Résumé

Cette thèse s'intéresse à l'analyse spatio-temporelle d'images météorologiques satellitaires et s'articule autour de deux objectifs correspondant à des situations critiques en météorologie. Nous proposons tout d'abord une méthode statistique contextuelle de détection des nuages bas dans des séquences d'images infrarouges Meteosat acquises de nuit. Les observations retenues regroupent des informations de nature thermique et dynamique et sont exploitées au sein d'un modèle markovien menant à la segmentation contextuelle des zones d'intérêt des images en deux classes nommées "nuages bas" et "ciel clair". Une phase d'apprentissage non supervisé permet d'estimer les paramètres du modèle statistique correspondant à la composante thermique de l'attache aux données. Elle gère entre autre les non-stationnarités spatiales des températures de chaque classe. Une minimisation spécifique de la fonction d'énergie construite a été introduite. Elle a pour principe de propager l'information à partir des zones les plus fiables. Dans la seconde partie, nous avons développé une méthode permettant de détecter, de suivre et de caractériser l'état d'activité de cellules froides dites convectives. Le suivi est formulé comme l'évolution d'un contour fermé modélisée par le formalisme des "Ensembles de niveaux". L'équation d'évolution associée est formée de deux composantes agissant successivement. La première s'appuie sur un champ de vitesse 2D estimé et propage chacun des contours dans le sens du flot dominant. Le contour est ensuite déformé par la comparaison des températures locales avec la température caractéristique prédite de la cellule nuageuse à l'instant courant. Les contours peuvent ainsi se dilater ou se contracter en fonction du contexte photométrique local. L'analyse du comportement de deux descripteurs, correspondant à la divergence du mouvement dérivé du champ de vitesse 2D estimé et à la variation temporelle de température, permet de qualifier la tendance des mouvements verticaux associés aux cellules convectives. La caractérisation de l'activité convective à l'intérieur des contours est formulée comme un problème d'étiquetage contextuel en classes d'activité ("ascendance" ou "subsidence") ou de "non activité".

Mots clefs: Segmentation, étiquetage statistique contextuel, analyse et caractérisation du mouvement, champ de Markov, séquences d'images satellitaires météorologiques, suivi de structures déformables, ensembles de niveaux.

Abstract

This thesis work deals with the spatio-temporal analysis of meteorological satellite images with a view to assist meteorological nowcasting. It evolves two main issues. First, we propose a contextual statistical labeling method to detect low clouds in Meteosat infrared night-time images. We exploit relevant motion-based measurements as well as information on the thermal structure of the elements constituting the observed scene. A classification in two classes ("low clouds" and "clear sky") of relevant areas is embedded in a Bayesian estimation framework associated with Markov random field models. An unsupervised learning scheme concerning the thermal parameters associated to each class is developed; it allows us to take into account spatial non stationnarities of temperature. We also design a spatially-progressive minimisation procedure of the energy function starting from reliably labelled pixels. The second part is concerned with the tracking of convective clouds and the characterisation of their activity. The tracking process is embedded in the Level Set formulation. The associated evolution equation is composed of two components which act successively. The first one exploits a 2D estimated motion field in order to move contours in the direction of dominant motion. The second stage can produce, by using photometric information, appropriate expansion or contraction forces on the evolving contours to finally localize in every image the cold clouds of interest. The joint evaluation of the divergence information in the 2D estimated apparent motion and of the temporal changes in temperature leads to qualify the vertical tendency of convective motions. The characterisation stage is formulated as a contextual labeling problem in class of "activity" ("growing" or "declining") or of "inactivity".

Keywords: Segmentation, contextual statistical labeling, motion analysis and characterisation, Markov random field, meteorological satellite images, tracking of deformable structures, Level Set formulation.