



Sujet de thèse – Campagne 2015

Titre : Extraction et analyse des propriétés géométriques et photométriques pour la classification des matériaux d'objets numérisés en environnement lumineux non contrôlé

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 – allegre@unistra.fr

Prérequis : Informatique graphique et modélisation géométrique

1. Contexte et problématique

L'industrie de la production de contenus numériques 3D est en plein essor grâce au développement massif de matériels et dispositifs d'affichage 3D. Cette industrie est en demande croissante d'outils permettant de créer plus rapidement et plus efficacement des modèles géométriques à l'apparence réaliste. Pour des raisons de coûts, les modèles doivent avoir des représentations compatibles avec les logiciels d'édition et les moteurs de rendu du marché, et doivent être les plus économiques possibles en mémoire. Ces représentations sont le plus souvent à base de maillages munis de paramétrisations (appelées UV maps) et de multiples couches de textures pouvant tout aussi bien simuler le relief d'une surface (normal map) que ses propriétés photométriques (diffuse map, specular map, ambient occlusion map, etc.).

Les technologies actuelles de numérisation d'objets réels permettent de simplifier considérablement le processus de création de modèles 3D. Si les techniques sont de plus en plus fiables pour la reconstruction de la géométrie, il reste une marge de progrès importante pour le traitement et la représentation de l'apparence des objets. Dans un contexte industriel, il est souhaitable que les acquisitions photométriques puissent être réalisées en environnement lumineux non contrôlé, réduisant ainsi le coût de l'équipement nécessaire, le temps nécessaire et les compétences requises. Il est également souhaitable qu'un modèle reconstruit puisse être visualisé de façon réaliste dans un environnement lumineux différent de celui de l'acquisition, tout en utilisant des représentations par couches de textures les plus compactes possibles. Ces nombreuses contraintes créent des difficultés auxquelles les travaux existants ne répondent pas, ou bien ne répondent qu'en partie.

Depuis quelques années, l'équipe IGG développe une plateforme de numérisation d'objets réels avec apparence [PNIGG] proposant une chaîne de traitements automatiques permettant de produire des modèles géométriques détaillés [Lar08] et de reconstruire les propriétés photométriques de la surface des objets à partir de photographies sous la forme de champs de lumières surfaciques [VSG+13]. Un champ de lumière surfacique est uniquement dépendant de la direction du point de vue, et ne permet donc pas de visualiser un modèle reconstruit dans un environnement lumineux différent de celui de l'acquisition. Cette représentation est en outre limitée par la très grande quantité de données à stocker en mémoire, et par le fait qu'il ne s'agit pas d'une représentation standard par couches de textures, nécessitant ainsi des méthodes de rendu très spécifiques.

Pour permettre une visualisation réaliste autorisant des modifications des conditions d'éclairage, l'approche classique consiste à estimer les paramètres d'un modèle de BRDF (pour Bidirectional Reflectance Distribution Function) caractérisant les propriétés optiques d'un matériau, avec éventuellement prise en compte des variations spatiales (on parle alors de Spatially Varying BRDF)

[LKG+01]. Cependant, la plupart des méthodes existantes pour l'estimation des paramètres s'appuient sur des acquisitions photométriques réalisées en environnements lumineux parfaitement contrôlés. Un environnement lumineux contrôlé simplifie notamment grandement l'estimation de la spécularité, qui correspond à une propriété dépendante à la fois de la direction du point de vue et des directions des sources de lumière. Palma et al. [PCD+12], et plus récemment Dong et al. [DCP+14], ont proposé deux méthodes permettant de reconstruire une SVBRDF approximative dans des conditions d'éclairage fixes au cours de l'acquisition, mais non contrôlées, en exploitant une séquence vidéo recalée par rapport à un modèle géométrique. La méthode proposée par Palma et al. [PCD+12] utilise un modèle de Phong, qui présente l'avantage d'avoir un nombre réduit de paramètres, mais qui s'adapte à peu de matériaux et d'environnements en raison de l'incapacité du modèle à prendre en compte des reflets spéculaires trop complexes. Dong et al. [DCP+14] utilisent un modèle de réflectance à base de micro-facettes, plus proche de la réalité physique, mais dont l'estimation des paramètres est particulièrement sensible aux effets de flou pouvant résulter du mouvement ou de la mise au point de la caméra. Dans les deux cas, la classification des matériaux ne tient pas compte de propriétés autres que la variation de la couleur diffuse. Par exemple, les variations de la géométrie et de l'ombrage ne sont pas prises en compte, ce qui accroît de façon artificielle le nombre de classes de matériaux détectés. Enfin, le modèle de SVBRDF n'est pas compatible avec une représentation standard. Le passage d'une représentation par modèle SVBRDF à une représentation par couches de textures constitue un défi majeur sur lequel il existe encore très peu de travaux.

L'équipe IGG s'intéresse en outre depuis deux ans à la synthèse de textures par l'exemple [VSL+13, GSV+14], dans le but de reproduire des apparences réalistes à partir d'images en se basant sur des représentations paramétriques et procédurales à moindre coût en mémoire. Néanmoins, dans ce cadre, seule la propriété de couleur a été prise en compte jusqu'à présent. Pour aller au-delà, en synthétisant des textures associées à d'autres propriétés surfaciques (géométriques ou photométriques), des données d'entrée issues de la représentation des matériaux par couches de textures sont nécessaires.

2. Objectifs

L'objectif de cette thèse est de s'attaquer aux verrous scientifiques qui viennent d'être exposés. Il s'agit d'étudier et de mettre au point une nouvelle chaîne de traitements complétant les travaux précédents de l'équipe en permettant : 1. d'extraire automatiquement et le plus précisément possible les propriétés géométriques et photométriques d'un objet numérisé en environnement lumineux non contrôlé à partir d'une collection de photos (géométrie, normales, couleur diffuse, spécularité, ombrage) et de les stocker dans des textures ; 2. d'analyser les différentes propriétés extraites de façon à obtenir une classification des matériaux la plus proche possible de la réalité sur l'ensemble de la surface d'un objet, en tenant compte à la fois des variations spatiales et des variations conjointes des différentes propriétés. Cette classification des matériaux d'un objet, avec les couches de textures associées, sera utilisée comme entrée pour pouvoir instancier des modèles de matériaux paramétriques et procéduraux à l'aide d'algorithmes similaires à ceux de synthèse de textures déjà développés par l'équipe.

Le travail commencera par une évaluation des méthodes existantes pour la classification des matériaux d'un objet numérisé, en particulier les méthodes de Palma et al. [PCD+12] et de Dong et al. [DCP+14]. Pour améliorer l'extraction des propriétés géométriques et photométriques, on s'appuiera sur des outils de statistiques robustes en exploitant à la fois le modèle 3D numérisé et la collection de photos, et en étant attentif à la cohérence entre les variations des différentes propriétés (par exemple, l'influence de l'ombrage sur la couleur diffuse mesurée). Afin de détecter les différents types de matériaux composant un objet, on fera appel dans un premier temps à l'assistance de l'utilisateur, qui fournira des exemples de matériaux sélectionnés sur l'objet même ou bien sur d'autres objets. Pour la décomposition de la surface d'un objet selon ses matériaux, on fera appel à des outils d'analyse de texture. Les descripteurs retenus devront être le plus robuste possible au bruit et aux changements d'éclairage, ainsi qu'à des transformations comme les changements d'échelle. Pour valider la méthode, on s'attachera à mettre en place un protocole de validation comparant des décompositions réalisées

manuellement, qui feront office de vérité terrain, à des décompositions automatiques. On s'intéressera également à l'édition des matériaux ainsi identifiés, pour modifier par exemple la couleur diffuse ou le relief de la surface, en veillant à conserver la cohérence entre les différentes propriétés. L'implantation sera réalisée en C++ et s'intégrera dans la plateforme de numérisation de l'équipe.

3. Références

[DCP+14] Y. Dong, G. Chen, P. Peers, J. Zhang, and X. Tong. Appearance-from-Motion: Recovering Spatially Varying Surface Reflectance under Unknown Lighting. *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH Asia 2014)*, 33(6), 2014.

[GSV+14] G. Gilet, B. Sauvage, K. Vanhoey, J.-M. Dischler, D. Ghazanfarpour. Local Random-phase Noise for Procedural Texturing. *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH Asia 2014)*, 33(6), 2014.

[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.

[LKG+01] H. P. A. Lensch, J. Kautz, M. Goesele, W. Heidrich, H.-P. Seidel. Image-Based Reconstruction of Spatially Varying Materials. *Proc. Eurographics Workshop on Rendering Techniques*, pages 103-114, 2001.

[PCD+12] G. Palma, M. Callieri, M. Dellepiane, R. Scopigno. A Statistical Method for SVBRDF Approximation from Video Sequences in General Lighting Conditions. *Computer Graphics Forum (Proc. EG Symposium on Rendering)*, 4(31):1491-1500, 2012.

[PNIGG] IGG's Digitization Platform: <http://icube-igg.unistra.fr/en/index.php/Digitization>

[VSG+13] K. Vanhoey, B. Sauvage, O. Génevaux, 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.

[VSL+13] K. Vanhoey, B. Sauvage, F. Larue, J.-M. Dischler. On-the-Fly Multi-Scale Infinite Texturing from Example. *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH Asia 2013)*, 32(6), 2013.