sur la base de la carte de Kohonen, une simplification de l'espace d'entrée a été appliquée pour gérer intelligemment l'affectation des masses. Contrairement aux approches existantes, la méthode exploite toute la puissance conceptuelle de la TFC en permettant de traiter des données incertaines et paradoxales pour les singletons des classes, les conjonctions et les disjonctions. De cette manière, nous garantissons une modélisation précise et fidèle des données imparfaites utilisées pour l'interprétation de la scène observée.

2) Transformée de Radon généralisée et applications

Le deuxième axe nos travaux s'est orienté vers la transformée de Radon pour l'exploiter dans l'extraction de formes d'objets complexes. Une étude théorique sur cette transformation a été engagée pour la généraliser et pour qu'elle soit capable de caractériser, non seulement des courbes classiques, mais plutôt des formes complexes ce qui ouvre un champ vaste de son application.

Cet axe couvre trois parties essentielles qui sont :

- **Transformée de Radon généralisée :**

Nous introduisons une transformée qui est à la fois discrète, multidirectionnelle et exactement inversible. Cette généralisation, appelée GMDRT permet une projection multidirectionnelle suivant des formes et des courbes arbitraires. Nous définissons aussi la transformée de Radon généralisée multi échelle qui combine la GMDRT et une transformée en ondelette. Elle permet, dans l'espace de Radon, de mettre en valeur des formes apprises, indépendamment de leur échelle. Nous présentons une première contribution dans le problème de la reconnaissance d'empreintes digitales utilisant la transformée de Radon polynomiale discrète (PDRT). S'éloignant des méthodes traditionnelles de recherche des minuties, une nouvelle signature de caractéristique globale des courbes du squelette de l'empreinte est proposée.

Les deux approches PDRT et GMDRT que nous avons proposé se caractérisent par trois aspects intéressants :

- ⇒ L'aspect modèle : Chaque point de l'espace transformé de Radon correspond à un modèle dans l'espace spatial. Il est le résultat de la somme des pixels appartenant au modèle. Ainsi, l'étude des points dans l'espace transformé de radon permet de dégager des informations intéressantes sur les modèles existants dans l'espace de l'image à savoir : la localisation, les paramètres et l'orientation des modèles. La dualité point/modèle (ou la capacité de concentration d'énergie) s'avère ainsi très avantageuse dans le domaine de la reconnaissance des formes.
- ⇒ La Composition directionnelle : la Transformée de Radon Discrète Généralisée Multi-directionnelle est fondée sur la décomposition directionnelle de l'information. En approfondissant le raisonnement, l'opérateur direct va d'une certaine manière concentrer en un seul point la somme des pixels dans la direction de la courbe choisie. Le domaine transformé de Radon se constituera au fur et à

mesure que les courbes effectuent une rotation, selon le même principe utilisé dans la Transformée de Radon classique.

⇒ La réversibilité exacte : Cette spécificité est extrêmement importante, notamment pour des domaines d'application comme le codage, la compression et le débruitage de l'image.

- **Descripteur de forme conique (CRT) :**

Ce descripteur exploite l'intégration d'une fonction image sur des courbes de diverses équations. En effet, la plupart des travaux en reconnaissance de formes utilisant Radon s'appuient sur des courbes de forme fixe, ce qui limite les champs d'application du descripteur. Ce descripteur prenant en compte un espace Radon étendu à des formes multiples caractérise au mieux l'information globale des objets et s'avère plus riche en information sur les propriétés géométriques liées à l'image.

L'une des applications que nous considérons importante dans ce travail consiste à faire appel aux réseaux profonds pour étudier l'apport de la transformée conique dans la caractérisation de la forme de l'objet. Au lieu d'utiliser les réseaux profonds sur les images initiales nous l'avons utilisé sur la transformée de Radon conique, ainsi le réseau ne travaille pas dans le domaine visuel mais dans un espace de Radon associé à l'image.

- **Application de la transformée de Radon dans l'analyse de la parole :**

Ce travail nous a permis de mettre en application notre spécialisation en traitement d'image au service de l'analyse de la parole. Afin de disposer d'une représentation capable de préserver la richesse du signal de la parole, nous introduisons les spectrogrammes à multi-résolution et nous utilisons la transformée de Radon pour détecter les formants des phonèmes.

Le support de l'analyse étant une représentation dans le domaine temps/fréquence. Notre apport a focalisé d'abord sur la proposition d'une amélioration du spectrogramme classique, tout en conservant les avantages du spectrogramme à bande large et du spectrogramme à bande étroite et de les exploiter dans le cadre d'une même représentation. Il s'agit, en effet, du spectrogramme à multi-résolution que nous utilisons pour chercher des pics Radon correspondant aux formants des phonèmes étudiés.

3) Extraction d'objets d'intérêt dans les images T.H.R

Le troisième axe de nos travaux a porté sur l'extraction d'objets d'intérêt dans les images numériques. Pour les images de télédétection de très haute résolution fournies par les nouveaux capteurs, l'extraction des structures en milieu urbain occupe une importance accrue pour la cartographie automatique. Nous nous sommes intéressés à cette thématique et nous avons travaillé sur des approches d'extraction du réseau routier et des bâtiments à partir des images de télédétection. Une attention a été portée aussi au problème d'extraction d'objets d'intérêt dans les images 3D, nous avons en effet expérimenté des méthodes d'extraction du ribosome dans des images biologiques.

Cet axe peut être résumé par ces trois parties :

- **Extraction du réseau routier :**

Les méthodes classiques utilisant des images à moyenne résolution s'avèrent inappropriées et nous avons proposé d'autres méthodes pour le cadre de la haute résolution. Ces méthodes concernent les deux phases de localisation et de suivi. Pour la localisation nous avons introduit une approche vectorielle et une approche basée sur une méthode surfacique, multi-échelles et multi-directions. Pour le suivi nous avons proposé une méthode de reconstruction basée sur les courbes NURBS. L'atout majeur de cette méthode de reconstruction est l'exploitation des fonctions NURBS considérées comme des outils performants dans la modélisation des courbes et surfaces.

Pour l'extraction du réseau routier, l'algorithme proposé exploite différentes caractéristiques des images de télédétection et des structures linéaires pour réaliser des performances satisfaisantes. En effet, information spectrale, approche géométrique, approche fréquentielle, organisation visuelle et approximation NURBS prennent part aux résultats finaux obtenus.

Nos contributions dans cette partie concernent :

- ⇒ La proposition d'un algorithme de localisation de routes qui utilise une technique géométrique basée sur la vectorisation. L'originalité de cet algorithme réside dans la manipulation du format vectoriel obtenu après triangulation par la définition d'un formalisme logique rigoureux permettant le filtrage des arêtes des triangles tout en préservant les contraintes linéaires qui ont conditionné la triangulation.

- ⇒ La proposition d'un algorithme de localisation basé sur l'exploitation du potentiel de la théorie des ondelettes, particulièrement les deux volets multi-résolution et multi-direction. Le processus de reconnaissance des routes est piloté par un système logique de décisions bâti sur les principes de gestaltisme géométrique et du principe de vote.
- ⇒ La définition d'une tolérance pour le modèle théorique envers la forme des routes pour permettre de localiser des portions ayant des trajectoires aléatoires : curviligne et circulaire (les carrefours) ce qui était impossible avec les méthodes classiques qui se limitaient à la recherche des structures linéiques.
- ⇒ La proposition d'un algorithme pour l'extraction et la modélisation avec des courbes B-Splines Rationnelles Non Uniformes (NURBS) des réseaux routiers. L'algorithme exploite différentes caractéristiques des images de télédétection et des contraintes géométriques des réseaux, son atout majeur est l'exploitation des fonctions NURBS pour la phase de suivi.

- **Extraction des bâtiments :**

Cette extraction a été traitée dans le cadre d'une approche interactive entre l'étape de segmentation et l'étape de classification. Nous avons introduit des méthodes d'extraction et nous les avons appliqués sur des images de grande concentration urbaine. Deux approches d'extraction ont été introduites, la première fondée sur la croissance de région hiérarchique basée sur la classification qui consiste à décomposer l'image en un ensemble d'objets homogènes selon des critères bas niveau et l'extraction de la zone de croissance selon la classe du germe. La seconde s'appuie sur la croissance hiérarchique sémantique utilisant les connaissances géométriques des classes, la transformée de Radon a été utilisée pour extraire les structures linéaires dans l'image. Un système multi-agent a été introduit pour l'extraction d'objets et qui intègre l'aspect sémantique dans la segmentation en modélisant les connaissances expertes dans le processus d'extraction.

Les contributions dans cette partie concernent :

- ⇒ La proposition d'une approche de segmentation par région hiérarchique basée sur la classification. Nous avons visé les problèmes des algorithmes de croissance de régions, à savoir, la gestion des germes de départ et le choix des critères de croissance. Le choix des germes de départ s'est basé sur un score de similarité. Concernant le choix des critères de croissance, il ne sera plus générique pour tous

les germes de départ mais spécifique à la classe du germe. Ceci permettra d'intégrer la sémantique dans le processus de croissance.

- ⇒ La proposition d'une approche multi-agents évolutionnaire coopérative région contour. Des agents région et contour sont modélisés afin de détecter les objets d'intérêts dans l'image. Le problème rencontré avec cette collaboration est le paramétrage des agents région et contour. Afin d'y remédier, nous avons proposé d'introduire une évolution locale pour chaque agent en se basant sur les algorithmes génétiques. Ceci a permis de gérer chaque objet d'une façon locale offrant ainsi une meilleure adaptation aux différents paramètres pouvant changer les propriétés intrinsèques de l'objet comme le bruit ou les occlusions.
- ⇒ L'expérimentation des approches proposées pour l'extraction des bâtiments et des routes. L'apport concernant la classe bâtiment est basé sur l'intégration de templates dynamiques pour limiter l'espace de croissance. Une fois cet espace généré, une croissance fondée sur une fonction de fitness est appliquée afin d'extraire le bâtiment. Concernant la classe route, nous nous sommes basés sur ses propriétés intrinsèques, à savoir que les routes sont rectilignes par morceau et qu'elles sont assez homogènes. L'application de la transformée de Radon sur chaque germe permet d'extraire la direction de la route. Finalement la croissance est appliquée sur le critère d'homogénéité.

- **Extraction des ribosomes :**

Ce travail a été orienté vers les images tomographiques biologiques pour la segmentation et l'extraction des structures d'intérêt élémentaires (essentiellement des ribosomes) présentes dans des images 3D provenant de cryo tomographie électronique. L'un des défis majeurs pour les chercheurs en biologie concerne en effet l'étude des cellules dans leur milieu naturel et la compréhension de leurs structures internes. Nous nous sommes intéressés particulièrement à l'étape de reconnaissance qui est fondamentale pour les experts qui aspirent à des méthodes automatiques d'extraction du contenu d'intérêt des images tomographiques pour le besoin d'analyse et d'interprétation.

Nous avons été amenés dans le cadre de ce travail à étudier les principaux problèmes posés par les images tomographiques et particulièrement ceux qui se rattachent aux images biologiques acquises par des microscopes électroniques en transmission. Nous avons introduit une approche d'extraction des ribosomes de l'image tomographique. Cette extraction est basée sur un système qui intègre une phase d'application d'une

transformée sur les données initiales et une phase de classification supervisée s'appuyant sur des zones d'apprentissage pour le ribosome. Nous avons montré l'efficacité de l'analyse multi-fractale et son apport dans l'amélioration de la qualité de l'image et l'homogénéité locale. L'image transformée étant utilisée comme entrée pour notre classifieur probabiliste. Les résultats obtenus pour l'extraction des ribosomes à partir de l'image 3D soutiennent les choix retenus et la capacité de l'approche proposée à dégager une information sur le ribosome contenu dans le volume 3D.