

Adrien Bartoli

INRIA Rhône-Alpes, 655, avenue de l'Europe, 38334 Saint Ismier Cedex.

Adrien.Bartoli@inria.fr

## Résumé

*Cet article propose une méthode de segmentation d'un nuage de points en plans. Elle est basée sur une version modifiée de l'estimateur robuste RANSAC permettant la segmentation en sous-ensembles non disjoints. L'évaluation des plans hypothétiques est basée sur leur consistance photométrique. La notion de photoconsistance approximative permet alors de tolérer un certain bruit dans la reconstruction utilisée.*

*L'estimateur est intégré à un système de modélisation d'une scène plane par morceaux. Des expériences sur images réelles permettent alors de valider l'approche.*

**Mots clés :** RANSAC, segmentation, planarité par morceaux.

## 1 Introduction

La reconstruction automatique de scènes rigides à partir d'images est un des problèmes clef du domaine de la vision par ordinateur. De par son omniprésence dans les environnements humains, le cas des scènes planes par morceaux est spécialement important à considérer.

La modélisation d'une scène par des plans a plusieurs avantages. D'une part, elle permet d'obtenir une reconstruction de précision supérieure à celle obtenue par reconstruction individuelle de points [2] et elle facilite la création de modèles photoréalistes par application d'une texture à chacun des plans, e.g. [4]. D'autre part, le plan est une primitive de suffisamment bas niveau pour permettre de modéliser un grand nombre de scènes.

La plupart des systèmes de modélisation existants sont basés sur une reconstruction éparse automatique de points, voir par exemple [3], puis leur segmentation manuelle en primitives de plus haut niveau (plans, cubes, sphères), e.g. [4], un procédé laborieux dans le cas de scènes d'une géométrie complexe. La segmentation automatique en plans [1, 6, 12] permet d'enlever au procédé la part d'intervention manuelle qu'il comporte. Dans cet article, nous proposons l'utilisation d'une version adaptée de l'estimateur robuste RANSAC afin de réaliser cette tâche. L'algorithme de segmentation est décrit en section 2 et validé sur des images réelles en section 3. Dans les trois paragraphes suivants, nous examinons les travaux existants puis la problématique et en dégageons les contributions de cet article.

**Travaux antérieurs.** Les travaux existants sur la segmentation automatique en plans peuvent être séparés en deux grandes classes, selon leur prise en compte ou non de l'information photométrique. En particulier, des critères purement géométriques sont parfois utilisés, voir par exemple [12], entraînant divers problèmes décrits au paragraphe suivant.

L'information photométrique est utilisée dans [1, 6]. La méthode proposée dans [1] dépend de la précision de la reconstruction sous-jacente, quant à celle donnée dans [6], elle nécessite une connaissance a priori d'une collection de primitives de type architectural. Par ailleurs, ces travaux nécessitent une reconstruction métrique de la scène, en d'autres termes, la connaissance ou l'estimation des données de calibrage des caméras.

**Problématique.** L'estimateur robuste RANSAC [7] peut être utilisé à des fins de segmentation de données, par exemple dans le cas de multiples mouvements rigides [5], de groupements particuliers [11] ou de coplanarité [6].

Il fonctionne par échantillonnage aléatoire. Un nombre minimal de données permettant l'évaluation des paramètres est aléatoirement sélectionné, puis le nombre de données consistantes avec ces paramètres, ou *inliers*, est déterminé. Ce procédé est itéré puis les paramètres maximisant le nombre d'inliers sont sélectionnés. Dans notre cas, ces paramètres sont en théorie ceux du plan dominant. Déterminer l'appartenance d'un point à ce plan, et donc déterminer l'ensemble des inliers, ou *support* du plan, peut alors se faire par seuillage de la meilleure erreur de reprojection du point, contraint sur le plan. Il est important de noter que ceci constitue un *critère individuel* à chaque point, car il ne dépend pas des autres.

Le schéma de segmentation classique consiste à estimer les paramètres dominants puis à appliquer récursivement l'algorithme sur les *outliers*, données non compatibles avec ces paramètres.

Le premier problème relatif à ce schéma est l'obtention de sous-ensembles disjoints, ce qui n'est pas adapté dans notre cas, voir figure 1a.

Le second problème provient de l'évaluation de la pertinence des hypothèses, basée sur le nombre d'inliers. Dans le cas de la segmentation en plans, il arrive que des points puissent accidentellement se trouver sur un faux plan, ce que ne permettra pas de détecter un critère individuel. Ceci est illustré sur la figure 1b.

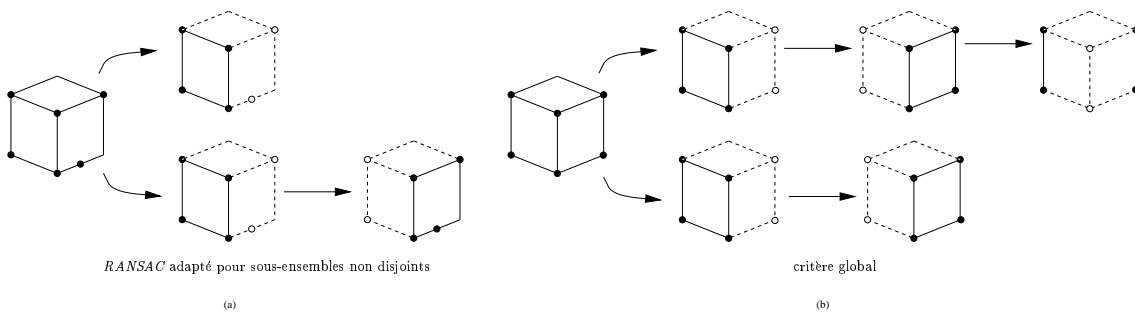


FIG. 1: *Illustration des problèmes dus à l'utilisation de RANSAC lors de la segmentation d'un nuage de points en plans. (a) : les sous-ensembles ne sont pas disjoints, c'est à dire qu'un point peut appartenir à plusieurs plans, et (b) : un critère individuel entraîne la détection de faux plans.*

**Contributions.** Les contributions de cet article sont les suivantes. Nous proposons une version adaptée de *RANSAC* permettant une segmentation non disjointes et suggérons l'utilisation d'un critère différent que le nombre d'inliers pour estimer la pertinence d'une hypothèse. Nous donnons alors un critère d'évaluation de la pertinence d'un plan basé sur son apparence. L'utilisation d'une mesure de photoconsistance approximative permet alors de tolérer un certain bruit dans la reconstruction sous-jacente.

## 2 Segmentation en plans

**Evaluation d'un plan hypothétique.** Evaluer la pertinence d'un plan hypothétique peut être effectué par la méthode suivante, illustrée sur la figure 2. Les

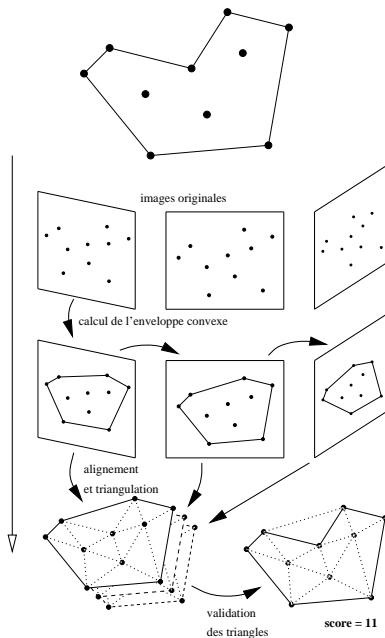


FIG. 2: *Evaluation de la pertinence d'un plan hypothétique.*

inliers sont déterminés par le critère individuel évoqué dans l'introduction et l'enveloppe convexe des points image correspondants fournit une première approximation du contour du plan. Chaque imagerie du plan<sup>1</sup> est ensuite corrigée afin qu'elles soient toutes alignées dans un même repère. Ces images sont ensuite triangulées selon le critère de Delaunay. La pertinence du plan est alors estimée par le nombre de triangles photoconsistants (nous supposons implicitement que la surface considérée est Lambertienne). Dans l'optique où la reconstruction n'est qu'imparfaite, nous utilisons en pratique la mesure de *r*-consistance définie dans [9].

Cette évaluation permet de discriminer les plans, convexes ou non, des fausses hypothèses et permet la détection des plans n'ayant qu'un faible support. La *r*-consistance d'un triangle correspond au fait que la luminance de chacun des pixels de chacune de ses images se retrouve sur les autres images dans un cercle de rayon *r*, où *r* est appelé le *rayon de désordre*. La comparaison de deux luminances est basée sur le calcul de sa déviation standard (avec les valeurs les plus proches dans un cercle de rayon *r* sur les autres images) puis un test du  $\chi^2$  à *k* - 1 degrés de liberté où *k* est le nombre d'images.

La triangulation des images pourrait être effectuée avec la méthode donnée dans [10] permettant de faire correspondre la délimitation des triangles avec la délimitation du plan. L'utilisation de la triangulation de Delaunay, moins coûteuse, donne cependant des résultats acceptables. La justification théorique de ce critère découle de celle donnée dans [10] et correspond à une maximisation de la vraisemblance photométrique du modèle.

**Adaptation de RANSAC.** Nous proposons de modifier l'estimateur *RANSAC* afin de tenir respectivement compte des deux problèmes évoqués ci-dessus, notamment en incorporant le critère d'évaluation donné précédemment.

La première modification concerne le fait que les

<sup>1</sup>. les images où le plan est visible sont celles où l'ensemble des inliers sont visibles.

sous-ensembles ne sont pas nécessairement disjoints. L'application récursive de *RANSAC* au cours de la segmentation ne doit plus être faite sur les outliers obtenus à l'étape précédente mais sur l'ensemble complet des données. Cependant, et afin de ne pas détecter toujours les mêmes paramètres dominants, il faut vérifier lors de l'échantillonnage aléatoire, que les paramètres proposés sont différents de ceux déjà détectés. Ceci implique de définir un opérateur de comparaison de deux plans.

La seconde modification consiste à ne plus estimer la pertinence d'une hypothèse par son nombre d'inliers mais par une grandeur spécifique au type de segmentation souhaitée. Avec cette modification, il apparaît que le nuage de points ne sert qu'à l'émission d'hypothèses et non plus à leur validation. Une fonction de pertinence d'un plan hypothétique a été définie au paragraphe précédent.

**Comparaison de deux plans.** Pour être performante, la mesure employée doit avoir un sens physique, par exemple la comparaison des équations des deux plans ne reflète pas nécessairement leur similitude. Nous utilisons donc la mesure suivante, consistant à déclarer deux plans similaires lorsque le taux des inliers qui leur sont communs est supérieur à un seuil a priori. Dans nos expériences, ce seuil a été pris entre 40 et 70 %.

### 3 Résultats expérimentaux

Nous décrivons l'application du processus de modélisation aux images de la figure 3a.

**Reconstruction initiale.** Sur 98 points d'intérêt détectés [8], 80 ont été appariés via une estimation robuste de la géométrie épipolaire [13]. L'erreur de reprojection a ensuite été minimisée de 1,98 à 0,15 pixels par un ajustement de faisceaux avec une paramétrisation métrique, figure 3b. Les données de calibrage ont été obtenues par calibrage statique. Il est clair que la structure métrique de la scène n'est utilisée qu'à des fins de visualisation des résultats et n'intervient en aucun cas dans le déroulement de l'algorithme.

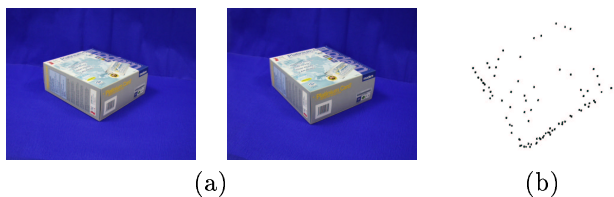


FIG. 3: (a) : deux images d'une scène plane par morceaux et (b) : sa reconstruction éparsée vue de haut. On remarquera que la coplanarité des points n'est qu'approximative.

**Segmentation en plans.** L'algorithme de segmentation en plans détecte trois plans, figure 4. Nous avons utilisé un rayon de désordre  $r=2$ . La segmentation est arrêtée lorsque l'algorithme ne peut détecter plus de deux triangles photoconsistants. Les contraintes géométriques apportées par la planarité par morceaux permettent d'apparier et de reconstruire 6 points supplémentaires.

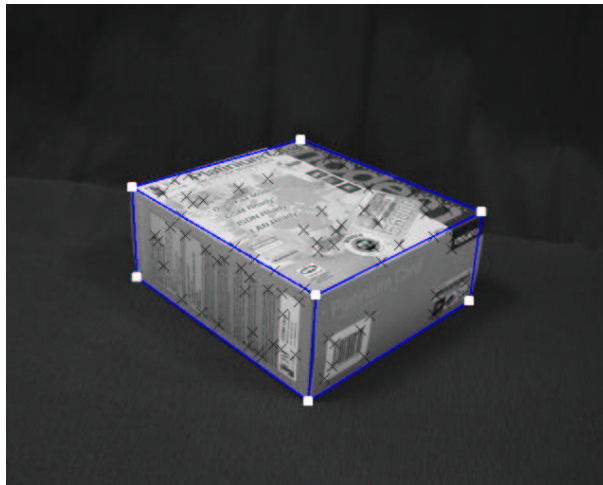


FIG. 4: Segmentation en plans obtenue sur la reconstruction modém (reprojection du modèle dans la première image).

**Optimisation contrainte.** Etant donnée la planarité par morceaux, le nuage de points peut-être corrigé afin de satisfaire les contraintes géométriques qui en découlent. Cependant, afin de conserver une précision optimale, l'erreur de reprojection doit être à nouveau minimisée, ici de 0,85 à 0,36 pixels, tout en respectant ces nouvelles contraintes géométriques. Un tel procédé est décrit dans [2]. La reconstruction ainsi obtenue est visible en figure 5.



FIG. 5: Optimisation de la position des points par minimisation contrainte de l'erreur de reprojection. Les relations de multi-coplanarité sont parfaitement satisfaites.

**Création du modèle.** La figure 6a montre la géométrie estimée de la scène. Les textures sont ensuite



FIG. 6: (a) : reconstruction des caméras et des plans de l'objet et (b) : rendus du modèle texturé.

extraites des images et perspectivement corrigées afin de produire un modèle VRML, figure 6b.

## 4 Conclusions et perspectives

Nous avons présenté une méthode permettant de segmenter un nuage de points, muni ou non d'une structure métrique, en plans. Cette méthode est utilisée dans un système de modélisation automatique de scène plane par morceaux.

La segmentation est basée sur une version modifiée de l'estimateur robuste RANSAC permettant de prendre en compte le fait que les sous-ensembles ne sont pas forcément disjoints. De plus, la pertinence des hypothèses est évaluée à un niveau photométrique global alors que ces mêmes hypothèses sont obtenues de façon géométrique individuelle. Ceci permet une meilleure qualité de segmentation, notamment par rapport à la pertinence des plans détectés et à la détection de plans à faible support. La tolérance par rapport à un bruit dans la reconstruction est rendue possible par l'utilisation d'une mesure de photoconsistance relative ou  $r$ -consistance. Des expérimentations sur images réelles permettent de valider la méthode.

Nous envisageons d'adapter l'algorithme à différents types de primitives de plus haut niveau que les plans ainsi que l'incorporation d'un modèle de variation de la lumière, de type affine par exemple.

## Références

- [1] C. Baillard and A. Zisserman. Automatic reconstruction of piecewise planar models from multiple views. In *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Fort Collins, Colorado, USA*, pages 559–565. IEEE Computer Society Press, June 1999.
- [2] A. Bartoli and P. Sturm. Constrained structure and motion from  $N$  views of a piecewise planar scene. In *Proceedings of the International Symposium on Virtual and Augmented Architecture, VAA'01, Dublin, Ireland*, June 2001. to appear.
- [3] P. Beardsley, P. Torr, and A. Zisserman. 3D model acquisition from extended image sequences. In B. Buxton and R. Cipolla, editors, *Proceedings of the 4th European Conference on Computer Vision, Cambridge, England*, volume 1065 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 683–695. Springer-Verlag, April 1996.
- [4] P.E. Debevec, C.J. Taylor, and J. Malik. Modeling and rendering architecture from photographs: a hybrid geometry-and image-based approach. Technical Report CSD-96-893, University of California, Berkeley, January 1996.
- [5] D. Demirdjian and R. Horaud. Motion-egomotion discrimination and motion segmentation from image-pair streams. *Computer Vision and Image Understanding*, 78(1):53–68, April 2000.
- [6] A. R. Dick, P.H.S. Torr, and R. Cipolla. Automatic 3D modelling of architecture. In *The Eleventh British Machine Vision Conference, University of Bristol, UK*, 2000.
- [7] M.A. Fischler and R.C. Bolles. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Graphics and Image Processing*, 24(6):381 – 395, June 1981.
- [8] C. Harris and M. Stephens. A combined corner and edge detector. In *Alvey Vision Conference*, pages 147–151, 1988.
- [9] K.N. Kutulakos. Approximate N-view stereo. In *Proceedings of the 6th European Conference on Computer Vision, Dublin, Ireland*, 2000.
- [10] D.D. Morris and T. Kanade. Image-consistent surface triangulation. In *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hilton Head Island, South Carolina, USA*, 2001.
- [11] F. Schaffalitzky and A. Zisserman. Planar grouping for automatic detection of vanishing lines and points. *Image and Vision Computing*, 18(9):647–658, 2000.
- [12] D. Sinclair and A. Blake. Quantitative planar region detection. *International Journal of Computer Vision*, 18(1):77–91, 1996.
- [13] Z. Zhang, R. Deriche, O.D. Faugeras, and Q.T. Luong. A robust technique for matching two uncalibrated images through the recovery of the unknown epipolar geometry. *Artificial Intelligence*, 78(1-2):87–119, 1994. Appeared in October 1995, also INRIA Research Report No.2273, May 1994.