

Numéro d'ordre D.U. : 2528

EDSPIC : 678

## UNIVERSITÉ BLAISE PASCAL – CLERMONT II

Ecole Doctorale Sciences Pour l'Ingénieur de Clermont-Ferrand

Thèse présentée par

**AHMAD KAMAL AIJAZI**

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR D'UNIVERSITÉ**

Spécialité : Vision pour la robotique

### **3D Urban Cartography Incorporating Recognition and Temporal Integration**

Soutenue publiquement le 15 décembre 2014 devant le jury :

<b>M. Thierry Chateau</b>	PR - Université Blaise Pascal	Président
<b>M. Robert Zlot</b>	DR - CSIRO Australia	Rapporteur et examinateur
<b>M. Uwe Stilla</b>	PR - Technische Universitaet Muenchen	Rapporteur et examinateur
<b>M. Nicolas Paparoditis</b>	DR - IGN France	Rapporteur et examinateur
<b>Mme Beatriz Marcotegui</b>	MR - MINES ParisTech	Examineur
<b>M. Paul Checchin</b>	MCF, HDR - Université Blaise Pascal	Co-directeur de thèse
<b>M. Laurent Trassoudaine</b>	PR - Université Blaise Pascal	Directeur de thèse

# Résumé

Au cours des dernières années, la cartographie urbaine 3D a suscité un intérêt croissant pour répondre à la demande d'applications d'analyse des scènes urbaines tournées vers un large public. Conjointement les techniques d'acquisition de données 3D progressaient. Les travaux concernant la modélisation et la visualisation 3D des villes se sont donc intensifiés.

Des applications fournissent au plus grand nombre des visualisations efficaces de modèles urbains à grande échelle sur la base de des imageries aérienne et satellitaire. Naturellement, la demande s'est portée vers des représentations avec un point de vue terrestre pour offrir une visualisation 3D plus détaillée et plus réaliste. Intégrées dans plusieurs navigateurs géographiques comme Google Street View, Microsoft Visual Earth ou Géoportail, ces modélisations sont désormais accessibles et offrent une représentation réaliste du terrain, créée à partir des numériseurs mobiles terrestres.

Dans des environnements urbains, la qualité des données obtenues à partir de ces véhicules terrestres hybrides est largement entravée par la présence d'objets temporairement statiques ou dynamiques (piétons, voitures, etc.) dans la scène. La mise à jour de la cartographie urbaine via la détection des modifications et le traitement des données bruitées dans les environnements urbains complexes, l'appariement des nuages de points au cours de passages successifs, voire la gestion des grandes variations d'aspect de la scène dues aux conditions environnementales constituent d'autres problèmes délicats associés à cette thématique. Plus récemment, les tâches de perception s'efforcent également de mener une analyse sémantique de l'environnement urbain pour renforcer les applications intégrant des cartes urbaines 3D.

Dans cette thèse, nous présentons un travail supportant le passage à l'échelle pour la cartographie 3D urbaine automatique incorporant la reconnaissance et l'intégration temporelle. Nous présentons en détail les pratiques actuelles du domaine ainsi que les différentes méthodes, les applications, les technologies récentes d'acquisition des données et de cartographie, ainsi que les différents problèmes et les défis qui leur sont associés. Le travail présenté se confronte à ces nombreux défis mais principalement à la classification des zones urbaines l'environnement, à la détection automatique des changements, à la mise à jour efficace de la carte et l'analyse sémantique de l'environnement urbain.

Dans la méthode proposée, nous effectuons d'abord la classification de l'environnement urbain en éléments permanents et temporaires. Les objets classés comme temporaire sont ensuite retirés du nuage de points 3D laissant une zone perforée dans le nuage de points 3D. Ces zones perforées ainsi que d'autres imperfections sont ensuite analysées et progressivement éliminées par une mise à jour incrémentale exploitant le concept de multiples passages. Nous montrons que la méthode d'intégration temporelle proposée permet également d'améliorer l'analyse sémantique de l'environnement urbain, notamment les façades des bâtiments. Les résultats, évalués sur des données réelles en utilisant différentes métriques, démontrent non seulement que la cartographie 3D résultante est précise et bien mise à jour, qu'elle ne contient que les caractéristiques permanentes exactes et sans imperfections, mais aussi que la méthode est également adaptée pour opérer sur des scènes urbaines de grande taille. La méthode est adaptée pour des applications liées à la modélisation et la cartographie du paysage urbain nécessitant une mise à jour fréquente de la base de données.

**Mots-clés :** cartographie urbaine, données LiDAR, nuages de points 3D, segmentation, classification, multi-passages, détection des changements, mise à jour incrémentale, analyse sémantique.

# Abstract

Over the years, 3D urban cartography has gained widespread interest and importance in the scientific community due to an ever increasing demand for urban landscape analysis for different popular applications, coupled with advances in 3D data acquisition technology. As a result, in the last few years, work on the 3D modeling and visualization of cities has intensified.

Lately, applications have been very successful in delivering effective visualizations of large scale models based on aerial and satellite imagery to a broad audience. This has created a demand for ground based models as the next logical step to offer 3D visualizations of cities. Integrated in several geographical navigators, like Google Street View, Microsoft Visual Earth or Geoportail, several such models are accessible to large public who enthusiastically view the real-like representation of the terrain, created by mobile terrestrial image acquisition techniques.

However, in urban environments, the quality of data acquired by these hybrid terrestrial vehicles is widely hampered by the presence of temporary stationary and dynamic objects (pedestrians, cars, etc.) in the scene. Other associated problems include efficient update of the urban cartography, effective change detection in the urban environment and issues like processing noisy data in the cluttered urban environment, matching / registration of point clouds in successive passages, and wide variations in environmental conditions, etc. Another aspect that has attracted a lot of attention recently is the semantic analysis of the urban environment to enrich semantically 3D mapping of urban cities, necessary for various perception tasks and modern applications.

In this thesis, we present a scalable framework for automatic 3D urban cartography which incorporates recognition and temporal integration. We present in details the current practices in the domain along with the different methods, applications, recent data acquisition and mapping technologies as well as the different problems and challenges associated with them. The work presented addresses many of these challenges mainly pertaining to classification of urban environment, automatic change detection, efficient updating of 3D urban cartography and semantic analysis of the urban environment.

In the proposed method, we first classify the urban environment into permanent and temporary classes. The objects classified as temporary are then removed from the 3D point cloud leaving behind a perforated 3D point cloud of the urban environment. These perforations along with other imperfections are then analyzed and progressively removed by incremental updating exploiting the concept of multiple passages. We also show that the proposed method of temporal integration also helps in improved semantic analysis of the urban environment, specially building façades. The proposed methods ensure that the resulting 3D cartography contains only the exact, accurate and well updated permanent features of the urban environment. These methods are validated on real data obtained from different sources in different environments. The results not only demonstrate the efficiency, scalability and technical strength of the method but also that it is ideally suited for applications pertaining to urban landscape modeling and cartography requiring frequent database updating.

**Keywords :** urban cartography, LiDAR data, 3D point clouds, segmentation, classification, multi-passages, change detection, incremental updating and semantic analysis.