

# Modélisation automatique des données LIDAR

A. BELLAKAOUT<sup>1</sup>, M. CHERKAOUI OMARI<sup>1</sup>, M. ETTARID<sup>1</sup>, A. TOUZANI<sup>2</sup>

(Reçu le 22/01/2015; Accepté le 07/03/2015)

## Résumé

Malgré les progrès réalisés en vision par ordinateur et en photogrammétrie aérienne, la reconstitution automatique de scène tridimensionnelle à partir des images ou bien des données LIDAR restent l'un des problèmes complexes et aussi un large champ de recherche. Les modèles 3D précis et détaillés des bâtiments ont un intérêt majeur dans plusieurs domaines tels que l'urbanisme, la navigation, la planification des réseaux de télécommunication et la simulation militaire, ces modèles doivent être périodiquement alimentés et mis à jour. De nombreuses approches de modélisation 3D ont été proposées durant ces dernières décennies qui pouvaient être classées en fonction de la donnée utilisée (Image satellitaire, MNS, Nuage de points), du type du traitement (paramétrique ou non paramétrique) ainsi que le taux d'intervention humaine (automatique, semi automatique ou bien manuel). La modélisation de l'information 3D d'une façon automatique est une étape primordiale pour la mise en œuvre de plusieurs applications actuelles qui nécessitent une interprétation de haut niveau des données LASER. Par conséquent, il existe un intérêt croissant pour ce domaine de recherche et une vaste littérature. Nous proposons, à travers cet article, une étude de l'état de l'art des différentes méthodes de modélisation proposées dans la littérature.

**Mots clés:** Modélisation, LIDAR, 3D, Automatique.

## Abstract

Despite progress in computer vision and aerial photogrammetry, automatic reconstruction of three-dimensional scene from images or LIDAR data are one of the complex problems and also a wide field of research. Accurate and detailed 3D models of buildings have a major interest in many fields such as city planning, navigation, planning of networks telecommunication and military simulation, these models should be powered and updated periodically. Many 3D modeling approaches have been proposed in recent decades that could be classified according to the data used (satellite image, MNS, point cloud), the type of treatment (parametric or non-parametric) and the rate of human intervention (automatic, semi-automatic or manual). Modeling 3D information in an automated manner is an essential step for the implementation of several current applications that require a high level of LASER data interpretation. Therefore, there is a growing interest in this area of research and an extensive literature. We propose, through this paper, a study of the state of the art of different modeling approaches reported in the literature.

**Keywords:** Modeling, LIDAR, 3D, Automatic

## INTRODUCTION

Après la phase de segmentation des données LIDAR en plusieurs classes, la classe « bâtiments » doit être modélisée en vue d'une exploitation éventuelle.

La modélisation 3D d'un objet est la représentation vectorielle de cet objet dans un système à trois dimensions, les modèles 3D trouvent des applications dans plusieurs domaines, à savoir à titre d'exemple, la modélisation d'une ville, la planification des catastrophes naturelles et l'évaluation des conséquences.

L'importance de l'information spatiale en 3D, la demande croissante des systèmes d'information géographique (SIG) et la croissance démographique élevée, nous mène à automatiser le maximum possible la modélisation des objets 3D et spécialement les bâtiments dans les zones urbaines à partir des données LIDAR.

Avec le développement de la technologie des capteurs et la forte demande des besoins des utilisateurs, de nombreuses approches pour la génération de modèle de bâtiments ont été proposées et elles peuvent être classées en fonction de la source de données utilisées, la stratégie du traitement des données, ainsi que le taux de l'interaction humaine

La modélisation d'un bâtiment est la représentation vectorielle en trois dimensions résumant l'objet par un ensemble de plans décrivant les façades ou les toits et de droites représentant les arêtes de façades ou de toit également.

Les principales méthodes de modélisation peuvent être classées en fonction de la donnée utilisée (Image satellitaire, MNS, Nuage de points), du type du traitement (paramétrique ou non paramétrique) ainsi que du taux d'intervention humaine (automatique, semi-automatique ou bien manuel).

<sup>1</sup> Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc. Email: bellakaout\_a@yahoo.fr

<sup>2</sup> École Mohammedia des ingénieurs. Maroc

## ÉTAT DE L'ART

Le résultat exploitable d'un traitement des données LIDAR sont les modèles 3D du nuage de points. Cette modélisation peut être obtenue en utilisant d'autres sources d'information comme les données cadastrales 2D, l'image satellitaire, le MNS, ou bien juste en traitant les données LIDAR (X, Y, Z).

La modélisation peut être menée en trois approches distinctes classées sur la base des données utilisées:

- La première est basée sur le nuage de points sans se référer aux modèles prédéfinis ni aux autres sources d'information, ce type est appelé la modélisation non paramétrique;
- La deuxième utilise des modèles prédéfinis, c'est-à-dire, le traitement se réfère à un ensemble des modèles de bâtiments qui sont superposés aux nuages de points pour déterminer quel modèle basique parmi les modèles proposés lui ressemble le plus pour ensuite calculer les valeurs les plus probables à affecter aux paramètres du modèle choisi, c'est la modélisation paramétrique.
- Et la troisième approche de modélisation combine les deux approches précitées c'est une modélisation hybride.

L'avantage de la modélisation non paramétrique est le fait de modéliser un bâtiment quelque soit sa forme géométrique contrairement à la modélisation paramétrique qui oblige des formes prédéfinies.

### Approches basées le nuage de points segmenté (Modélisation non paramétrique)

Cette modélisation traite les bâtiments d'une façon générale, quelques soit leurs complexités, sans les décomposer en partis simples. Ce type de modélisation se décompose en deux parties: modélisation des plans du toit et modélisation des façades.

Plusieurs méthodes ont été développées dans ce sens, afin de modéliser un bâtiment sans se référer aux modèles prédéfinis. Ces méthodes se basent en général sur des modèles mathématiques afin de détecter les plans des toits existants dans la scène à modéliser et supposent que toutes les surfaces uniformes représentent forcément les toits de bâtiments.

Dans ce sens, le MNS est utilisé pour extraire les lignes de rupture afin de modéliser les plans des toits. Cette méthode est proposée par Haala et Brenner (1997) et plus tard par Brieste (2004) en utilisant le nuage de points.

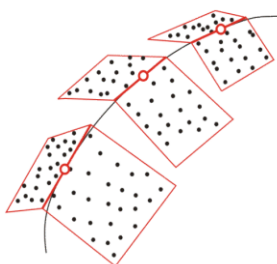


Figure 1: Modélisation des toits par la méthode des lignes de ruptures (Brieste, 2004)

L'algorithme RANSAC est aussi utilisé dans cette gamme de méthodes de modélisation 3D. Il a été proposé par un ensemble de chercheurs parmi eux Tarsha-Kurdi *et al.* (2007) pour la modélisation des bâtiments en combinaison avec la transformée de Hough. De même, cet algorithme a été proposé par Reitberger *et al.* (2009) pour l'extraction et la modélisation des arbres.

La transformée de Hough, proposée par Overby *et al.* (2004) est une technique de reconnaissance de formes inventée en 1962 par Paul Hough, et qui est utilisée dans le traitement d'images numériques.

La croissance de région est une technique proposée par Alharthy et Bethel (2004) pour les données LIDAR. Elle consiste à faire progressivement grossir les régions autour de leur point de départ. Elle se compose de deux étapes: Choisir les points de départ des régions et faire grossir les régions par agglomérations des pixels voisins.

Le calcul des plans moyens passant par chaque pixel du MNS généré par les données LIDAR est une technique proposée par Elaksher et Bethel (2002). Par la suite, une compensation par contraintes (parallélisme ou perpendicularité) est appliquée aux plans trouvés pour mieux modéliser un bâtiment.

Aussi les opérateurs de morphologies mathématiques sont proposés par Rottensteiner et Briese (2002) sur le MNS afin de déduire les toits des bâtiments en combinaisons avec d'autres méthodes comme la croissance de région.

Rau et Lin (2011) propose une méthode basée sur le TIN «IN-fusion et réorganisation TIN-merging and reshaping (TMR)». L'algorithme détecte au début l'orientation principale du bâtiment, ensuite, les lignes structurelles sont détectées à partir des nuages de points projetés sur le plan cadastral 2D et enfin le TMR est appliqué pour modéliser le bâtiment.

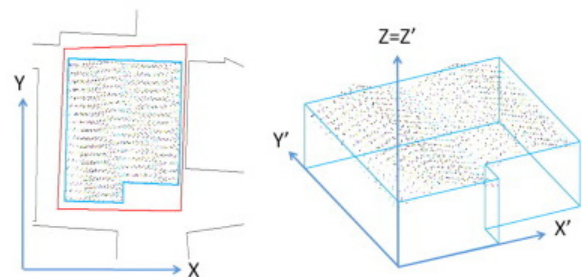


Figure 2: Projection du nuage de points sur le plan cadastral 2D (Rau et Lin, 2011)

La triangulation de Delaunay proposée par Hofmann (2004) est une méthode utilisée pour la modélisation non paramétrique. Au début, la triangulation de Delaunay est appliquée au nuage de points et par la suite l'algorithme calcule les équations des plans des triangles et regroupe les triangles appartenant au même plan. Cette méthode traite uniquement le nuage de point et segmente les bâtiments en deux classes qui sont façades et toit.

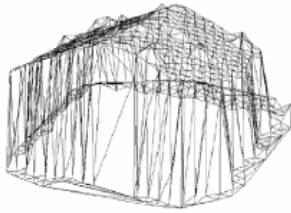


Figure 3: Modélisation par triangulation de Delaunay selon (Hofmann, 2004)

La modélisation non paramétrique fournit des modèles déformés dus à plusieurs facteurs, tels que:

- La complexité des formes des bâtiments;
- L'hypothèse qu'un bâtiment est représenté par des plans et droites;
- L'irrégularité des points du nuage;
- L'interpolation des points du nuage vers le MNS...

### Approches basées sur des modèles prédéfinis (Modélisation paramétrique)

La modélisation paramétrique se réfère à un catalogue de modèles prédéfinis dont chaque modèle est décrit par un ensemble de paramètres. Pour modéliser un bâtiment, il suffit de déterminer quel modèle lui ressemble le plus.

Dans la littérature, on trouve deux types d'algorithmes dans cette approche, ceux traitant le cas de bâtiments simples et ceux traitant le cas de bâtiments de forme complexe.

#### Cas de bâtiment simple

##### Moments invariants

L'analyse des moments invariants a été utilisée dans le traitement d'image pendant une longue période. Les premières publications remontent aux années 1960 (Hu, 1962).

D'après Maas et Vosselman (1999), un bâtiment simple peut être décrit par un ensemble de paramètres qui sont calculés en utilisant les équations des moments d'ordre zéro, d'ordre un et d'ordre deux des points du nuage et les comparer à un modèle donné.

Cette approche traite directement le nuage de points brut.

Le moment est donné par l'équation suivante:

$$m_{ij} = \sum_{p=p_1}^{pn} X_i Y_j m_{ij} = \sum_{p=p_1}^{pn} X_i Y_j$$

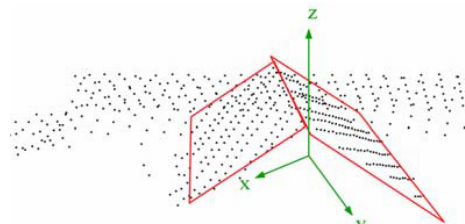
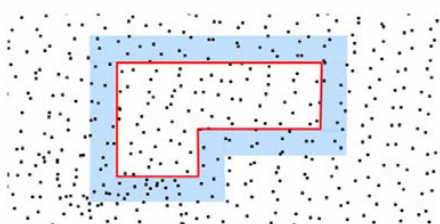


Figure 6 : En haut la projection sur les données exogènes et en bas les profils verticaux (Schwalbe et al., 2005)

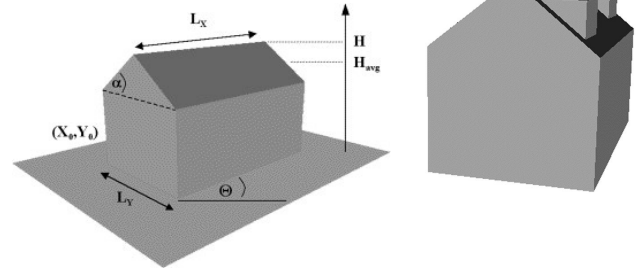


Figure 4: Les paramètres d'un modèle de bâtiment simple (Maas et Vosselman, 1999)

#### Analyse des contours de bâtiments

Cette méthode traite le MNS généré du nuage de points. Elle calcule d'abord la largeur et la longueur du bâtiment et par la suite sa hauteur; ce qui donne les paramètres géométriques du bâtiment ( $L_1$ ,  $L_2$  et  $h$ ) à comparer aux modèles prédéfinis (Weidner et Forstner, 1995; Weidner, 1996).

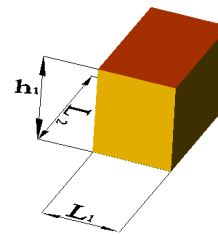


Figure 5: Les paramètres géométriques d'un bâtiment selon Weidner et Forstner (1995)

#### Cas de bâtiment complexe

##### Profils verticaux

Cette méthode combine le nuage de points 3D avec autres données exogènes (Plan cadastral par exemple). Chaque bâtiment complexe est constitué d'un ensemble de bâtiments simples.

En utilisant les données exogènes, le bâtiment est aligné et segmenté dans un plan 2D et par la suite leur équation de façade sera calculée. Les équations des plans du toit sont formulées en fonction de l'étude des profils verticaux (Schwalbe et al., 2005). L'inconvénient majeur de cette méthode est la disponibilité des données exogènes.

**Normales des points**

Elle se distingue de la méthode des profils verticaux par la segmentation du nuage de points sur la base des directions des normales des plans qui sont calculées à l'aide des points du toit et leur voisinage direct dans le MNS (Haala *et al.*, 1998).

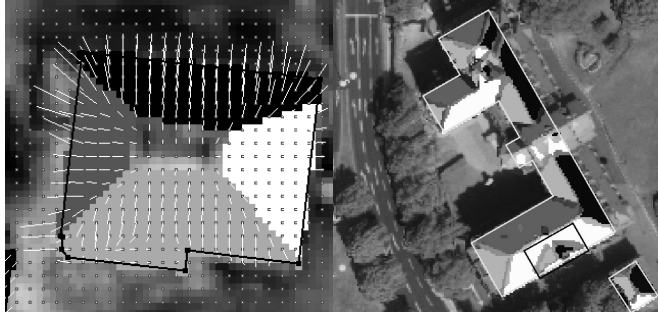


Figure 7: Décomposition du bâtiment en petites parties rectangulaires. (Haala *et al.*, 1998)

**Calcul des primitives**

C'est un algorithme proposé par Zhang *et al.* (2011) et plus tard par Lafarge et Mallet (2012) et dont le but est la combinaison des images et des données LIDAR afin de mieux modéliser les bâtiments complexes. Au début, l'algorithme décompose le bâtiment en plusieurs primitives et calcule grossièrement leurs paramètres tels que la largeur, la longueur, la hauteur, l'orientation et la translation. Par la suite, les contours sont extraits à partir des images tandis que les plans sont extraits à partir des données LIDAR. Finalement, une compensation est appliquée aux paramètres des primitives pour les ajuster le mieux possible aux données (Figure 8).

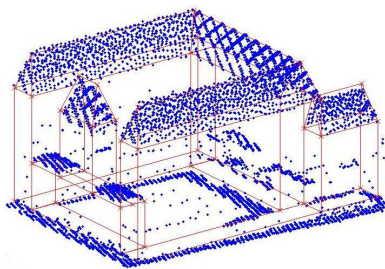


Figure 8: Modélisation 3D par procédés des primitives (Zhang *et al.*, 2011)

**Modèle flottant**

Les modèles flottants sont des modèles primitifs prédéfinis dans l'espace dont la taille est ajustée en fonction d'un ensemble de paramètres. Les paramètres planimétriques sont calculés sur la base de la carte topographique tandis que les paramètres altimétriques sont calculés à partir du MNT et données LIDAR. Finalement, le modèle est superposé aux photos pour vérification. La procédure est semi-automatique; l'utilisateur choisit un modèle approprié et l'ajuste sur les contours des bâtiments en se basant sur la carte topographique. L'algorithme calcul la correspondance optimale entre le modèle et le plan.

La hauteur du toit est calculée à partir des données LIDAR et les résultats sont superposés aux photos pour vérification (Figure 9).

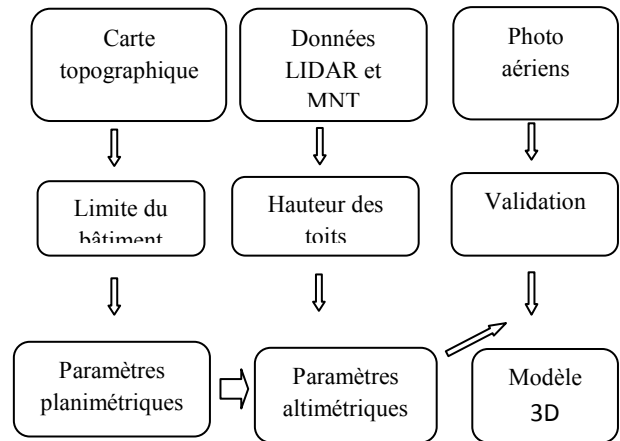


Figure 9: Organigramme de modélisation par modèles flottants (Wang, 2008)

**Boîte englobante**

Une Boîte Englobante (Bounding Box or minimum bounding rectangle), abrégée BE ou MBR, est un objet virtuel qui servira de repère dimensionnel pour diverses opérations de redimensionnement ou de déplacement. Kwak *et al.* (2012) ont proposé cette méthode pour la modélisation 3D d'une scène urbaine. Dans un premier temps, les données LIDAR sont traitées afin de produire les limites planimétriques des bâtiments (Figure 10). Les contours initiaux sont ensuite régularisées séquentiellement sur la base des boîtes englobantes.

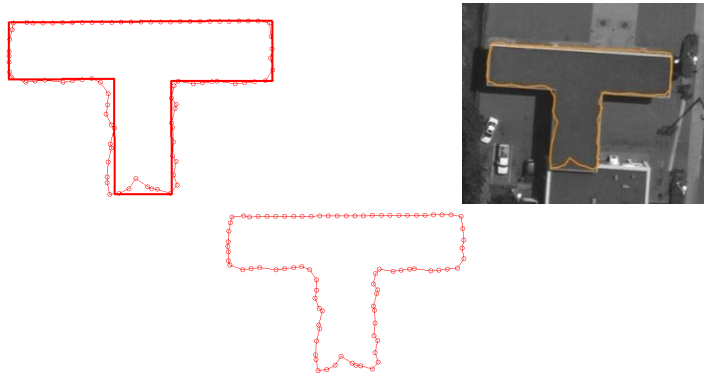


Figure 10: Modélisation par MBR récursif (Kwak *et al.*, 2012)

**Analyse des toits des bâtiments**

C'est une méthode qui cherche à détecter les meilleurs plans dans un nuage de points 3D ou une image afin de les comparer à une bibliothèque des formes de toit.

L'extraction des meilleurs plans dans une scène est fait par plusieurs méthodes, citons à titre d'exemple RANSAC qui est utilisé en 2002 par Cantzler *et al.* (2002) et plus tard par Durupt et Taillandier (2006). L'algorithme «Normal Driven RANSAC (ND-RANSAC)» est utilisé par Bretar et Roux (2005) pour détecter les plans du toit

d'un bâtiment. La transformée de Hough est utilisée par Vosselman et Dijkman (2001) pour déduire les contours de plans de toits.

Après l'extraction des plans de toit, l'algorithme «analyse des toits des bâtiments» compare ces plans à une bibliothèque prédéfinie comme celle établie par Milde et Brenner (2009) et dans laquelle ont décrit une liste des formes de toits les plus utilisées.

## CONCLUSION

Cet article synthétise un ensemble d'algorithmes de modélisation des données LIDAR développés par les recherches antérieures.

En analysant toutes les approches rencontrées dans la littérature, on constate que la notion de modélisation automatique reste encore un domaine de recherche et d'actualité. Jusqu'à présent, les chercheurs essaient de trouver un algorithme qui permet de traiter les données LIDAR avec un taux d'automatisme maximal en se basant soit sur les points LIDAR, les produits dérivés, ou bien en les combinant avec d'autres sources de données.

On a développé dans cet article les deux méthodes de modélisation, à savoir la modélisation non paramétrique et la modélisation paramétrique d'un bâtiment.

La modélisation paramétrique est la technique la plus simple et rapide. Cependant, elle se limite aux bâtiments de formes géométriques simples. Quant à la modélisation non paramétrique, elle traite le cas d'un bâtiment quelconque. Elle risque cependant de produire des modèles déformés, mais c'est la méthode qui traite le cas général d'un bâtiment.

Notre vision est de mettre en place un nouveau processus dans le domaine de modélisation automatique des objets 3D à partir des données LIDAR. Ce processus produira un modèle 3D de la scène traité en se basant sur le nuage de points pré segmenté, ce qui conserve la précision originale du nuage sans aucune interpolation des données et l'information 3D sera extraite, quelque soit la forme du bâtiment.

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Alharthy, A. and Bethel, J. (2004). Detailed building reconstruction from airborne laser data using a moving surface method. In: IAPRS, Istanbul, Turkey, Vol. XXXV, Part B3.
- Ameri, B. and Fritsch, D. (2000). Automatic 3D building reconstruction using plane-roof structures, ASPRS, Washington DC, [www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2000/pub2000.html](http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/2000/pub2000.html)
- Brenner, C. (2000). Towards fully automatic generation of city models. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing*, vol. 32, Part 3. Amsterdam, pp. 85–92.
- Bretar, F. and Roux, M. (2005). Hybrid image segmentation using LiDAR 3D planar primitives. ISPRS Proceedings. Workshop Laser scanning. Enschede, the Netherlands, September 12-14, 2005.
- Brieste C. (2004). Three dimensional modelling of breaklines from airborne laser scanner data. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), XX<sup>th</sup> ISPRS Congress, Istanbul, Turkey.
- Cantzler H., Fisher R. and Devy M., (2002). Quality enhancement of reconstructed 3D models using coplanarity and constraints, *Pattern Recognition*, pp. 34-41.
- Durupt, M. and Taillandier, F. (2006). An automatic reconstruction from a digital elevation model and cadastral data: an operational approach. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36 (Part 3/W24).
- Elaksher, A. F. and Bethel, J. S. (2002). Reconstructing 3D Buildings from LIDAR Data. *IAPRS*, Vol. XXXIV, part 3A/B: 102-107.
- Kwak E., Al-Durgham M. and Habib A. (2012). automatic 3D building model generation from lidar and image data using sequential minimum bounding rectangle. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol. XXXIX-B3.
- Tarsha-Kurdi F., Landes T., and P. Grussenmeyer., (2007). Hough-transform and extended RANSAC algorithms for automatic detection of 3D building roof planes from Lidar data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36:407-412.
- Haala, N. and Brenner, K. (1997). Generation of 3D city models from airborne laser scanning data. Proceedings EARSEL Workshop on LIDAR remote sensing on land and sea, Tallinn/Estonia.
- Haala, N., Brenner, C. and Anders K.-H. (1998). 3D Urban GIS from laser Altimeter and 2D Map Data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 32:339-346.
- Haala, N. and Kada, M. (2010). An update on automatic 3D building reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65:570-580.
- Hofmann, A. D. (2004). Analysis of tin-structure parameter spaces in airborne laser scanner data for 3D building model generation. XX<sup>th</sup> Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Geo-Imagery Bridging Continents, Istanbul, 12-23 July 2004, *Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXV, part B3.
- Hu, M., (1962). Visual pattern recognition by moment invariants. *IRE Transactions on Information Theory* IT 8(2), 179–187.
- Reitberger J., Schnorr C., Krzystek P. and Stilla U. (2009). 3D segmentation of single trees exploiting full waveform LIDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64:561–574.

- Lafarge, F. and Mallet, C. (2012). Creating large-scale city models from 3D-point clouds: a robust approach with hybrid representation. *International Journal of Computer Vision* Vol. 99(1): 69-85.
- Maas, H.-G., Vosselman, G., (1999). Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol. 54, No. 2/3.
- Milde, J. and Brenner, C. (2009). Graph-based modeling of building roofs. In: Proceedings of the 12th AGILE Conference on GIScience, Hannover, Germany (on CD-ROM).
- Overby, J., Bodum, L., Kjems, E. and Ilsoe, P. M. (2004). Automatic 3d building reconstruction from airborne laser scanning and cadastral scanning and cadastral data using Hough transform. XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Geo-Imagery Bridging Continents, Istanbul, 12 - 23 July 2004, *Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXV, part B3.
- Rau, J.Y., and Lin, B.C., (2011). Automatic roof model reconstruction from ALS data and 2D ground plans based on side projection and the TMR algorithm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66: S13-S27.
- Rottensteiner, F. and Briese, Ch., (2002). A new method for building extraction urban areas from high-resolution lidar data. ISPRS workshop, comm. III. Graz; 09 - 13. *Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume XXXIV / 3A (2002), ISSN 1682-1750; 295-301.
- Schwalbe, E., Maas, H-G. and Seidel, F. (2005). 3D building generation from airborne laser scanner data using 2D GIS data and orthogonal point cloud projections. Proceedings of the ISPRS Workshop Laser scanning. Enschede, the Netherlands, September 12-14.
- Vosselman, G. and Dijkman, S. (2001). 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIV-3/W4:37-43.
- Weidner, U. (1996). An approach to building extraction from digital surface models. Proceedings of the 18<sup>th</sup> ISPRS Congress, Comm. III, WG 2, Vienna, Austria, 1996, pp. 924-929.
- Weidner, U. and Förstner, W. (1995). Towards automatic building extraction from high resolution digital elevation models. *ISPRS Journal* 50(4):38-49.
- Wang, S. (2008). Floating model for building reconstruction from topographic maps and lidar data. XXI Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS 2008). Vol. XXXVII. Part B3b:681-686.
- Zhang, W., Grussenmeyer, P., Yan, G. and Mohamed, M. (2011). Primitive based building reconstruction by integrating of LiDAR data and optical imagery. *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 38(5/W12), Calgary, Canada (on CDROM).