

Méthodes Variationnelles pour le Recalage Multimodal

Gerardo Hermosillo

Résumé

Cette thèse étudie le problème de la mise en correspondance *dense* entre deux images, et en particulier lorsqu'une comparaison directe des intensités s'avère impossible. Résoudre automatiquement ce problème est une étape fondamentale dans l'exploitation et l'étude du contenu des images. Par exemple, c'est un pré-requis essentiel dans plusieurs problèmes de vision par ordinateur tels que l'étalonnage de caméras et la reconstruction tridimensionnelle à partir de (au moins) deux vues d'une scène. Le problème peut être vu génériquement comme celui de la fusion de données, c'est-à-dire celui de la mise en correspondance d'informations provenant de plusieurs sources. Quand les sources sont d'une nature complémentaire, elles partagent par définition très peu d'informations, et il s'avère donc difficile de fusionner leurs sorties. Cette difficulté est très courante dans l'analyse d'images médicales, où l'on est souvent confronté à de multiples modalités d'imagerie (tomographie par rayons X, résonance magnétique nucléaire, émission de positrons, etc.). Dans ce contexte, le problème est souvent appelé recalage multimodal.

En vision par ordinateur, certaines situations présentent la même difficulté. Ainsi, mettre en correspondance des structures similaires sous des conditions d'illumination *variantes* ou lorsque les objets ont des propriétés de réflectance ou de diffusion (albedos) différents sont deux exemples où les méthodes de recalage multimodal peuvent également s'appliquer.

Dans cette thèse, nous proposons une approche variationnelle pour le recalage multimodal *non-rigide*. Les techniques décrites reposent sur le calcul de mesures statistiques de dissemblance entre les intensités de régions correspondantes. Ces mesures ont été utilisées dans le passé pour résoudre le problème dans le cas restreint de transformations paramétriques (e.g. rigides ou affines). Leur extension au cadre dense (non-rigide) passe par le calcul des équations d'Euler-Lagrange associées à la minimisation des critères statistiques, un calcul qui s'avère très complexe à cause de leur caractère non-local. Grâce à ce calcul, on peut définir un processus de minimisation sous forme d'un

système d'équations d'évolution dont la solution tend vers un minimum de la fonctionnelle considérée. L'existence et l'unicité de la solution de ce système constitue donc une condition nécessaire au caractère bien posé du problème. La prise en compte d'un terme de régularisation se traduit souvent par l'ajout d'un opérateur différentiel de deuxième ordre dans les équations de minimisation. Dans le cas où cet opérateur est linéaire, la théorie des semi-groupes engendrés par des opérateurs non-bornés fournit des outils pour démontrer l'existence et l'unicité d'une solution suffisamment régulière du flot de minimisation. Nous utilisons cette théorie pour démontrer le caractère bien posé des flots proposés.

Nous considérons deux familles d'algorithmes, correspondant à l'estimation globale ou semi-locale de trois critères statistiques: la corrélation croisée, le rapport de corrélation et l'information mutuelle. L'existence et l'unicité d'une solution aux flots de minimisation est démontrée pour les six fonctions de correspondance étudiées (provenant de trois critères, à chaque fois pouvant être estimés local ou globalement) ainsi que pour deux familles d'opérateurs différentiels de régularisation. La première de ces familles est inspirée de la théorie de l'élasticité linéarisée et possède la caractéristique d'opérer de façon *couplée* sur les différentes composantes de la fonction vectorielle recherchée. La deuxième famille est définie par des opérateurs de diffusion anisotrope ayant pour but d'encourager des changements abruptes de la fonction de mise en correspondance le long des contours de l'image de référence.

Le document est divisé en trois parties. La première partie (chapitres 1 à 3) est consacrée à la description des concepts essentiels mis en jeu dans l'appariement de deux images en utilisant des critères statistiques de dissemblance, et donne une vue d'ensemble de l'approche proposée. Les conditions nécessaires à l'existence et l'unicité de la solution au problème de minimisation y sont établies et deux opérateurs de régularisation sont étudiés en montrant qu'ils satisfont les propriétés requises. La seule partie des algorithmes qui n'est pas traitée est celle qui concerne le terme de mise en correspondance, issue du critère de dissemblance. C'est là l'objet de la deuxième partie (chapitres 4 à 6), qui étudie en détail ce terme des équations fonctionnelles, en calculant tout d'abord la première variation des six critères de dissemblance et en établissant ensuite leurs bonnes propriétés pour le caractère bien posé du processus de minimisation. Finalement, la troisième partie (chapitres 7 à 9) décrit en détail la discrétisation et l'implantation numérique des algorithmes qui résultent de ces équations, et présente des résultats expérimentaux avec des déformations synthétiques et réelles, mettant en jeu des images réelles de dimension 2 (application à la vision par ordinateur) et 3 (recalage en imagerie médicale).