

Reconstruction 3D sémantique d'objets architecturaux

Christophe CRUZ, Franck MARZANI

*Laboratoire Le2i, UFR Sciences et
Techniques, Université de Bourgogne,
B.P. 47870, 21078 Dijon Cedex, France,
christophe.cruz@u-bourgogne.fr,
franck.marzani@u-bourgogne.fr*

Ashish KARMACHARYA, Frank BOOCHS

*Institut i3mainz, am Fachbereich 1
Geoinformatik und Vermessung,
Holzstrasse 3655116 Mainz, Allemagne
boochs@geoinform.fh-mainz.de
ashish@geoinform.fh-mainz.de*

Résumé : Cet article présente une méthode de reconstruction 3D de bâtiment à partir de nuages de points provenant de la mesure d'un scanner laser 3D. L'objectif est d'avoir, au final, une définition sémantique associée au modèle géométrique reconstruit afin d'être exploitable rapidement dans les logiciels CAO/DAO. Cette méthode se fonde sur l'idée qu'il est possible d'améliorer la reconstruction d'une scène 3D à partir d'un nuage de points de manière automatique, si le contexte sémantique de la scène est défini. Pour atteindre ces objectifs, les recherches entreprises depuis plusieurs années sont pluridisciplinaires. En effet, les techniques de reconstruction 3D font appel aux méthodes de vision artificielle de l'équipe M2D+ du laboratoire Le2i situé à Dijon et de l'institut de recherche appliquée i3mainz situé à Mayence en Allemagne. Concernant la partie gestion de la connaissance, celle-ci fait appel aux techniques des systèmes d'information et bases de données de l'équipe SISI du laboratoire Le2i, située également à Dijon.

1 Introduction

Dans le domaine de l'ingénierie civile, l'extension ou la mise aux normes d'un bâtiment existant est souvent problématique. La plupart du temps, les informations concernant la conception du bâtiment comme les plans ont tout simplement disparu après livraison. Ceci est dû à l'absence de politique de sauvegarde des données. Pourtant, ces dernières sont très utiles pour une estimation rapide du coût des travaux d'aménagement. Prenons l'exemple de la mise aux normes de sécurité : les lois évoluent rapidement en fonction des savoirs et des techniques. Les bâtiments doivent alors suivre cette évolution et être aménagés pour répondre aux nouvelles normes. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'estimer le coût de cette évolution, un surcoût est automatiquement associé. En effet, avant toute phase d'étude, le bâtiment doit être mesuré en vue d'établir une maquette numérique exploitable par les logiciels de CAO/DAO. Seulement après cette phase, il est possible d'établir un modèle du bâtiment aux normes et ainsi d'estimer les coûts. Les mesures entreprises exclusivement par les ingénieurs sont composées de plusieurs étapes comme l'établissement du géo-référencement des éléments géométriques et la capture des données par des méthodes de mesure d'ingénierie civile. Ces méthodes requièrent beaucoup de temps et par conséquent toute méthode automatique ou semi-automatique permettant un gain de temps est la bienvenue. En principe, les techniques photogrammétriques et de scanner laser sont potentiellement exploitables pour améliorer les techniques de reconstruction afin d'atteindre un degré d'automatisme plus élevé. Toutefois, lorsqu'elles sont mal employées, elles peuvent s'avérer chronophage. Cet article présente brièvement ces différentes techniques.

La plupart du temps, les maquettes numériques sont constituées d'éléments géométriques simples. Durant les différentes étapes de conception et d'échange de l'information, les objets constituant les bâtiments sont réduits à un ensemble de vecteurs utilisant généralement le format de fichier DXF ou DWG. Par conséquent, toute information sémantique manipulée par les logiciels CAO/DAO est définitivement perdue lors de l'échange des données. Une phase de qualification permettant d'identifier sémantiquement les éléments géométriques est alors nécessaire afin de réaliser des calculs spécialisés. Par exemple, un logiciel de métré pourra calculer la surface au sol et le coût de changement de revêtement, si le logiciel peut identifier les éléments géométriques qui définissent le sol. Le format IFC (Industrial Foundation Classes) défini par l'IAI (Agence Internationale pour l'Interopérabilité des logiciels CAD/DAO) commence à être utilisé pour éliminer ces phases de qualification. Ce standard associe une définition sémantique aux éléments géométriques dans le domaine de l'architecture. Ce format est actuellement reconnu par la majorité des logiciels CAD/DAO du marché. Par conséquent, l'extraction de la sémantique lors de la phase de reconstruction permet également un gain de temps conséquent lors de la phase d'exploitation des données.

Cet article présente une méthode basée sur la reconstruction à partir de données provenant de scanners laser 3D et fournit en sortie des objets géométriques auxquels sont associés de la sémantique. Les définitions sémantiques sont inspirées des IFC, permettant ainsi la conversion de ces données au format IFC, afin d'être exploitable directement dans les logiciels CAD/DAO. Nous avons défini également une ontologie architecturale qui est le résultat d'une spécification formelle des besoins du projet. Cette ontologie contient les définitions sémantiques des éléments géométriques du contexte architectural.

La section suivante présente un bref état de l'art sur les projets de reconstruction 3D existants. Dans certains projets, la sémantique qui décrit le contexte architectural tient une place importante. La section 3 présente notre approche inspirée par les projets décrits dans la section précédente. La section 4 décrit les points importants de notre méthode de reconstruction.

2 Etat de l'art

Aujourd'hui, le traitement des données géométriques provenant des appareils de mesure est limité par la complexité des objets à extraire. En quelque sort, il est très difficile, et cela requiert beaucoup de temps, de formuler des règles de détection et d'extraire des objets géométriques corrects. La principale raison provient du fait que les objets sont divisés en de nombreuses sous-parties. Même si chaque élément peut être traité indépendamment, il est très difficile de les traiter tous en même temps. Par conséquent, l'utilisation de la connaissance et son introduction dans le processus de reconstruction est prometteuse. L'impact des informations sémantiques sur le processus de reconstruction dépend de la structure des données brutes. Les deux sous-sections suivantes présentent les principales méthodes de reconstruction, ainsi que les structures associées. La première d'entre elles présente les méthodes de reconstruction basées sur la photogrammétrie tandis que la seconde présente les méthodes basées sur les nuages de points qui sont le résultat d'un relevé au scanner 3D. Il est évident que chaque méthode possède ses propres caractéristiques qui sont avantageuses dans des conditions bien établies. Toutefois, le choix des outils de mesure dépend bien souvent du matériel disponible, des objets à reconstruire, de la

précision souhaitée, et du temps disponible pour réaliser la mesure. (Grün, 2002), (Bryan, 1999), (Balletti, 2004), (Boehler, 2004).

2.1 Méthodes basée sur la photogrammétrie

Concernant les méthodes de reconstruction basées sur la photogrammétrie, celles-ci utilisent des photographies de l'objet à reconstruire prises sous différents angles. Il est possible de définir deux groupes de méthodes. Le premier groupe est constitué de méthodes semi-automatiques. Cela consiste à interagir avec l'utilisateur tout au long du processus de reconstruction. Le deuxième groupe de méthodes est constitué des méthodes automatiques où l'utilisateur n'intervient que pendant la phase d'initialisation du processus. Les méthodes manuelles ne sont pas référencées ici. Concernant les méthodes semi-automatiques, nous pouvons citer les projets TotalCalib (Robert, 1995), (Bougnoux, 1997), (Faugeras, 1997), (Poulin, 1998), Rekon (Frasson, 1999), (Loscos, 1999), Marina (Huot, 1994), (Cantzler, 2002), (Nüchter, 2003), Realise (Zitova, 2003). Contrairement aux méthodes semi-automatiques, les méthodes automatiques sont beaucoup moins nombreuses. Nous dénombrons trois méthodes intéressantes que sont celle de Pollefeys et al. (Pollefeys, 2000) pour la première, celle de Zisserman et coll. (Werner, 2002) pour la seconde. Toutes les deux emploient la géométrie projective sur des images non calibrées. La méthode de Pollefeys combine différents algorithmes de vision artificielle comme la reconstruction projective, l'autocalibration et l'estimation des cartes de profondeur. La dernière méthode est celle qui a attiré notre attention. Elle est utilisée dans le projet Aida (Weik, 1996) et est basée sur une définition sémantique des éléments géométriques à l'aide un réseau sémantique. Cette méthode ouvre une nouvelle voie en utilisant la sémantique pour aider la reconstruction. Malgré les années de recherche, la reconstruction automatique reste une tâche très difficile à réaliser (Marr, 1979), (Backer, 1981), (Grimson, 1981), (Fleet, 1991), (Jones, 1992), (McMillan, 1995). Le problème majeur est l'impact du point de vue sur l'apparence de l'objet dans l'image. Ceci est dû aux différences entre les clichés qui sont caractérisés par la géométrie, la radiométrie, les occlusions et le manque de texture. Les grandes différences entre les clichés peuvent provoquer une destruction des relations d'adjacence entre les points et engendrent une confusion lors de la détermination des correspondances entre images, notamment quand la surface des objets possède de fortes variations géométriques. Dans le cas de faible texture, les algorithmes ne possèdent pas suffisamment d'informations pour résoudre les problèmes de correspondance, ce qui cause généralement l'échec de la reconstruction.

2.2 Méthodes basées sur les nuages de points

La reconstruction précise d'objets géométriques à partir de nuages de points provenant d'un scanner laser 3D est complexe et constitue un problème qui n'est toujours pas complètement résolu. Cette difficulté vient du fait que les points prélevés ne sont généralement pas organisés, que le résultat est souvent bruité et qu'il ne reflète pas directement les caractéristiques de l'objet. Ces facteurs limitent l'efficacité des algorithmes de reconstruction. F. Remonido a réalisé un état de l'art très exhaustif de ces algorithmes (Remondino, 2003). Une attention toute particulière est portée aux travaux de Cantzler et coll. (Cantzler, 2002) et aux travaux de Nüchter et coll.

(Nüchter, 2003), car leurs projets utilisent des informations sémantiques. En effet, les plans en cours de reconstruction sont associés à une interprétation sémantique qui doit vérifier un modèle de réseau sémantique (Grau, 1997). Un arbre de backtracking permet de trouver les meilleures correspondances entre l'interprétation de la scène et le modèle de réseau sémantique. Pour finir, l'étiquetage des surfaces est cohérent si toutes les surfaces possèdent une étiquette. Par comparaison avec la photogrammétrie, les problèmes semblent être moindres avec les scanners 3D, mais une reconstruction complètement automatique basée sur les nuages de points est aussi compliquée qu'une reconstruction complètement automatique avec les méthodes photogrammétriques. La raison principale s'explique par la complexité des objets à reconstruire combinée avec la redondance, l'incomplétude et le bruit caractérisant les nuages de points. Comme le montrent les travaux de Cantzler et Nüchter, il est possible d'attendre des améliorations significatives en utilisant la connaissance des scènes et un modèle sémantique définissant les éléments composant cette scène.

3 Reconstruction guidée par la sémantique

Comme le montrent les projets présentés dans les sections précédentes, la sémantique supporte considérablement la reconstruction 3D. Dans le cas des nuages de points, elle permet de combiner les éléments déjà détectés dans une structure finale. Dans le cas de la photogrammétrie, la sémantique est utilisée pour grouper des points 2D dans les images ou pour former une structure spatiale entre plusieurs images. Dans les deux cas, la structure sémantique est la même, seuls son emploi et les interactions sont différents. Dans cette section, nous allons esquisser notre vision de l'utilisation de la sémantique dans la reconstruction 3D. L'idée principale se trouve dans la dualité entre « contexte » et « contrainte ». Le contexte sémantique de la scène va permettre d'établir des contraintes entre ces éléments. Afin d'utiliser le contexte lors du processus de reconstruction, nous définissons un modèle grossier géométrique et sémantique appelé « MG » lors de la phase d'initialisation de la reconstruction. Ce « MG » (Fig. 1) est une structure spatiale définissant les éléments du bâtiment. Il est à noter que le « MG » définit de manière grossière la géométrie du bâtiment et que les mesures ne sont pas réelles. Il forme en quelque sorte une esquisse définie rapidement par l'ingénieur. Une fois cette esquisse réalisée, elle est corrigée à l'aide des vraies mesures du bâtiment prélevées sur le nuage de points à l'aide de la connaissance définie par le contexte et la définition sémantique des éléments.

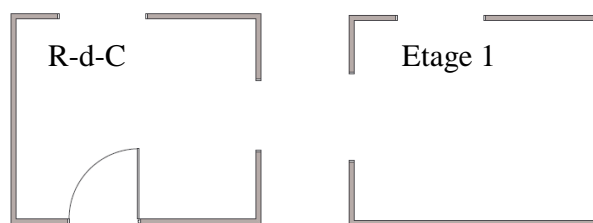


Fig. 1: Exemple de modèle grossier. Ce « MG » est esquisé rapidement à l'aide d'une interface graphique spécialisée afin de définir les éléments recherchés dans le nuage de points, ainsi que la sémantique associée.

Pour atteindre cet objectif, la connaissance doit représenter le monde réel en reflétant les entités et les relations qui la composent. C'est pourquoi la connaissance constitue un modèle du monde et les processus informatiques utilisent ce modèle comme représentation du monde. De plus, la représentation de la connaissance est indépendante de son utilisation. Par conséquent, la représentation de la connaissance et les mécanismes d'inférence sont dissociés (Guarino et coll., 1994). La conceptualisation d'un domaine ne peut être entreprise sans ambiguïté seulement si un contexte d'utilisation est donné. En d'autres termes, un mot ou un terme peut désigner deux concepts différents en fonction du contexte d'utilisation (Bachimont, 2000). L'exemple du terme « coccinelle » est flagrant. La sémantique de la connaissance est fortement contrainte par la représentation symbolique des machines. Pour cette raison, N. Guarino (Guarino, 1994) a introduit un niveau ontologique entre le niveau conceptuel et le niveau épistémologique. Ce niveau ontologique forme une passerelle entre la sémantique interprétative avec laquelle l'utilisateur interprète le terme et la sémantique opérationnelle avec laquelle la machine manipule le symbole (Dechilly, 2000). Pouvez-vous conduire une « coccinelle », si celle-ci est un insecte ? Pour définir la sémantique de la scène, nous allons utiliser une ontologie qui s'avère être un diagramme de métadonnées (Amann, 2003). Son rôle est double. D'une part, il représente la connaissance partagée dans le domaine. D'autre part, il joue le rôle d'un schéma de base de données utilisé pour formuler des requêtes structurées sur les métadonnées. De plus, une ontologie permet de dissocier la représentation de la connaissance et les mécanismes d'inférence. Cette propriété nous a permis de définir une architecture dans laquelle il est possible d'ajouter de nouveaux éléments à l'ontologie sans avoir à modifier le code. Ces nouveaux éléments sont alors pris en compte dans les processus de stockage et d'inférences. Finalement, lorsque le modèle grossier est corrigé, celui-ci est exportable au format IFC afin d'être exploitable directement dans les logiciels de CAO/DAO.

4 Présentation du processus de reconstruction

La méthode (Fig. 2) que nous avons développée a pour objectif la reconstruction sans intervention de l'utilisateur lors du processus de reconstruction. Par contre, lors de la phase d'initialisation, l'utilisateur intervient en mettant en correspondance un mur du « MG » avec un sous nuage de points représentant le même mur. Ensuite, l'algorithme de reconstruction se charge de rechercher les éléments dans le nuage de points définis dans le « MG » par propagation sur les éléments adjacents, c'est-à-dire les autres murs. L'étape finale de la reconstruction consiste en la détection des éléments contenus dans d'autres éléments, comme les portes et les fenêtres. Cette solution doit prendre en considération les trois interrogations suivantes. Comment définir un modèle grossier géométrique et sémantique ? Comment trouver les éléments géométriques dans les nuages de points ? Comment définir un algorithme de propagation pour rechercher et trouver tous les objets dans le nuage de points.

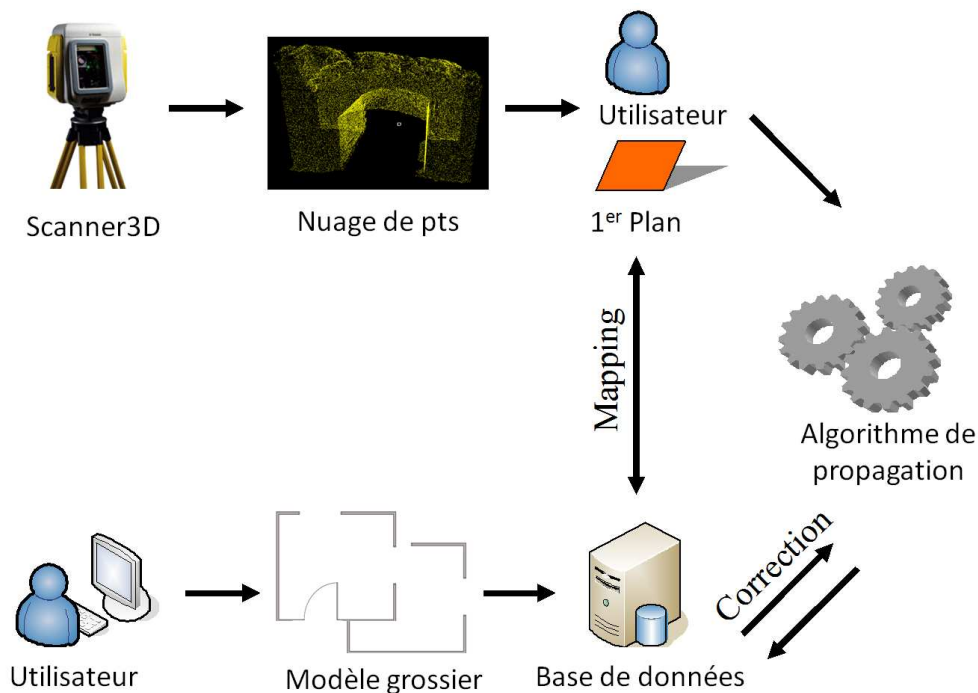


Fig. 2: Vue globale de la méthode de reconstruction. En haut à gauche se trouve le scanner 3D qui fournit un nuage de points à l'utilisateur. À partir de ce nuage de points, l'utilisateur sélectionne un sous-nuage correspondant à un mur. Avant cette phase, l'utilisateur définit rapidement un « MG » qui est stocké dans la base de données. Une fois la mise en correspondance du sous-nuage de points et du mur dans le « MG », la reconstruction est démarrée et le « MG » est corrigé.

Les trois points suivants présentent brièvement les solutions mises en œuvre pour définir un « MG », la détection des objets dans les nuages de points et la recherche des éléments par propagation.

- Grâce à l'application développée (Fig. 3 droite), l'utilisateur définit la structure générale du bâtiment comme la position et la taille. Cette application permet également de définir automatiquement des contraintes entre les éléments du « MG » en fonction de leur nature. Ces contraintes sont décrites dans l'ontologie architecturale. Par exemple, la fenêtre est définie comme un concept dans notre ontologie et possède la contrainte suivante : « une fenêtre doit être contenue dans un mur ». Notre architecture est décomposée en deux niveaux. Le premier est le niveau sémantique où sont stockées les classes de l'ontologie définies à partir d'un fichier OWL (Web Ontology Language). Le deuxième niveau est le niveau des instances. Celui-ci permet de stocker les instances des classes d'objets de l'ontologie. Le processus de stockage et l'interface graphique sont suffisamment souples pour ne pas être modifié lors de l'ajout d'une nouvelle classe d'objets dans l'ontologie. De plus, nous avons défini des classes de contraintes associées aux classes d'objets de l'ontologie. Ces contraintes sont associables aux nouvelles classes d'objets. Par exemple, une porte double-battant possédera les contraintes d'une porte simple par héritage.

- Les éléments géométriques que nous recherchons dans les nuages de points sont les plans. Ces primitives sont les plus faciles à retrouver, et surtout les plus rapides à retrouver (Remondino, 2003) dans le cas de nuages dépassant le million de points. Durant le processus de recherche des plans, plusieurs étapes doivent être remplies. La première consiste à partitionner le nuage de points afin d'améliorer les performances du processus. Pour cela, l'espace est subdivisé en voxels. Si des voxels contiennent des points alors, ces voxels sont pris en compte pour le calcul de l'équation du plan. Une fois l'équation de plan calculée pour un voxel initial, les voxels voisins sont examinés afin de les intégrer, le cas échéant, dans le calcul de la nouvelle équation de plan initial. Si le plan formé par les pixels d'un voxel voisin n'est pas similaire à celui du voxel courant, alors il n'est pas utilisé pour le calcul du plan courant. Toutefois, il servira à calculer l'équation d'un autre plan. Pour prendre la décision de les intégrer, plusieurs solutions sont disponibles. La première consiste à utiliser la méthode des moindres carrés. Une meilleure solution consiste à sélectionner les voxels avec la meilleure erreur résiduelle dans le voisinage direct, et de tester la distance avec le plan. Si la somme des distances est plus basse qu'un seuil basé sur un angle d'orientation alors, le voxel est fusionné. Une fois le voxel fusionné, l'équation du plan doit être recalculée afin d'affiner le résultat.

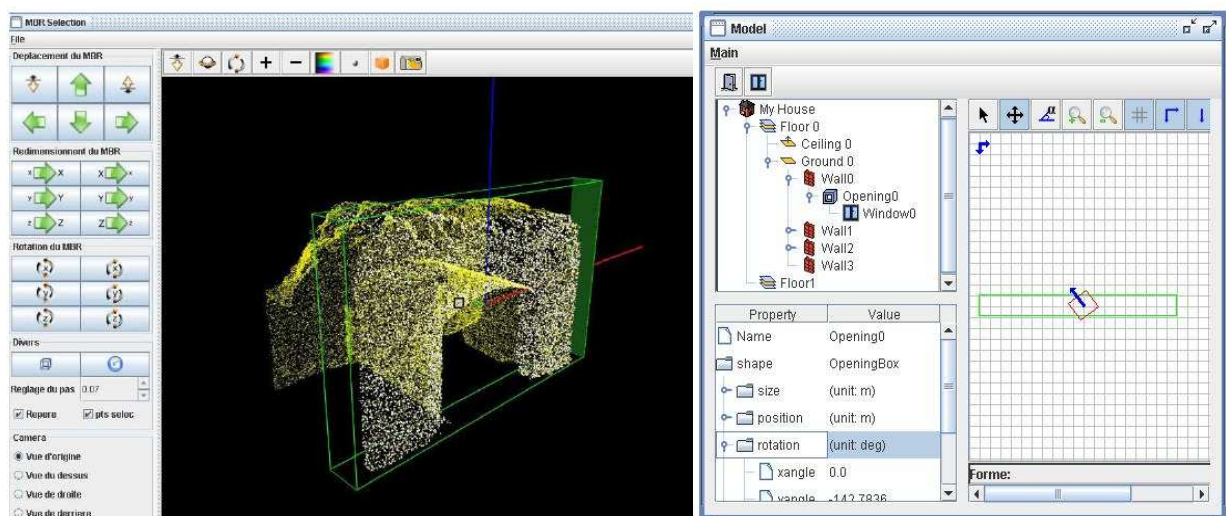


Fig. 3 : A gauche, capture d'écran de l'application permettant de sélectionner un sous-nuage de points correspondant à un mur. À droite, capture d'écran de l'application permettant de définir le « MG » ; sur la gauche de cette fenêtre, il est possible de voir la hiérarchie des éléments sémantiques, ainsi que les propriétés de l'élément sélectionné.

- Le principe de ce projet est d'utiliser un nuage de points provenant du relevé d'un bâtiment pour corriger un modèle grossier de ce même bâtiment. La phase d'initialisation par mise en correspondance du « MG » avec le nuage de points est fondamentale pour l'amélioration du modèle. Tout d'abord, il permet de réajuster les dimensions initiales du mur dans le modèle grossier et de redresser le « MG » par rapport au nuage de points. De cette manière, le processus peut identifier les directions de l'espace, par exemple

différencier le haut et le bas. Deuxièmement, par propagation et grâce aux contraintes établies entre éléments du modèle grossier, les autres éléments sont corrigés. Par exemple, si la hauteur du mur initial est modifiée, alors les murs adjacents qui avaient la même hauteur sont corrigés également. Une fois le premier élément géométrique corrigé, l'algorithme passe aux éléments adjacents dans le « MG » et recherche ces éléments dans le nuage de points. Ceci est possible grâce aux relations de voisinage établies durant la phase de définition du « MG ». L'algorithme s'arrête une fois tous les éléments passés en revue.

5 Conclusion

Cet article a présenté brièvement la solution que nous proposons pour la reconstruction 3D sémantique guidée par une ontologie architecturale. Elle tente d'aller plus loin que les solutions existantes en intégrant des contraintes sur les éléments du bâtiment. Ces travaux entrepris depuis deux ans révèlent de nombreux verrous techniques, technologies et financiers que nous tâchons de résoudre un à un. Actuellement, plusieurs problèmes ont été résolus et le processus complet a été prototypé. Toutefois, de nombreux obstacles persistent, tels les cas particuliers qu'il est possible de rencontrer dans la réalité. Nous prospectons une nouvelle méthode basée sur la définition de règles afin d'éliminer la phase de définition de modèle grossier.

6 Références

- Amann B., 2003. Du Partage centralisé de ressources Web centralisées à l'échange de documents intensionnels, Documents de Synthèse.
- Bachimont B., 2000. Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d'ontologie en ingénierie des connaissances, In Charlet J., Zackland M., Kessel G. & Bourigault D., eds., Ingénierie des connaissances : évolution récentes et nouveaux défis, Eyrolles, pages 305-323.
- Backer H. H. & Binford T. O., 1981. Depth from edge and intensity based stereo. In Proceedings of the seventh IJCAI, Vancouver, BC, pages 631-636.
- Balletti C. & Mander S., 2004. Contemporary Master's Architecture: New Architectural Heritage, Approaches For Surveying and Representation, Geo-Imagery Bridging Continents, XXth ISPRS Congress, 12-23 July, Istanbul, Turkey.
- Boehler W. & al., 2004. The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording, Actes du XVIII Symposium International CIPA, Postdam, Allemagne.
- Bougnoux S. & Robert L., 1997, TotalCalib: a fast and reliable system for off-line calibration of images sequences., In Proceedings of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, The Demo Session.
- Bryan P.G., Corner I. & Stevens D., 1999. Digital Rectification Techniques for Architectural and Archaeological, Photogrammetric Record, 16(93): 399-415, April.
- Cantzler H., Fisher R. B. & Devy M., 2002. Quality enhancement of reconstructed 3D models using coplanarity and constraints, Proc. Annual German Symposium for Pattern Recognition (DAGM02, Zurich), pp 34-41.
- Dechilly T. & Bachimont B., 2000. Une ontologie pour éditer des schémas de description audiovisuels, extension pour l'inférence sur les descriptions, In Actes des journées francophones d'Ingénierie des Connaissances (IC'2000).
- Faugeras O., Laveau S., Robert L., Csurka G., Zeller C., Gauclin C. & Zoghliami I., 1997. 3-d reconstruction of urban scenes from image sequences., CVGIP : Image Understanding.
- Fleet D. J., Jepson A. D. & Jenkin M. R. M., 1991. Phase-Based Disparity measurement., CVGIP : Image Understanding, 53(2):198-210.
- Frasson M., 1999. Reconstruction interactive de scènes tridimensionnelles à partir d'images, M.Sc. Thesis, March.

- Grau O., 1997. A Scene Analysis System for the Generation of 3-D Models, 3dim, p. 221, First.
- Grimson W. E. L., 1981. From Images to Surfaces., MIT Press.
- Grün A., Bär S. & Beutner S., 2002. Signals in the Sand - 3D Recording and Visualization of the Nasca Geoglyphs, PFG (Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation), No. 6/2000. pp. 385-398.
- Guarino N., 1994, The ontological level, in R. Casati B. S. & White G., eds, Philosophy and the cognitive sciences, Hölder-Pichler-Tempsky.
- Guarino N., Carrara C., Giaretta P., 1994. An ontologie of meta-level categories, in J. Doyle F. S & Torano P., eds., Principles of Knowledge representation and Reasoning, Morgan-Kaufman, pages 270-280.
- Huot S. & Colin C., 2002. MARINa : reconstruction de bâtiments 3D à partir d'images., Colloque Modélisation Multimodale appliquée à la reconstruction d'environnements architecturaux et urbains, Bordeaux, France.
- Jones D. & Malik J., 1992. Computational Framework for determining stereo correspondence from a set of linear spatial filters., Image and Vision Computing, 10(10):699-708, December.
- Kuzo P. M., 1999. Des contraintes projectives en modélisation tridimensionnelle interactive, Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Nantes – Université de Nantes, novembre.
- Loscos C., Frasson M., Drettakis G., Walter B., Granier X. & Poulin P., 1999. Interactive Virtual Relighting and Remodeling of Real Scenes, Proc. Eurographics Workshop on Rendering 99, June.
- Marr D. & Poggio T., 1979. A computational theory of human stereo vision. Proceedings of the Royal Society of London, 204:301-328.
- McMillan L. & Bishop G., 1995. Plenoptic modeling : An image-based rendering system., In SIGGRAPH '95.
- Nüchter A., Surmann H. & Hertzberg J., 2003. Automatic Model Refinement for 3D Reconstruction with Mobile Robots, Fraunhofer Institute for Autonomous Intelligent Systems (AIS) Schloss Birlinghoven, D-53754 Sankt Augustin, Germany.
- Pollefeys M., Koch R., Vergauwen M. & Van Gool L. 2000. Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images, ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing (55)4, pp. 251-267.
- Poulin P., Ouimet M. & M. Frasson, 1998. Interactively Modeling with Photogrammetry, Proc. Eurographics Workshop on Rendering 98, June.
- Remondino F., 2003. From point cloud to surface: the modeling and visualization problem, Proc. Int. Worksh. Visualization and Animation of Reality-Based 3D Models, Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIV-5/W10, Feb.
- Robert L., 1995. Camera calibration without feature extraction, Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 63(2) :314–325, March also INRIA Technical Report 2204.
- Weik S. & Grau O., 1996. Recovering 3-D Object Geometry using a Generic Constraint Description. In ISPRS96 - 18th Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, July, Vienne.
- Werner T. & Zisserman A., 2002. New Techniques for Automated Architecture Reconstruction from Photographs, Proc. 7th European Conference on Computer Vision, Copenhagen, Denmark.
- Zitova B. & Flusser J., 2003. Image registration methods: A survey, Image and Vision, Computing 21, 977–1000.