



Doctoral Thesis

## 3D Reconstruction beyond the Static & Lambertian Assumption: Reflective and Multi-Body Scenes

**Author(s):**

Jacquet, Bastien

**Publication Date:**

2016

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010865232> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 23484

**3D Reconstruction beyond  
the Static & Lambertian Assumption:  
Reflective and Multi-Body Scenes**

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH Zürich

(Dr. sc. ETH Zürich)

presented by

**Bastien Rémy Michel JACQUET**

Ingénieur diplômé, École Polytechnique Paris, France

Ingénieur diplômé, École des Ponts ParisTech, France

Master de Sciences et Technologies, ENS Cachan, France

born on 3. August 1986,

citizen of France

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Marc Pollefeys

Prof. Dr. Edmond Boyer

Prof. Dr. Roland Angst

2016

# Abstract

During the last century, the availability of rapidly improving computer hardware and the will to make computers *see* led to the emergence of the new community of Computer Vision. In this thesis, we place ourselves in the part of the community dedicated to creating digital 3D models of the world by using 2D photographs. This is the Geometric Computer Vision. To tackle this practical challenge, mathematical tools have been developed in geometry, linear algebra, and optimization. Under the right assumptions of a static and Lambertian world imaged with a pinhole camera, those tools have successfully reached their goal, providing detailed and accurate digital 3D models. In this thesis, we will mainly focus on scenarios that are not fulfilling these assumptions, and were therefore not yet solvable.

The major contribution of this thesis is to investigate the mathematical properties and provide practical methods to deal with two non-standard scenes to reconstruct: a reflective surface in an uncontrolled environment, and a scene with multiple non-independently moving rigid bodies.

More specifically, one chapter of this thesis presents 1) a novel reconstruction approach for near-flat reflective surfaces, using the reflection of a 3D line to compute the surface normals 2) a calibration method for a system consisting of a screen plus two front and back cameras (*e.g.* a smart-phone), using a mirror. Another chapter will present 1) the methods to identify the class of dependent relative motion and extract their parameters through the general analysis of relative motion properties, 2) a practical method to enforce physical non-intersection of rigid bodies during their digital 3D reconstruction, 3) an algorithm dedicated to solving articulated Structure-from-Motion with partially observed feature trajectories via sampling, 4) the challenges left to solve in dynamic and deformable object reconstruction.

## *Abstract*

---

Throughout this thesis, the methods and algorithms we present will stay very practical and in order to actually solve the problems we tackle.

hambol

# Résumé

Au cours du siècle dernier, la disponibilité d'ordinateurs de plus en plus puissants et la volonté de rendre ceux-ci capables de *voir* ont mené à l'émergence de la communauté de *vision par ordinateur*. Le travail de recherche de cette thèse nous place dans la partie de cette communauté dédiée à la création de modèles numérique du monde, en trois dimensions, en utilisant des photographies en deux dimensions. Il s'agit de la géométrie en vision par ordinateur.

Pour s'attaquer à ce défi pratique, des outils mathématiques ont été développés en géométrie, en algèbre linéaire et en optimisation. Sous l'hypothèses d'un monde statique et lambertien photographié à l'aide d'un appareil à sténopé, ces outils ont permis d'atteindre les objectifs fixés produisant des modèles 3D numériques détaillés et précis. Dans cette thèse, nous nous concentrons principalement sur des scénarios ne satisfaisant pas ces hypothèses, et qui n'était donc pas soluble.

La contribution majeure de ce travail est d'étudier les propriétés mathématiques et les méthodes pratiques permettant la reconstruction de deux scènes non standard : des surfaces réfléchives presque planes dans un environnement non-contrôlé, des scènes contenant plusieurs objets mobiles non-indépendants.

Plus précisément, nous aurons un chapitre présentant 1) une nouvelle méthode de reconstruction pour des surfaces réfléchives presque planes, utilisant la réflexion d'une ligne 3D pour calculer les normales de la surface, 2) une méthode de calibration pour les systèmes constitués d'un écran et deux caméras pointées vers l'avant et arrière (*e.g.* un smartphone), à l'aide d'un miroir.

Dans un différent chapitre, seront présentés 1) les méthodes pour identifier la catégorie spécifique de mouvement dépendant et ses paramètres grâce l'analyse générale des propriétés des mouvements relatifs, 2) une

méthode pour garantir la non-intersection physique de corps rigides lors de leur reconstruction 3D numérique, 3) un algorithme consacré à la résolution du problème de structure-à-partir-du-mouvement articulé ayant des trajectoires de points partielles, via échantillonnage, 4) les défis restant à résoudre pour la reconstruction 3D d'objets dynamiques et déformables.

Au cours de cette thèse, les méthodes et algorithmes présentés resteront très appliqués afin de résoudre concrètement les problèmes abordés.