Optimisation variationnelle discrète et applications en vision par ordinateur

Camille Couprie [1]

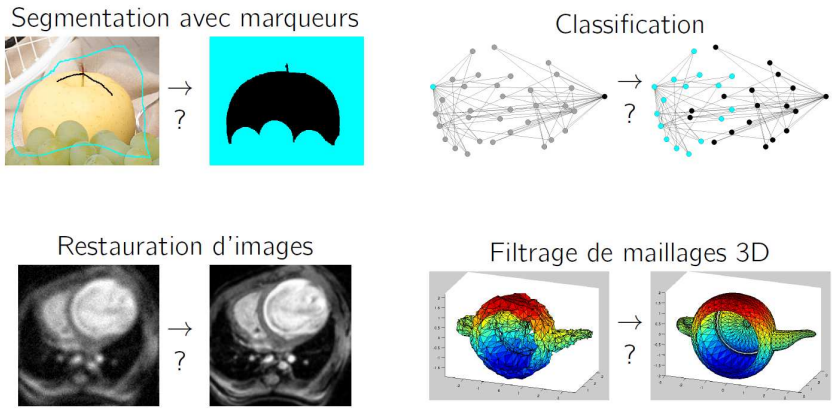
Camille Couprie a soutenu sa thèse en octobre 2011 à l'université Paris-Est, thèse réalisée au sein de l'équipe A3SI du Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge (LIGM), sous la direction de Hugues Talbot, Laurent Najman et Leo Grady. Elle a ensuite effectué un séjour post-doctoral au sein du Courant Institute of Mathematical Science (New York University) avec le Professeur Yann LeCun. Elle est actuellement Ingénieure de Recherche à IFP Energies Nouvelles.



Les besoins en traitement et analyse d'images sont présents dans de nombreux domaines (imagerie médicale, étude de matériaux, multi-média, etc.). Ces besoins incluent notamment la segmentation, c'est-à-dire l'extraction d'objets d'intérêt dans l'image, pour des applications de quantification, visualisation, etc. Pour traiter des images, une approche courante est de les assimiler à des graphes pondérés, les sommets du graphe étant localisés sur les pixels, et des arêtes reliant les pixels voisins.

Les méthodes basées sur les graphes pondérés permettent d'exprimer les informations nécessaires à la segmentation interactive comme des marqueurs, le gradient de l'image, ou la couleur des objets à segmenter. De ce fait, ces méthodes sont très générales et permettent l'optimisation de divers problèmes hormis la segmentation. On peut citer parmi les plus usitées les coupes minimales, le flot maximum continu, le marcheur aléatoire, et les plus courts chemins. Ces méthodes ont toutefois certains désavantages : les coupes minimales ont tendance à

1. http://www.esiee.fr/~coupriec



produire des contours suivant la grille carrée, ont une complexité super-linéaire, et sont limitées à la segmentation binaire dans le cadre classique.

La première partie de ma thèse a été consacrée à la proposition d'une nouvelle solution au problème de blocs produit par la méthode des coupes minimales pour la segmentation. Les coupes minimales peuvent être calculées au moyen de leur problème dual, consistant à calculer un flot maximum discret dans un graphe. L'introduction d'une nouvelle formulation du problème de flot maximum, basée sur le problème continu, nous permet d'éviter l'effet de blocs présent dans le cas des coupes minimales classiques. La méthode de point intérieur employée permet d'optimiser le problème plus rapidement que les méthodes existantes, et la convergence est garantie.

La formulation proposée a été ensuite efficacement étendue à la restauration d'image. Grâce à une approche duale contrainte et à l'emploi d'algorithmes proximaux parallèles, la méthode variationnelle proposée permet de restaurer des images, ainsi que des données arbitraires modélisées par des graphes, et préserve un meilleur contraste qu'avec la méthode de variation totale classique.

La seconde partie de ce doctorat a été consacrée à l'établissement de liens entre différentes méthodes de segmentation : les coupes minimales, le flot maximum continu, le marcheur aléatoire, et les plus courts chemins avec un algorithme de segmentation par ligne de partage des eaux (LPE).

La *Ligne de Partage des Eaux*, un algorithme de segmentation d'image classique dans des graphes, consiste à "inonder" l'image pour en extraire les contours dans les zones ou les différents bassins d'eau se rejoignent. Cette technique est très utilisée en imagerie du fait de sa complexité linéaire et de sa capacité à segmenter les images en un nombre arbitraire de régions.

Ces liens ont inspiré un nouvel algorithme de segmentation multi-labels rapide produisant une ligne de partage des eaux unique, moins sensible aux fuites que la LPE classique. Nous avons nommé cet algorithme “LPE puissance”. L’expression de la LPE sous forme d’un problème d’optimisation a ouvert la voie à de nombreuses applications possibles au-delà de la segmentation d’images, en filtrage pour l’optimisation d’un problème non convexe, en stéréo-vision, et en reconstruction rapide de surfaces lisses délimitant des objets à partir de nuages de points bruités.

En post-doctorat à New York University dans le laboratoire d’apprentissage automatique du professeur Yann LeCun, nous avons travaillé à l’apprentissage des poids de nos graphes pour extraire *automatiquement* les contours des objets d’intérêt dans les images et *reconnaître* les catégories sémantiques de ces objets.

À présent ingénieure de recherche en traitement des images et du signal à l’IFP Energies nouvelles, mes recherches trouvent leurs applications en analyse de graphes pour la bio-informatique, en recalage de nuages de points pour des données chimiques, et en restauration et traitement de données sismiques.