

# Recalage d'un nuage de points de scanner laser terrestre avec une image de bâtiment

Abdelhamid BENNIS<sup>1,2</sup>, Vincent BOMBARDIER<sup>1</sup>, Philippe THIRIET<sup>2</sup>, David BRIE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre de Recherche en Automatique de Nancy, Nancy-Université, CNRS  
Boulevard des Aiguillettes, B.P. 70239, F-54506 Vandœuvre-l'ès-Nancy, France

<sup>2</sup>CRITTBOIS, 27 rue Philippe Seguin, B.P. 91067, F-88051 Epinal Cedex  
Abdelhamid.bennis@cran.uhp-nancy.com, Vencent.bombardier@cran.uhp-nancy.com  
Philippe.thiriet@cribois.net, David.brie@cran.uhp-nancy.com

**Résumé** — Dans ce travail, une approche de recalage de données télémétriques avec des images photographiques de bâtiments est présentée. Il s'agit, d'une part, d'un problème de segmentation d'un nuage de points 3D de bâtiment et d'extraction des contours du nuage de points. Pour le recalage, nous adoptons une approche contour et proposons un algorithme qui permet de s'affranchir d'une sélection approximative des points de contrôle. L'approche est appliquée à des données réelles.

**Abstract** — In this work, an approach allowing the registration of TLS data with a photographic picture of buildings is proposed. On the one hand, it requires the segmentation and edge extraction of the data cloud. For the registration, a contour-based approach is considered and an algorithm allowing to cope with an approximate control point selection is proposed. The approach is applied to real data.

## 1 Introduction

Les télémètres laser terrestres (TLS : Terrestrial Laser Scanner) ont connu un essor au début des années 90 et sont utilisés dans des applications de topographie, de reconstruction 3D de milieu urbain, de numérisation de monuments et de retro-ingénierie (élaboration de plan CAO de bâtiments à partir d'un scan TLS). Un TLS produit un nuage de points de grande dimension : typiquement un scan de bâtiment est composé de  $10^6$  points et les télémètres de dernière génération fournissent pour chaque point ses coordonnées géométriques, l'intensité du laser réfléchi et la couleur en RGB de la surface en ce point. Un nuage de point est un ensemble non structuré et une difficulté liée au traitement de ce type de données est relative à la segmentation du nuage de points, problème pour lequel différentes approches ont été proposées [1, 2, 3, 4, 7, 9, 10]. D'un point de vue méthodologique, il s'agit d'extraire du nuage de points, un sous-ensemble présentant une structure particulière, en l'occurrence, dans le cas d'un bâtiment, des plans représentant par exemple une façade, un pan du toit ... C'est cette phase que nous désignons sous le terme de segmentation du nuage de points.

Dans ce travail, nous nous intéressons au problème du recalage du nuage de point avec une image photographique du bâtiment scanné. Le recalage d'objets 3D avec des images a de nombreuses applications en télédétection (voir [3] par exemple). Cependant, c'est un problème qui n'a pas

été traité pour le problème de la reconstruction 3D d'environnements urbains et, à notre connaissance, le seul travail en lien avec ce problème est [8]. Il convient cependant de souligner qu'il ne s'intéresse pas spécifiquement au problème du recalage d'images mais utilise un recalage "manuel" pour déterminer, à partir d'une image, une texture permettant le rendu réaliste des bâtiments. D'autres applications de cette procédure de recalage sont envisageables : par exemple, il est possible en recalant le nuage de points avec une image infra-rouge de ce bâtiment d'avoir une localisation précise des pertes thermiques. Dans ce travail, on propose une approche de recalage "contour" qui consiste à optimiser les paramètres de la transformation assurant un nombre de points communs maximal entre les contours du nuage de points et les contours de l'image. L'optimisation est réalisée par un algorithme de type "glouton".

Ce document est organisé comme suit : dans la section 2, on présente l'application de l'algorithme RANSAC à la segmentation du nuage de points du TLS. L'extraction des points contours est réalisée en utilisant une propriété de la triangulation de Delaunay. La procédure de recalage est présentée en section 3. C'est une méthode qui permet, dans une certaine mesure, de s'affranchir du problème de sélection des points de contrôle. Outre une présentation de l'algorithme, on donne quelques éléments relatifs à sa mise en oeuvre. L'ensemble de la procédure est appliquée à des données réelles.

## 2 Segmentation et extraction des contours du nuage de points

### 2.1 Segmentation du nuage de points

Une façon très générale de décrire le nuage de points correspondant à un bâtiment est de le considérer comme la réunion d'ensembles de points appartenant à des plans qui vont représenter les différentes parties du bâtiment (façade, pan de toiture, terrasse, ...). Chaque ensemble de points 3D extrait appartient à un plan donné si sa distance par rapport au plan est nulle. En pratique, compte tenu des erreurs (dues au bruit de mesure, aux erreurs de modèle, à la granularité de la façade), un point appartient à un plan donné si sa distance à ce plan est faible. Il s'agit donc de trouver le sous-ensemble de points de plus grande cardinalité dont la distance à un plan (inconnu) est inférieure à un seuil. Il s'agit en fait d'un problème d'optimisation combinatoire nécessitant  $C_M^3$  opérations où  $M$  est le nombre de points du nuage et 3 le nombre de points nécessaires pour constituer un plan. Dès que la taille du nuage de points est importante (ce qui est le cas dans notre application), la complexité de cette approche la rend totalement impossible à implanter et il devient nécessaire de recourir à des méthodes sous-optimales. Nous avons utilisé une solution proposée par [4] qui se fonde sur l'algorithme RANSAC (Random Sampling Consensus) [6]. Cet algorithme se compose essentiellement de 2 étapes : **la proposition** d'un modèle et **le test** du modèle. Ces deux étapes sont répétées jusqu'à ce qu'une **condition d'arrêt** soit vérifiée.

**Proposition** : Dans cette étape, RANSAC tire aléatoirement un échantillon minimal - 3 points dans notre cas - de l'ensemble des données  $D$  permettant de déterminer le vecteur de paramètres  $\theta = [a, b, c, d]$  décrivant le plan d'équation  $ax + by + cz + d = 0$ .

**Test** : Dans cette étape, on vérifie quels sont les éléments de l'ensemble de données qui sont consistants avec le modèle élaboré dans la première partie. Pour cela, on calcule la distance euclidienne  $e_M(d_i, \theta)$  entre le point  $d_i$  et sa projection orthogonale sur le plan de paramètre  $\theta$ . On peut alors construire l'ensemble des points consistants  $CS(\theta)$ , c'est-à-dire ceux dont la distance par rapport au plan est inférieure à un seuil  $\delta$

$$CS(\theta) = \{d \in D : e_M(d_i; \theta) \leq \delta\}. \quad (1)$$

On calcule alors la fonction coût du modèle.

$$\mathcal{C}(CS(\theta)) = \sum_{i=1}^N \rho(d_i, \theta) \quad (2)$$

avec

$$\rho(d_i, \theta) = \begin{cases} 0 & \text{si } e_M(d, \theta) < \delta, \\ 1 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (3)$$

**Condition d'arrêt** : Le modèle minimisant la fonction de coût (c'est-à-dire maximisant le nombre de points consistants) est considéré comme étant le meilleur. Le processus

s'arrête lorsque la probabilité de trouver un modèle ayant une meilleure fonction coût devient trop faible. En pratique, cela revient à compter le nombre d'itérations depuis que le meilleur modèle a été trouvé et à arrêter le processus lorsque ce nombre dépasse une certaine valeur.

Lorsque la procédure est appliquée une seule fois, le plan extrait correspond au plan incluant le plus grand nombre de points, c'est-à-dire, en général, la façade du bâtiment. C'est ce plan qui est utilisé pour le recalage. Afin d'extraire l'ensemble des plans présents dans le nuage de points, on peut appliquer la procédure de façon séquentielle selon :

1. Extraction d'un plan ;
2. Mise à jour du nuage de points : on retire du nuage de points, les points appartenant au plan trouvé à l'étape 1 ;
3. On reboucle sur l'étape 1 jusqu'à ce que la condition d'arrêt soit satisfaite (nombre de points restants inférieur à un seuil).

Après plusieurs essais, nous avons choisi une valeur de  $\delta = 10mm$ . La figure 1 montre les différents plans extraits du nuage de points.

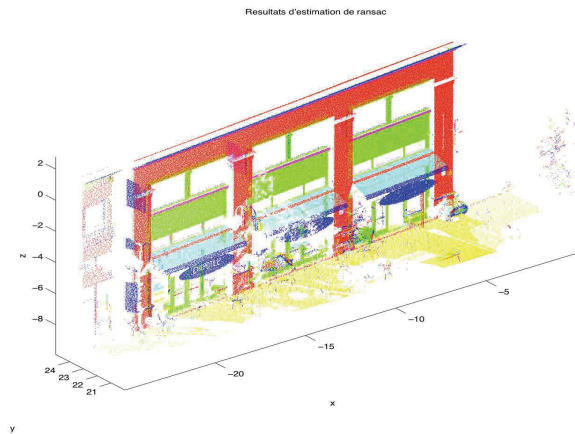


FIGURE 1 – Extraction des plans significatifs

### 2.2 Extraction des contours de la façade

L'approche utilisée pour l'extraction des contours repose sur une propriété de la triangulation de Delaunay qui stipule que les points des contours correspondent aux extrémités des plus longues arêtes des triangles de Delaunay [4]. Cependant, pour pouvoir appliquer cette approche, il est nécessaire, au préalable, de procéder à une étape de projection. En effet, compte tenu de la présence d'erreurs ( $\delta = 10mm$ ), les points affectés à un plan ne sont pas véritablement coplanaires. Pour cela, on procède donc à la projection des points dans le plan estimé. L'approche retenue pour effectuer cette étape de projection est de réaliser la décomposition en valeurs propres des données affectées au plan. Les vecteurs propres  $[v_1, v_2, v_3]$  forment une base orthonormée et les deux premiers vecteurs  $[v_1, v_2]$  forment une base du plan estimé. La projection dans le plan est

alors simplement obtenue en mettant à 0 les coordonnées des points du plan selon l'axe  $v_3$ . Ensuite, pour extraire les points contours, on applique une procédure de triangulation de Delaunay aux points projetés puis :

1. on calcule les distances entre les sommets de chaque triangle ;
2. on ordonne ces distances ;
3. on sélectionne les points qui ont une distance supérieure à un seuil  $\lambda$ .

La figure 2 donne un exemple de résultat de la méthode avec un seuil  $\lambda = 10$  cm. En augmentant la valeur du seuil, on diminue le nombre de points du contour. A ce stade, le traitement sur le nuage de points est terminé. Il reste donc à recalculer les contours de la façade avec l'image photographique du bâtiment.

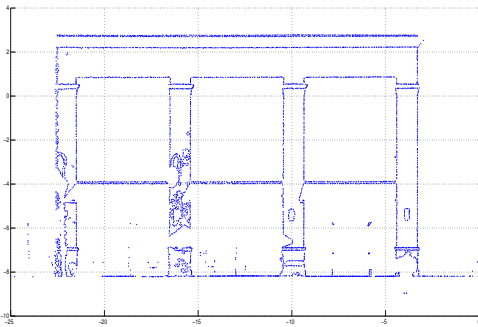


FIGURE 2 – Détection des contours

## 3 Recalage

### 3.1 Principe du recalage

Le recalage est une technique [11] qui consiste à mettre en correspondance deux ou plusieurs images, ceci afin de pouvoir comparer ou combiner leurs informations respectives. Il s'agit de trouver la transformation  $T$  telles que les coordonnées transformées  $(x', y')$  du point  $P$  de coordonnées  $(x, y)$  de l'image de référence, correspondent au mieux à ce même point de l'image cible. Nous avons considéré une transformation projective qui transforme les droites et plans en des droites et plans sans préserver le parallélisme : 2 droites ou plans parallèles ne le sont plus après transformation. Ce type de transformation permet donc de prendre en compte les effets de perspective. Pour déterminer la transformation  $T$ , une approche classique consiste à sélectionner des points de contrôle sur l'image de référence et les mêmes points sur l'image cible. La qualité du recalage est alors fortement liée à la qualité de positionnement des points de contrôle. En pratique, cela nécessite de transformer les contours de la façade (suite de points du plan) en une image référence que nous imposons être de même résolution que l'image photographique cible. Afin

de pouvoir procéder au recalage des contours du nuage de points nous procédons à une détection des contours sur cette image. Pour cela, nous avons utilisé le filtre de Canny [5]. L'image originale étant une image couleur, nous procédons dans un premier temps à sa transformation en une image en niveau de gris. C'est sur cette image qu'est appliqué l'algorithme de détection de contour. Le résultat est une image binaire qui sert d'image cible.

### 3.2 Algorithme proposé

Nous proposons une méthode qui permet, dans une certaine mesure, de s'affranchir du problème de sélection des points de contrôle. Celui-ci peut donc être effectuée de façon approximative. Le recalage de ces deux images se heurte à deux difficultés principales : les deux contours n'ont pas la même cardinalité et certains points du contour présents dans une image ne le sont pas dans l'autre et vice-versa. La méthode proposée consiste à déplacer les points de contrôle initiaux de l'image référence de façon à maximiser le nombre de pixels communs dans les deux images. L'intérêt d'utiliser ce type de critère est double. Il est bien adapté au caractère binaire des images contours. Egalement, les deux contours (nuage de points et image) n'ont pas la même cardinalité. Il peut donc être délicat (et coûteux) d'évaluer une distance entre les points des contours. En revanche, compter le nombre de points communs ne présente aucune difficulté. L'algorithme d'optimisation utilisé est de type "glouton" : il consiste à modifier successivement la position des points de contrôle, chaque point étant autorisé à évoluer dans un voisinage autour de la position courante. L'algorithme complet est donné sur le tableau 1. Les notations utilisées sont les suivantes :  $R^{(0)}$  représente l'ensemble de points de contrôle initiaux de l'image de référence,  $C$  l'ensemble fixe des points de contrôle de l'image cible,  $T(R, C)$  est la transformation correspondant aux points de contrôle  $R$  et  $C$ ,  $\mathcal{V}(R_i^{(0)})$  est un voisinage du point  $R_i^{(0)}$ ,  $R_{-i}^{(0)}$  est défini selon  $R_{-i}^{(0)} = R^{(0)} \setminus \{R_i^{(0)}\}$  et enfin  $\mathcal{J}(R)$  est le critère à maximiser qui correspond au nombre de points communs entre les deux images lorsque la transformation  $T(R, C)$  est appliquée à l'image de référence. La mise en oeuvre et les résultats de cette approche imposent de faire quelques commentaires. Le critère considéré n'est ni concave ni unimodal. Il est même possible de trouver des exemples où il n'admet pas un maximum global unique. Ceci a pour conséquence principale que la méthode ne peut pas être considérée comme totalement automatique. En effet, les points de contrôle initiaux doivent être choisis, certes approximativement, mais cependant pas trop éloignés de l'optimum (sous réserve qu'il existe et soit unique). Si tel n'est pas le cas, la méthode est susceptible de fournir une "mauvaise" solution. La fonction coût a été choisie, d'une part, parce qu'elle est simple à mettre en oeuvre et, d'autre part, parce qu'elle est bien adaptée au caractère binaire des contours.

TABLE 1 – Algorithme proposé

Entrées : points de contrôles $R^{(0)} = \{R_i^{(0)}, i = 1 \dots N\}$ $C = \{C_i, i = 1 \dots N\}$
Sorties : points de contrôles $R = \{R_i, i = 1 \dots N\}$ transformation $T(R, C)$
Initialisation Calculer $T(R^{(0)}, C), \mathcal{J}^0 = \mathcal{J}(R^0)$
Répéter Pour $i = 1$ à $N$ $\hat{R}_i = \arg \min_{R_i \in \mathcal{V}(R_i^{(0)})} \mathcal{J}(R_i, R_{-i}^{(0)})$ Si $\mathcal{J}(\hat{R}_i, R_{-i}^{(0)}) > \mathcal{J}^0$ $\mathcal{J}^0 = \mathcal{J}(R_i, R_{-i}^{(0)})$ $R^0 = \{\hat{R}_i, R_{-i}^{(0)}\}$ Fin si Fin pour Jusqu'à ce que $\mathcal{J}^0$ n'augmente plus $R = R^0$ , Calculer $T(R, C)$

Ceci étant, il est clair que d'autres choix sont possibles : l'information mutuelle [11] est certainement une alternative possible. La figure 3 donne le résultat du recalage du nuage de points 2D sur l'image de la façade après optimisation en ayant sélectionné 4 points de contrôles. La recherche se fait sur des voisinages de profondeur 1.

## 4 Conclusion

Une approche permettant le recalage de données TLS et d'images photographiques de bâtiments a été proposée. Ce travail s'inscrit dans le cadre de la maintenance et de l'isolation thermique extérieure de bâtiments anciens



FIGURE 3 – Résultat du recalage

pour lesquels les plans ne sont pas ou plus disponibles. A terme, l'objectif est de générer automatiquement un modèle CAO du bâtiment scanné et de réaliser le diagnostic thermique. Actuellement, nos travaux se focalisent sur la prise en compte de l'amplitude du faisceau laser dans la procédure de segmentation du nuage de points et sur le développement d'algorithmes plus rapides que RANSAC.

## Références

- [1] Y. Arayici. An approach for real world data modelling with the 3d terrestrial laser scanner for built environment. *Automation in Construction*, 16 :816–829, 2007.
- [2] T. Awwad, Q. Zhuand, Z. Du, and Y. Zhang. An improved segmentation approach for planar surfaces from unstructured 3d point clouds. *The Photogrammetric Record*, 25 :523–529, 2010.
- [3] K. Bae and Lichti.D. Automated registration of unorganised point clouds from terrestrial laser scanners. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 35 :222–227, 2004.
- [4] H. Boulaassal. *Segmentation et modélisation géométrique de façades de bâtiments à partir de relevés laser terrestres*. Thèse de doctorat de l'Université de Strasbourg. PhD thesis, Thèse de Doctorat, Université de Strasbourg, 2010.
- [5] J. Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 8, 11 1986.
- [6] M. A. Fischler and R. C. Bolles. Random sample consensus : A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24 :381–395, 1981.
- [7] S. Pu and G. Vosselman. Automatic extraction of building features from terrestrial laser scanning. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 36 :295–301, 2006.
- [8] S. Pu and G. Vosselman. Building facade reconstruction by fusing terrestrial laser points and images. *Sensors*, pages 4525–4542, June 2009.
- [9] F. Rottensteiner and Ch. Bries. A new method for building extraction in urban areas from high-resolution lidar data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34 :295–301, 2002.
- [10] C. Thomas. *Segmentation de nuage de points 3D pour la modélisation automatique d'environnements industriels*. PhD thesis, Thèse de doctorat, Ecole des mines de paris, 2002.
- [11] B. Zitová and J. Flusser. Image registration methods : a survey. *Image and Vision Computing*, 21 :977–1000, 2003.