

Sujet de thèse « Reconnaissance de bâtiments à partir de nuages de points 3D »

1. Contexte et objectifs

Cette thèse s'inscrit dans le projet de collaboration entre l'équipe de recherche PIXEL (du laboratoire LORIA, UMR 7503) et la société RhinoTerrain. L'équipe PIXEL se spécialise dans le traitement numérique de géométrie ; le cœur de métier de RhinoTerrain est la géomatique et l'imagerie 3D. Elle développe une nouvelle génération d'outils 3D de « Géo-Modélisation » dédiés à la production structurée de données géoréférencées et standardisées. Un des axes R&D de la société porte sur l'optimisation du processus de réalisation d'une maquette 3D à partir des relevés pouvant provenir de sources différentes (points 3D lidar, images satellites, photos, etc.).

La numérisation d'objets réels est de plus en plus utilisée dans des domaines tels que l'urbanisme, l'architecture ou l'aménagement d'espaces publics. Les outils d'acquisition tels que les lidars ou la photogrammétrie permettent de produire des représentations numériques de villes entières sous forme de nuages de points 3D échantillonnant les surfaces des objets de l'environnement.

Aujourd'hui, le processus de création d'une maquette numérique à partir de tels relevés est long, fastidieux et essentiellement manuel. Dans ce processus de rétro-conception, l'opérateur humain trace à *la main* les éléments constitutifs de la maquette de sorte à coller au mieux au nuage de points. Par exemple, la figure à droite représente une maquette virtuelle de la ville de Monaco, générée avec le logiciel RhinoCity à partir de données lidar et de photogrammétrie. Des outils d'assistance semi-automatiques émergent sur le marché, mais ils ne répondent pas suffisamment au besoin, tant en termes de précision que d'efficacité.



L'objectif du projet est de développer un outil permettant d'assister le dessinateur dans la création des maquettes 3D de manière semi-manuelle, tout en réduisant les coûts liés à la constitution des maquettes. Il est important d'insister sur l'aspect semi-manuel : les méthodes complètement automatiques donnent des résultats spectaculaires dans un certain nombre de cas, mais échouent dans beaucoup d'autres, présentant ainsi des problèmes de robustesse.

Notre but est d'assister le dessinateur, c'est l'humain qui aura la main sur l'ajustement du modèle proposé ainsi que sur sa validation.

En modélisation urbaine, les sources de données possibles sont abondantes et peuvent varier de la tachéométrie et des systèmes intégrant un distancemètre à la photogrammétrie et des systèmes d'acquisition mobiles tels que des scanners laser terrestres ou bien des lidars (*Light Detection and Ranging*) aériens. En plus de cela, la modélisation peut se faire à plusieurs niveaux de détails (*LOD, level of detail*). Le standard de l'OGC CityGML 2.0 décrit [1] cinq niveaux de détails qui varient de la simple empreinte au sol à la modélisation complète de l'intérieur des bâtiments. Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéresserons à la reconstruction LOD2 à partir de nuages de points issus de lidar aériens.



Les cinq niveaux de détails de l'OGC CityGML 2.0. La norme assigne des classes standardisées pour différencier généralement les catégories de données 3D. Le détail géométrique et la complexité sémantique augmentent à chaque niveau.

2. Méthodologie

La reconstruction d'une surface à partir d'un nuage de points est un problème extrêmement mal posé même si, dans la plupart des cas, la réponse attendue paraîtra évidente à un humain. En effet, pour obtenir le comportement escompté, il est nécessaire de fournir aux algorithmes un certain nombre de connaissances supplémentaires sur la nature du nuage de points et sur celle de la surface à reconstruire. Les algorithmes les plus généraux supposent que les points sont localisés sur la surface, et qu'une surface lisse peut être représentée par un maillage triangulé. En ajoutant des conditions sur la densité de l'échantillonnage (*epsilon sampling*), on peut même garantir la topologie des surfaces ainsi reconstruites [2]. Ces conditions sont rarement directement assurées par les capteurs, mais du filtrage préalable des données permet de s'y ramener.

Dans notre cas, la coopération avec un industriel du domaine nous fournit une expertise qui permettra de bien mieux spécifier les problèmes que nous allons aborder. Plus précisément, RhinoTerrain génère les bâtiments par élévation à partir des toits. La principale difficulté de ce processus est de modéliser précisément ces toits. Pour simplifier la tâche des modeleurs, la société a développé des patrons de toits qui permettent d'assurer les contraintes structurelles (planarité des pans, horizontalité de la faîtière, symétrie, etc.), et de minimiser ainsi les interactions nécessaires à leur modélisation. Notre objectif sera d'aider davantage les modeleurs en leur proposant automatiquement des solutions dans un certain nombre de cas.

Positionner des toits dans un nuage de point requiert de trouver quels points participent à quel toit (segmentation) et, pour chaque toit, trouver quel type de toit et quel paramètres lui affecter (appariement). Nous commencerons par étudier comment trouver le modèle le mieux adapté pour un seul toit, puis nous verrons s'il est possible d'exploiter ces résultats pour segmenter le nuage de point original.

Pour obtenir le meilleur toit possible pour un nuage de point donné, nous allons étendre les travaux de notre équipe [3] sur l'appariement de surfaces. Cette approche minimise numériquement une distance entre deux surfaces quelconques en déformant une. Ici, il faudra remplacer l'une des surfaces par les points, intégrer les contraintes structurelles dans modèles de toits, et tenir compte des données aberrantes. Cette approche exploite notre expertise en maillages (diagrammes de Voronoï restreints) pour estimer une distance, et sa dérivée par rapport aux paramètres du modèle de toit. L'originalité de cette approche est que l'on peut ainsi utiliser des méthodes d'optimisation efficaces (L-BFGS [4]) directement sur le modèle complet du toit, contrairement aux approches classiques d'appariement dans lesquelles l'affectation de chaque point à un plan rend la distance difficilement dérivable. De plus, l'intersection des cellules de Voronoï avec le modèle de toit peut permettre de définir une énergie qui exclut naturellement les données aberrantes.

Lorsque nous aurons une solution satisfaisante pour positionner un toit sur un nuage de point, nous pourrons aborder le problème de la segmentation. Les méthodes classiques (distance euclidienne, filtre bas niveau sur les données lidar, etc.) fournissent une segmentation grossière des nuages de points, mais sont incapables d'isoler chaque toit. Pour ce faire, nous avons besoins de plus de connaissances métiers: le fait que chaque sous ensemble de points corresponde à un toit i.e. que l'on puisse les approximer par un modèle de toit grâce aux travaux réalisés dans la première partie. Nous allons donc nous intéresser à trouver le meilleur ensemble de toits capable de représenter le nuage de point. Nous souhaitons aborder ce nouveau problème par optimisation numérique, afin d'obtenir la segmentation du nuage initial qui soit optimale pour le positionnement des modèles de toits que nous avons.

3. Organisation de la thèse

La thèse sera co-encadrée par Dmitry Sokolov (maître de conférences HDR à l'Université de Lorraine), Nicolas Ray (chargé de recherche à l'INRIA) et Hervé Barthélémy (docteur en informatique, responsable de R&D à RhinoTerrain).

La thèse sera organisée de manière à ce que le doctorant passe 70% au LORIA et 30% au siège de l'entreprise. Compte tenu de la proximité géographique, il est ainsi prévu que le doctorant passe un ou deux jours par semaine au siège de l'entreprise, et le reste du temps au LORIA. Cette répartition pourra varier si nécessaire suivant les contraintes du doctorant et de l'entreprise.

Le travail de recherche sera structuré par les 2 aspects du sujet présentés dans la section précédente, avec le calendrier prévisionnel suivant :

Appariement : mois 1-15

- Étude initiale de la bibliographie : mois 1-4
- Familiarisation avec le logiciel RhinoCity et ses API : mois 1-4
- Créer un algorithme d'appariement des modèles de toits avec une approche inspirée de VSDM : mois 5-13
- Rédaction d'articles de recherche : mois 14-15
- Intégration de résultats dans le logiciel RhinoCity : mois 14-15

Segmentation : mois 16-30

- Étude de la bibliographie : mois 16-18
- Implémentation d'une segmentation grossière : mois 19
- Extension de l'algorithme d'appariement à plusieurs toits simultanément : mois 20-27
- Rédaction d'articles de recherche : mois 28-30
- Intégration de résultats dans le logiciel RhinoCity : mois 28-30

Rédaction du mémoire et soutenance : mois 30-36

Références

[1] OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard 2.0.0.
<https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>

[2] Simple and Scalable Surface Reconstruction. Dobrina Boltcheva, Bruno Lévy. [Research Report] LORIA - Université de Lorraine; INRIA Nancy. 2016. hal-01349023v2f

[3] Fitting polynomial surfaces to triangular meshes with Voronoi squared distance minimization, Vincent Nivoliers, Dong-Ming Yan, Bruno Lévy, Engineering with Computers, 2014

[4] Updating Quasi-Newton Matrices with Limited Storage, Nocedal, J. . Mathematics of Computation, 1980, doi:10.1090/S0025-5718-1980-0572855-7.