Conclusion et perspectives

Dans cette thèse, nous avons manipulé des contours, avec l'objectif de les représenter et de les décrire. Nous nous sommes concentrés sur trois modèles géométriques discrets définis à partir de la discrétisation de Gauss : la partie convexe ou concave, l'arc de cercle discret et le segment de droite discrète. Pour chacun, nous avons cherché à les détecter ou à les reconnaître. Ces algorithmes permettent de décomposer un contour, éventuellement de manière robuste par le biais de mesures de similarité, ou de le représenter à l'aide d'un polygone respectant le plus fidèlement possible sa physionomie.

Décompositions exactes

Dans le chapitre 3, nous avons proposé deux algorithmes originaux de reconnaissance de parties convexes et concaves. L'un maintient une droite de support à la manière des "rotating calipers", tandis que l'autre procède par dénombrement de points en utilisant la formule de Pick. Les deux opèrent à la volée et sont linéaires en temps. Ces qualités sont essentielles pour décomposer rapidemment un contour en parties convexes et concaves.

Dans le chapitre 4, nous avons décrit quatre algorihmes de reconnaissance de segments de droite. Le premier repose sur les algorithmes de reconnaissance de parties convexes et concaves introduits au chapitre 3. Le second calcule à la volée, en temps linéaire, sans aucune transformation, l'ensemble de la préimage. Le troisième et le dernier reposent sur un calcul d'épaisseur. Toutefois, tandis que le troisième est géométrique, le dernier exploite au mieux la structure arithmétique des points de $\mathbb{Z}^2$. Comme il est complètement dynamique, avec un coût constant pour chaque opération, un seul balayage par une fenêtre correspondant à un segment maximal à l'avant ou à l'arrière suffit pour décomposer un contour en segments de droite maximaux.

Dans le chapitre 6, nous avons présenté un nouvel algorithme de reconnaissance d'arcs de cercle. Il résout le problème géométrique de la séparation des points de l'objet et du fond par un cercle. Cependant, comme il n'est pas incrémental, décomposer un contour en arcs de cercle maximaux à l'aide de cet algorithme est coûteux.

Dans le chapitre 7, nous avons étudié la reconnaissance d'arcs de cercle passant par un point donné. Il s'avère que nous pouvons appliquer à ce problème notre algorithme de reconnaissance de segments de droite par séparation, décrit dans le chapitre 4, en modifiant le prédicat utilisé. Au lieu de tester l'appartenance d'un point à un demi-plan, nous testons l'appartenance d'un point à un disque passant par un point donné. Nous nous sommes servi de cet algorithme comme une routine pour résoudre le problème plus général de la reconnaissance d'arcs de cercle et décomposer un contour en arcs de cercle.

Les algorithmes de reconnaissance d'une partie convexe, concave, ou d'un segment de droite des chapitres 3 et 4 sont très performants. Les propriétés mises en jeu sont bien établies. Cependant, les résultats récents sur la convexité discrète abordée selon une approche combinatoire [Brlek *et al.*, 2009], suggèrent qu'il est possible de détecter un segment de droite en traitant directement le code de Freeman au moyen de comparaisons de symboles, quasiment sans aucune opération arithmétique. Comme le code de Freeman est périodique, il s'agirait d'observer le code en deux endroits espacés d'une période. Cette fenêtre se déplacerait tant que le code vu aux deux endroits coïncide. Une différence signifierait, selon la position à laquelle elle apparaîtrait, soit que le code ne représente pas un segment de droite, soit que la période a besoin d'être allongée.

Néanmoins, c'est autour de l'arc de cercle que l'intérêt de nouvelles recherches est le plus important. Pour la reconnaissance, l'approche de Kovalevsky [1990], pourtant ancienne, semble prometteuse au vu de nos résultats. Sa complexité a été évaluée en $\mathcal{O}(n^2 \log n)$ [Coeurjolly *et al.*, 2004], où n est le nombre de points traités. Mais l'algorithme conçu au chapitre 7, qui calcule la préimage des arcs de cercle passant par un point donné, suggère que cette méthode peut être optimisée en $\mathcal{O}(n.h)$, où h est le nombre de sommets du domaine des centres des arcs. L'idée est de décrire à la volée le domaine des centres des arcs et de ne conserver dans le calcul que les points qui contribuent encore au domaine, c'est-à-dire $\mathcal{O}(h)$ points. A l'ajout de la contrainte d'un nouveau point, le domaine est mis à jour en temps linéaire, donc en $\mathcal{O}(h)$, grâce à l'algorithme du chapitre 7. D'après les expérimentations menées par Kovalevsky [1990], h ne dépasserait pas 20, ce qui donne une idée de la performance que pourrait avoir une telle méthode.

Décompositions robustes

Dans le chapitre 3, nous avons introduit une mesure de convexité basée sur un rapport d'aires discrètes. Ces quantités, définies en terme de nombre de points, sont cohérentes avec notre définition de convexité discrète et sont de bonnes estimations d'aire. Ainsi, des propriétés fondamentales sont vérifiées. A partir de cette mesure, nous avons imaginé de nouveaux modèles de parties convexes et concaves, dotés d'un paramètre variant entre 0 et 1. Le paramètre est fixé à 1 quand on est sûr de la position du contour, mais fixé à une valeur inférieure quand le contour est susceptible d'avoir été déplacé par un bruit d'acquisition. Cette approche pragmatique permet de décomposer de manière robuste et rapide un contour en parties convexes et concaves.

Dans le chapitre 4, nous avons aussi abouti, en suivant la même démarche, à des décompositions robustes, composées de nouveaux modèles de segments de droite, définis par la comparaison à un paramètre d'une mesure de linéarité. Nous avons proposé deux types de mesures qui se calculent à l'aide des mêmes outils que ceux utilisés pour la reconnaissance de segments de droite ou de parties convexes : le premier repose sur une propriété d'épaisseur, tandis que le second repose sur une propriété de convexité.

Dans le chapitre 6, nous avons adapté aux parties de contour une mesure de circularité utilisée en métrologie. Le plus petit anneau dont le cercle externe englobe les points de l'objet et dont le cercle interne n'englobe aucun point du fond est calculé à l'aide des mêmes outils que ceux utilisés pour la reconnaissance des arcs de cercle. Notre mesure de circularité est définie alors comme le rapport des aires des disques interne et externe de cet anneau.

Le principal frein à l'utilisation d'une telle mesure de circularité pour une décomposition robuste en arcs de cercle est la difficulté de la calculer à la volée. Malgré la complexité du problème, son intérêt en fait une piste de recherche séduisante.

Plusieurs études expérimentales représentent autant d'autres perspectives à ce travail. La première est une comparaison approfondie de nos deux types de mesures de linéarité. Une autre est une comparaison des différentes stratégies possibles de décomposition, que ce soit en segments de droite ou en parties convexes et concaves. Enfin, une application des méthodes développées sur différents modèles de bruit semble indispensable pour les valider et apporter des précisions sur le réglage de leur paramètre.

Polygone réversible respectant les parties convexes et concaves

La synthèse des résultats obtenus aux chapitres 3 et 4 aboutit, au chapitre 5, à l'extraction d'un polygone réversible qui respecte les parties convexes et concaves d'un contour. Ce problème a été soulevé par Eckhardt et Dorksen-Reiter, mais dans leur formulation, il ne possédait pas de solution satisfaisante. Nous avons montré que si les sommets sont des points du contour, et non du bord, et si le processus de discrétisation varie selon la configuration locale, au lieu d'être fixe et déterminé à l'avance, les contraintes de réversibilité et de respect des parties convexes et concaves peuvent être toutes les deux vérifiées.

Le spectre d'applications est large. On peut déduire aisément du polygone obtenu, le polygone de longueur minimale séparant l'objet du fond, dont le périmètre est une bonne estimation du périmètre du contour. On peut calculer, à partir du polygone de longueur minimale, une décomposition en arcs de cercle qui représente fidèlement les parties convexes et concaves d'un contour, comme l'illustre le chapitre 7. En outre, un polygone réversible qui respecte les parties convexes et concaves d'un contour est un bon point de départ pour une représentation hiérarchique du contour par simplification polygonale, ce qui est de première importance pour la mise en évidence des traits caractéristiques d'un contour ou pour la suppression du bruit. Ce travail prend donc à contre-pied les travaux précédents dans le sens où si le bruit peut être supprimé, la robustesse des décompositions cesse d'être un objectif.

Par ailleurs, si on peut calculer un polygone réversible sur tout contour, le chemin inverse, c'est-à-dire discrétiser en contour réversible n'importe quel polygone n'est pas possible. Tous les polygones provenant de la simplification polygonale ne sont donc pas réversibles. Une perspective importante de ce travail consiste à caractériser les polygones réversibles afin de trouver un processus d'évolution purement discret qui aboutisse à une hiérarchie complète de polygones réversibles.