



Sujet de thèse – Campagne 2014

Titre : Reconstruction et visualisation d'objets 3D numérisés à partir de scans et de photographies

Equipe d'accueil : IGG (Informatique Géométrique et Graphique) du laboratoire ICube

Directeur de thèse : Jean-Michel Dischler, Professeur – dischler@unistra.fr

Co-encadrant : Rémi Allègre, Maître de Conférences – remi.allegre@unistra.fr

Prérequis : Informatique graphique et modélisation géométrique

1. Contexte et problématique

La numérisation d'objets en trois dimensions est une technologie mature, utilisée dans de multiples domaines d'application (synthèse d'image, conservation du patrimoine, inspection et rétroconception, simulation, etc.). Elle constitue également une réponse adaptée à la demande croissante de modèles géométriques détaillés de grande échelle dans l'industrie de production de contenus graphiques (modèles de bâtiments, de villes, de mondes, etc.).

On dispose aujourd'hui de scanners 3D optiques de haute résolution et de nombreuses techniques automatiques de traitement de données géométriques (recalage, filtrage, reconstruction, simplification) permettant de produire des modèles restituant fidèlement la forme des objets numérisés à différents niveaux d'échelle [Lar08]. Afin de pouvoir reconstruire l'apparence des objets (couleur, normales, champ de lumière), on utilise également des photos prises de différents points de vue [VSG+13], qui nécessitent d'être préalablement recalées par rapport aux modèles géométriques des objets. Notre équipe développe de plusieurs années une plateforme de numérisation d'objets 3D avec apparence [PNIGG] dont l'objectif est de proposer une chaîne de traitements automatiques ou semi-automatiques permettant de produire efficacement des modèles multi-échelles exploitables pour la synthèse d'images ou la réalité virtuelle.

Malgré les avancées récentes de l'acquisition 3D optique, il reste encore difficile de produire de façon entièrement automatique des modèles géométriques exempts de défauts pour des objets complexes comme des pièces d'art ou des bâtiments, ce qui constitue un frein important à des campagnes de numérisation massives. Beaucoup d'interventions manuelles sont généralement nécessaires pour ajuster des paramètres ou effectuer des corrections, ce qui est d'autant plus pénalisant que les données sont volumineuses et les traitements complexes.

Les défauts trouvent le plus souvent leur origine dans la qualité des données issues de la numérisation. Il est fréquent que certaines parties des objets ne puissent pas être numérisées, soit parce qu'elles sont hors d'atteinte du dispositif d'acquisition, soit parce que la technologie employée n'est pas adaptée aux matériaux qui les constituent. C'est par exemple le cas des scanners laser ou à lumière structurée pour des surfaces spéculaires ou des matériaux dispersant la lumière (métaux, verre, etc.). Certaines régions peuvent également ne pas être couvertes à cause de diverses contraintes externes (accès, horaires, etc.) ou encore d'une mauvaise planification de l'acquisition. Les données acquises peuvent aussi comporter des erreurs (*bruit* et *points aberrants*), plus ou moins importantes selon la distance du scanner à l'objet, les angles de vue et la réflectivité des surfaces, qui influent sur la précision des mesures.

Différentes approches ont été proposées afin de corriger les défauts des données 3D acquises en vue d'obtenir des modèles géométriques fidèles à la réalité. Des techniques de filtrage et de lissage de

nuages de points sont souvent appliquées dans le but de réduire l'impact des erreurs de mesure sur le résultat de la reconstruction. Les outils existants trouvent leurs fondements principalement dans l'analyse statistique de données [FDC03, SBS05]. Certaines techniques de reconstruction de surface permettent de prendre en compte directement des données erronées, tout en ayant la capacité de « boucher les trous » [KBH06, ACA07, DCA+13]. En dépit de leur robustesse, ces techniques ne permettent en général pas de reproduire les détails dans les régions où il manque des données, et échouent fréquemment à générer des surfaces ayant la topologie attendue. Il existe par ailleurs de nombreuses techniques de correction de défauts *a posteriori* [SAC04, PMG+05, KS12]. Certaines d'entre elles complètent les parties manquantes en détectant des compléments plausibles dans d'autres régions du modèle à reconstruire ou bien dans une base de données de modèles similaires, de façon automatique ou semi-automatique. La limite de ces méthodes est qu'une erreur importante par rapport à la réalité peut toujours être commise, qui peut être critique pour certaines applications, par exemple dans le domaine du patrimoine.

D'autres techniques exploitent des photographies pour tenter de corriger les défauts d'un modèle géométrique préalablement reconstruit à partir de scans 3D, mais cette approche a été peu explorée [BWS07, DVS11, LDH+11]. Les travaux existants n'utilisent en général qu'une seule photo à la fois, prise dans des conditions particulières d'éclairage et/ou de point de vue pour pouvoir appliquer des techniques de photométrie (*shape from shading*) ou bien projeter les photos sur un modèle 3D. Ces conditions sont difficilement vérifiées en pratique pour des acquisitions effectuées en environnement non contrôlé, comme dans un musée ou bien en extérieur.

La photogrammétrie, qui consiste à inférer une géométrie 3D à partir de jeux de photos, constitue une alternative de plus en plus pertinente à l'acquisition 3D, notamment avec l'essor des techniques de reconstruction stéréo multi-vue issues de la communauté de la vision par ordinateur (*structure from motion, dense multiview stereo reconstruction*) [SSS06, FP07, VLP+12]. L'extraction de points d'appariement entre paires de photos permet d'estimer les paramètres des caméras et de générer un nuage de points 3D selon un principe de triangulation optique. Si la prise de photos est moins contraignante que l'acquisition 3D, la fidélité des résultats obtenus selon cette approche reste cependant limitée par la forte dépendance des méthodes d'extraction des points d'appariement aux conditions d'éclairage et aux motifs présents dans les images.

Les progrès récents des techniques de recalage de photographies par rapport à des données 3D [CS07, CDP+09, PGC11] fournissent de nouvelles pistes pour répondre au problème de la reconstruction automatique de modèles 3D complets, proches de la réalité à toutes les échelles, tout en limitant les conditions d'acquisition restrictives. La photogrammétrie couplée à des données 3D éparses permet en effet d'extraire précisément des données 3D à partir de photos d'un objet sous différents points de vue avec peu de contraintes. Ce couplage n'a encore jamais été exploité dans le cadre d'une méthode de reconstruction de modèles 3D. De surcroît, des photos étant nécessaires pour reconstruire l'apparence des objets, leur usage pour guider la reconstruction géométrique n'entraîne pas de travail d'acquisition supplémentaire.

2. Objectif

L'objectif de cette thèse est d'étudier et de mettre au point une nouvelle méthode de construction de modèles 3D avec apparence, pour des applications de synthèse d'images, tirant au mieux partie des deux sources de données disponibles : des scans et des photographies. Cette méthode devra permettre d'obtenir des modèles géométriques complets, restituant avec précision les différents niveaux d'échelle des objets réels. On portera une attention particulière à l'évaluation de la qualité de la reconstruction par rapport aux données fournies. Conjointement, on s'intéressera à la représentation des modèles dans un objectif d'affichage en temps réel, en exploitant les ressources des processeurs graphiques, ainsi qu'à la production de nouveaux modèles à partir des modèles reconstruits dans un objectif de création de contenus pour des mondes virtuels.

Le travail débutera par la prise en main des outils logiciels de la plateforme de numérisation de l'équipe, ainsi que la prise en main d'outils de recalage de photos par rapport à des scans 3D. On s'attachera ensuite à réaliser un état de l'art exhaustif des techniques de reconstruction permettant de

compléter les parties manquantes. Sur la base de l'existant, on développera ensuite une méthode utilisant un jeu de photos pour guider la reconstruction. Pour la représentation et la visualisation des modèles reconstruits, on pourra étudier deux pistes : la représentation par cartes de hauteur avec une géométrie support de faible complexité, et la représentation sous la forme d'une grille hiérarchique de voxels. Ces deux représentations permettent de gérer des niveaux d'échelle multiples et peuvent être rendues en temps réel. Les niveaux d'échelle peuvent aussi servir à séparer les différents niveaux de détails dans le modèle reconstruit. On exploitera ces niveaux d'échelle pour mettre au point des outils de création et d'édition de nouveaux modèles ayant, à certains niveaux d'échelle, une apparence similaire, et envisager par exemple le transfert d'apparence d'un modèle reconstruit vers un autre modèle. L'implantation sera réalisée en C++ et s'intégrera dans la plateforme de numérisation de l'équipe.

Mots-clés : informatique graphique, vision par ordinateur, modélisation géométrique, photogrammétrie, reconstruction de modèles 3D, scans, nuages de points, maillages triangulaires, photographies, visualisation temps réel, niveaux d'échelle, transfert d'apparence, GPU.

3. Références

- [ACA07] R. Allègre, R. Chaine, S. Akkouche. A streaming algorithm for surface reconstruction. In *Proc. Eurographics Symposium on Geometry Processing*, pages 79-88, 2007.
- [BWS07] A. Brunton, S. Wuhrer, C. Shu. Image-based Model Completion. In *Proc. 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM)*, pages 305-311, 2007.
- [CDP+09] M. Corsini, M. Dellepiane, F. Ponchio, and R. Scopigno. Image-to-geometry registration: a mutual information method exploiting illumination-related geometric properties. *Computer Graphics Forum*, 28(7):1755-1764, 2009.
- [CS07] I. Cleju and D. Saupe. Stochastic optimization of multiple texture registration using mutual information. *Symposium of the German Association for Pattern Recognition (DAGM), Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, Vol. 4713, p. 517-526, 2007.
- [DCA+13] J. Digne, D. Cohen-Steiner, P. Alliez, M. Desbrun, F. de Goes. Feature-preserving surface reconstruction and simplification from defect-laden point sets. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Springer, 2013.
- [DVS11] M. Dellepiane, A. Venturi, R. Scopigno. Image-guided reconstruction of un-sampled data: A filling technique for cultural heritage models. *International Journal of Computer Vision*, 94(1):2-11, 2011.
- [FP07] Y. Furukawa and J. Ponce. Accurate, dense, and robust multi-view stereopsis. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, July 2007.
- [FDC03] S. Fleishman, I. Drori, D. Cohen-Or. Bilateral mesh denoising. *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, 22(3), 2003.
- [KBH06] M. Kazhdan, M. Bolitho, H. Hoppe. Poisson surface reconstruction. In *Proc. Eurographics Symposium on Geometry Processing (SGP)*, pages 61-70, 2006.
- [KS12] A. Kumar, A. M. Shih. Hybrid approach for repair of geometry with complex topology. In *Proc. International Meshing Roundtable*, pages 387-403, 2012.
- [Lar08] F. Larue. Numérisation de Pièces d'Art en termes de Forme et d'Apparence pour la Visualisation Réaliste en Synthèse d'Images. Thèse de Doctorat en Informatique, LSIIT CNRS - Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 2008.
- [LDH+11] F. Larue, M. Dellepiane, H. Hamer, R. Scopigno. Automatic texturing without illumination artifacts from in-hand scanning data flow. *Communications in Computer and Information Science (Proc. MM4CH Conference)*, volume 247, pages 14-26, 2011.

- [PGC11] R. Pintus, E. Gobbetti, R. Combet. Fast and robust semi-automatic registration of photographs to 3D geometry. In *Proc. International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST)*, 2011.
- [PMG+05] M. Pauly, N. J. Mitra, J. Giesen, M. Gross, L. Guibas. Example-based 3D scan completion. In *Proc. Symposium on Geometry Processing*, pages 23-32, 2005.
- [PNIGG] Plateforme de numérisation de l'équipe IGG : <http://icube-igg.unistra.fr/en/index.php/Digitization>
- [SAC04] A. Sharf, M. Alexa, D. Cohen-Or. Context-based surface completion. *ACM Transactions on Graphics*, 23(3):878-887, 2004.
- [SBS05] O. Schall, A. Belyaev, H.-P. Seidel. Robust filtering of noisy scattered point data. In *Proc. IEEE/Eurographics Symposium on Point-Based Graphics*, pages 71-77, 2005.
- [SSS06] N. Snavely, S. M. Seitz, R. Szeliski. Photo Tourism: Exploring image collections in 3D. *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH 2006)*, 2006.
- [VLP+12] H.-H. Vu, P. Labatut, J.-P. Pons, R. Keriven. High accuracy and visibility-consistent dense multiview Stereo. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 34(5):889-901, 2012.
- [VSG+13] K. Vanhoey, B. Sauvage, O. Gènevaux, F. Larue, J.-M. Dischler. Robust fitting on poorly sampled data for surface light field rendering and image relighting. *Computer Graphics Forum*, 32(6):101-112, 2013.