

Invitation à la soutenance de thèse

CARTOGRAPHIE DES ESSENCES D'UNE FORÊT PAR COMBINAISON DE DONNÉES OPTIQUES MULTIMODALES MAPPING OF FOREST SPECIES BY COMBINING MULTIMODAL OPTICAL DATA

Matthieu Deluzet

Le 4 avril 2023 à 14h

ISAE- 10 Av. Edouard Belin, 31400 Toulouse
Salle des thèses

Devant le jury composé de :

M. Rodolphe MARION	CEA	Rapporteur
M. Sébastien GADAL	Université Aix-Marseille	Rapporteur
M. Didier GALOP	CNRS	Examineur
Mme Elodie MAGNANOU	Observatoire Banyuls/Mer	Examinatrice
Mme Sophie FABRE	Onera	Directrice de thèse
M. Xavier BRIOTTET	Onera	Co-Directeur de thèse
M. David SHEEREN	Dynafor/ENSAT	Encadrant

Résumé

La cartographie des essences d'arbres de forêts tempérées est une étape importante pour mieux comprendre l'impact du changement climatique sur ces écosystèmes. La télédétection optique permet de réaliser cette cartographie automatiquement à grande échelle. Trois types d'informations sur le couvert forestier sont d'intérêt pour discriminer les essences d'arbres : les informations spectrales, spatiales et temporelles. L'information spectrale, accessible à partir de données multispectrales ou hyperspectrales, renseigne sur la réflectance de surface de la canopée reliée à des paramètres bio-physico-chimiques de la végétation. L'information spatiale est liée d'une part à la structure du couvert forestier et obtenue à partir de données LiDAR (*Light Detection And Ranging*) et à sa texture obtenue par la très haute résolution spatiale. L'information temporelle, obtenue par des imageurs optiques passifs avec un fort taux de revisite, donne accès à des variations liées à la phénologie des essences sur une année. L'objectif de cette thèse est d'évaluer la combinaison de ces différents types d'informations complémentaires afin d'améliorer la cartographie des essences d'arbres d'une forêt tempérée. Pour cela, une démarche en deux étapes est retenue : la délimitation des couronnes d'arbres et l'identification de l'essence de chaque couronne segmentée.

Pour délimiter les couronnes, la méthode proposée combine des informations géométriques et spectrales afin de corriger les cas de sur-segmentation d'une segmentation initiale réalisée à partir de la méthode de référence *watershed*, très utilisée dans la littérature, appliquée à un modèle numérique de hauteur. La méthode a été appliquée sur trois sites de forêts tempérées (Bernadouze, Fabas et la Massane) ayant des caractéristiques différentes (diversité des essences, taille des couronnes, relief...) et a permis d'obtenir une augmentation de performance allant jusqu'à 25% par rapport à la méthode de référence. Cette méthode est évolutive par l'ajout de nouveaux critères.

Les travaux se sont ensuite concentrés sur la détection des hêtres de la forêt ancienne de la Massane et la classification des cinq essences d'arbres présentes sur ce site. Pour cela, une approche orientée objet a été mise en place à partir de la carte de délimitation réalisée au préalable en utilisant différents algorithmes de *machine learning*. Cette approche utilise des caractéristiques calculées à l'échelle de l'arbre sur une image RGB (*Red Green Blue*) de haute résolution spatiale (10 cm), un nuage de points LiDAR aéroporté (50 pts/m²) et une série temporelle d'images Sentinel-2. Les résultats montrent notamment que la combinaison des informations améliore les performances de classification des hêtres avec une précision globale de 85% (gain de 5% par rapport à une combinaison de données RGB et LiDAR).

Ces résultats démontrent l'intérêt de la combinaison de données pour la cartographie des forêts tempérées à l'échelle de l'arbre. Les approches proposées dans cette thèse pourront être appliquées à d'autres sites d'étude de forêts tempérées. Enfin, les données acquises par drones ou par de futurs instruments satellitaires, ayant des résolutions spatiales, spectrales ou temporelles plus fines, pourront être utilisées afin de rendre la cartographie plus précise.

Mapping tree species in temperate forests is an important step to better understand the impact of climate change on these ecosystems. Optical remote sensing allows this mapping to be done automatically on a large scale. Three types of information on the forest cover are of interest to discriminate tree species: spectral, spatial and temporal information. Spectral information, accessible from multispectral or hyperspectral data, provides information on the surface reflectance of the canopy linked to the bio-physical-chemical parameters of the vegetation. Spatial information is linked to the structure of the forest cover and obtained from LiDAR (Light Detection And Ranging) data and its texture obtained by very high spatial resolution. The temporal information, obtained by passive optical imagers with a high revisit rate, gives access to variations related to the phenology of the species over a year. The objective of this thesis is to evaluate the combination of these different types of complementary information in order to improve the mapping of tree species in a temperate forest. For this purpose, a two-step approach is used: delineation of tree crowns and identification of the species of each segmented crown.

To delineate tree crowns, the proposed method combines geometric and spectral information in order to correct the cases of over-segmentation of an initial segmentation carried out from the watershed reference method, widely used in the literature, applied to a digital height model. The method was applied to three temperate forest sites (Bernadouze, Fabas and La Massane) with different characteristics (species diversity, crown size, relief...) and resulted in a performance increase of up to 25% compared to the reference method. This method is scalable by adding new criteria.

The work then focused on the detection of beech trees in the old forest of La Massane and the classification of the five tree species present on this site. For this, an object-oriented approach was implemented from the delineation map previously made using different machine learning algorithms. This approach uses features computed at the tree scale on a high spatial resolution (10 cm) RGB (Red Green Blue) image, an airborne LiDAR point cloud (50 pts/m²) and a time series of Sentinel-2 images. The results show that the combination of information improves the classification performance of beech trees with an overall accuracy of 85% (5% gain compared to a combination of RGB and LiDAR data).

These results demonstrate the interest of combining data for mapping temperate forests at the tree scale. The approaches proposed in this thesis can be applied to other temperate forest study sites. Finally, data acquired

by UAV (Unmanned Aerial Vehicles) or future satellite instruments, with finer spatial, spectral or temporal resolutions can be used to make the mapping more accurate.

Mots clés

Télédétection, Cartographie, Forêts, Délimitation, Classification, RGB, LiDAR, Sentinel-2

