

Application : AOMS un outil de relevé 3D d'environnements industriels

P. SAYD, S. NAUDET, M. VIALA

Laboratoire Architectures Parallèles (CEA – Technologies Avancées)

DTA/DEIN/SLA

CEA Saclay F91191 – GIF SUR YVETTE CEDEX

{patrick.sayd, sylvie.naudet, marc.viala}@cea.fr

L. COHEN

CEREMADE

Université Paris IX Dauphine

Place du Maréchal de Lattre de Tassigny

F75775 PARIS CEDEX 16

cohen@pi.ceremade.dauphine.fr

A. DUMONT, F. JALLON

ESIC SN

Z.A. du buisson de la Couldre

1 Allée des Châtaigniers - F78190 TRAPPES

{dumont, jallon}@esic-sn.fr

Mots-clés : application photogrammétrique, stéréoscopie, détection de primitives 2D, mise en correspondance, reconstruction 3D d'environnements industriels.

Résumé

Cet article présente l'outil de photogrammétrie AOMS (As-Built On-Line Modeling System) destiné à la mesure dimensionnelle de pièces manufacturées ou à la reconstruction 3D de sites industriels. L'approche retenue consiste à associer aux processus photogrammétriques industriels de reconstruction 3D les techniques matures du domaine de la vision par ordinateur. L'objectif est de simplifier la mise en œuvre de l'acquisition, de réduire les temps de modélisation tout en respectant le niveau de précision exigé par ce domaine d'application. La détection des primitives dans les images, la reconstruction itérative de l'environnement au fil du traitement des images ont été les premiers points abordés. L'automatisation de la sélection des primitives fait l'objet des développements actuels.

Ce papier débutera par la présentation de la version actuelle de AOMS. La partie consacrée aux résultats expérimentaux permet de comparer les résultats obtenus vis-à-vis de maquettes de référence. Le dernier paragraphe décrit les développements actuels et les perspectives.

I. Introduction

Depuis de nombreuses années, la photogrammétrie (mesure dimensionnelle à partir d'images) trouve de multiples applications dans le domaine industriel et les progrès technologiques qui améliorent capteurs et calculateurs lui ouvrent encore de nouveaux horizons. On peut distinguer deux domaines d'applications. Le premier concerne le contrôle de fabrication où il va s'agir de mesurer des positionnements, de vérifier des alignements ou contrôler la conformité dimensionnelle de pièces mécaniques afin de s'assurer de leur interchangeabilité.

Le second domaine d'application concerne le relevé 3D de scènes allant de l'objet (reverse-engineering) jusqu'à la modélisation de l'environnement tout entier. On parle de relevé Tel Que Construit (TQC). Ce dernier champ d'application intéresse plus particulièrement l'industrie nucléaire et pétrochimique qui compte sur les modèles 3D de leurs sites pour réduire les coûts et les risques lors des interventions de maintenance. Les outils actuels de relevé TQC donnent des résultats satisfaisants mais nécessitent une forte instrumentation de la scène à l'aide de cibles et la phase de modélisation nécessitant l'expertise d'un opérateur qualifiée reste longue et fastidieuse.

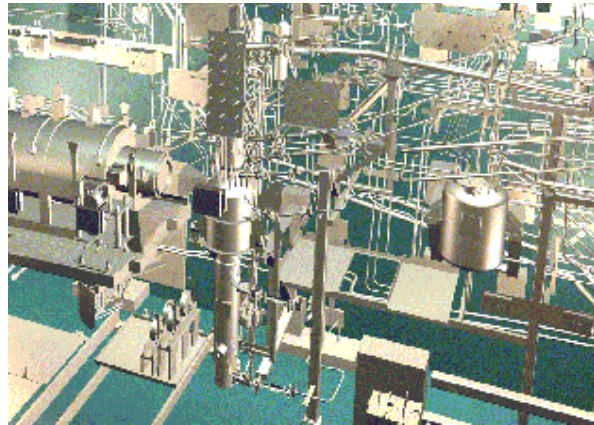


Figure 1: Modèle reconstruit d'un environnement industriel

Ce papier présente AOMS, un outil industriel de relevé TQC élaboré afin de répondre aux défauts des outils actuels. L'aspect innovant d'AOMS réside dans la combinaison de méthodes de base de la photogrammétrie avec des techniques de vision par ordinateur qui arrive aujourd'hui à maturation. D'une part, l'outil travaille à partir des contours naturels des objets afin de s'affranchir de l'utilisation d'outillages spécifiques lors de l'acquisition. D'autre part, l'automatisation des tâches de désignation, de détection et de suivi des primitives 2D sur l'ensemble des images de la séquence doit permettre de simplifier la tâche de l'opérateur et de réduire les temps de modélisation. La réduction des temps de modélisation permet d'envisager une reconstruction en ligne au fil de l'acquisition. Cela permet de vérifier la complétude de la scène et de concentrer les prises de vue sur les zones difficiles.

En terme de précision de reconstruction, notre but est de rester dans les limites imposées par les cahiers des charges des industriels (incertitude de 1 cm sur les mesures de positionnement et de 1° sur les mesures angulaires) et ce en utilisant si possible des capteurs standards bas-coût.

Dans une première partie, nous présenterons les fonctionnalités de l'outil actuel. Les résultats expérimentaux décrits dans la seconde partie valideront les performances d'AOMS. La dernière partie nous permettra de présenter les travaux en cours visant à améliorer l'existant en apportant de nouvelles fonctionnalités.

II. Présentation d'AOMS

AOMS est l'acronyme de *As-build On-line Modeling System*. C'est un système de modélisation TQC pouvant être utilisé en ligne c'est-à-dire simultanément à l'acquisition.

Nous supposons disposer d'une séquence d'images de la scène acquise par un couple stéréo calibré (paramètres intrinsèques et extrinsèques). La reconstruction de l'environnement se fait à travers la modélisation d'objets élémentaires (points, arêtes, cylindres, cercles). Dans les images, l'opérateur désigne par quelques points placés au voisinage les objets à reconstruire.

Les contours des objets sont alors détectés automatiquement. A partir de la détection des primitives dans le premier couple une première reconstruction est effectuée donnant un modèle 3D intermédiaire. Puis dans un nouveau couple d'images, l'opérateur va désigner les objets déjà détectés dans le premier couple et introduire de nouveaux objets. Le modèle 3D est ainsi complété et affiné.

Les phases de détection et de reconstruction sont donc menées itérativement sur l'ensemble de la séquence. Un calcul en bloc final consolide le modèle 3D. Pour être exploitable par le client, ce modèle 3D est ensuite transmis à un moteur CAO.

Dans sa version actuelle, seule la détection précise des contours est automatique. La version automatique de la mise en correspondance de primitives entre images est en cours de développement et n'est pas encore intégré au prototype.

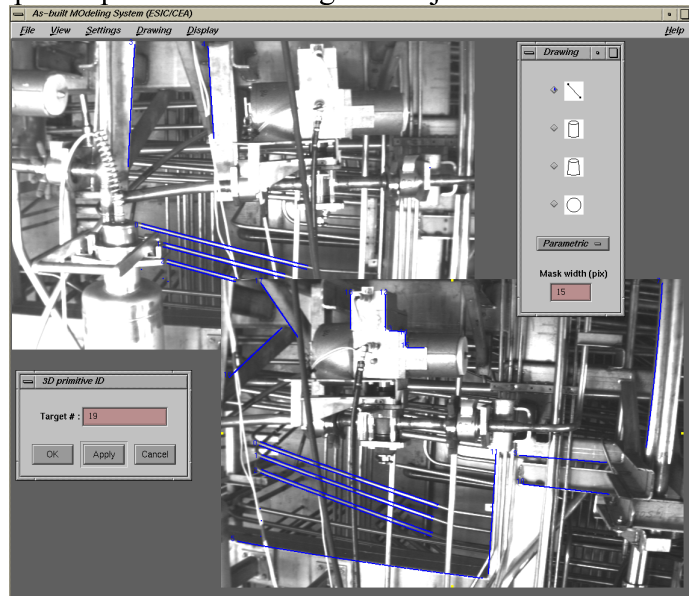


Figure 2 : Interface de l'outil AOMS

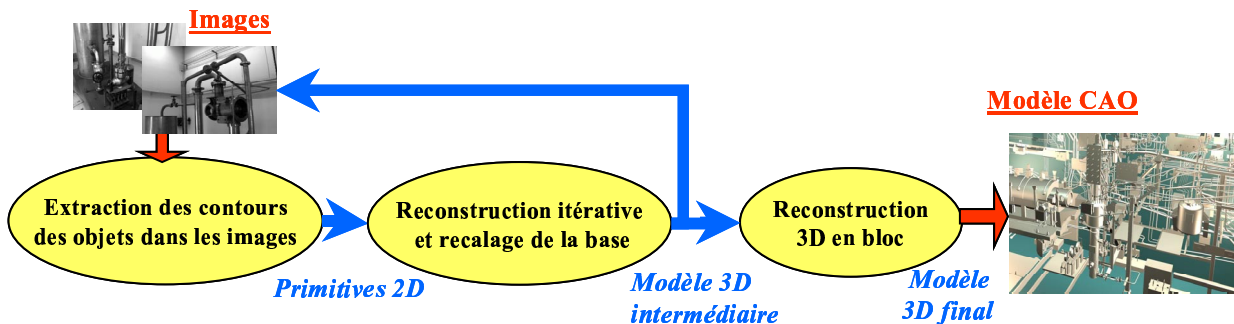


Figure 3 : schéma fonctionnel d'AOMS

A. La détection des primitives 2D

Les objets sont reconstruits à partir de leurs contours. AOMS permet de sélectionner 4 types de primitives le point, le segment de droite, les limbes des cylindres (2 segments liés) et les ellipses. A l'exception du point qui lui est simplement désigné par l'opérateur, ces objets sont représentés sous forme de modèles paramétriques. La détection de ces primitives s'appuie sur les techniques de modèles déformables [1][2]. Par exemple, l'ellipse est représentée par 5 paramètres les coordonnées (x_0, y_0) de son centre, ses deux axes l_1 et l_2 et son orientation α . L'opérateur désigne à l'aide de son pointeur informatique au minimum 5 points autour de l'ellipse à détecter. Les paramètres initiaux du modèle sont calculés à partir de ces points.

Un potentiel est alors construit à partir des contours extraits de l'image de façon à être minimum sur le contour. Il est apparu pertinent de construire un potentiel dont la valeur

représente en un point la distance au contour le plus proche. Il est également bienvenu de chercher à éliminer les contours incohérents avec le modèle initial (distance, orientation).

Les paramètres du modèle sont alors estimés itérativement de façon à minimiser l'énergie le long de la primitive. Cette estimation non linéaire est effectuée en utilisant la méthode de Levenberg-Marquardt. L'algorithme utilisé délivre à la convergence une matrice de covariance associée aux paramètres estimés. L'expérience montre que ces covariances sont assez réalistes vis-à-vis du niveau de bruit affectant les contours dans l'image, qui influe directement sur la qualité du potentiel et donc sur l'évolution du snake qui peut être rendue chaotique par la présence de contours parasites.

La précision de la détection effectuée est grandement dépendante du rapport entre la qualité de la sélection initiale de l'opérateur et le niveau de bruit affectant l'image ; l'un pouvant compenser l'autre. Toutefois, pour les cas les plus difficiles où la convergence n'est pas satisfaisante l'opérateur peut sélectionner manuellement le contour qui lui semble le plus pertinent.

Nous avons qualifié les performances de la détection semi-automatique des contours de cylindres sur des séquences de tests représentatives du contexte d'utilisation. La projection des limbes d'un cylindre forme des contours occultants peu marqués, ce qui rend leur détection difficile. La présence dans le voisinage du limbe de réflexions spéculaires causées par la texture inox des tuyaux aggrave ce manque de contraste.

Variant selon la qualité de la séquence liée aux conditions de prise de vue, en particulier l'éclairage et la nature du capteur (caméra à tube ou CCD) et selon la qualité de la primitive (occultation, contraste par rapport au fond), la détection semi-automatique fonctionne dans plus de 80% des cas. Les expériences sur des images de synthèse bien que n'intégrant pas tous les paramètres pénalisant une détection sur une image réelle ont montré une précision sous pixelique pour des bruits gaussiens raisonnables $\sigma < 3$ pixels.

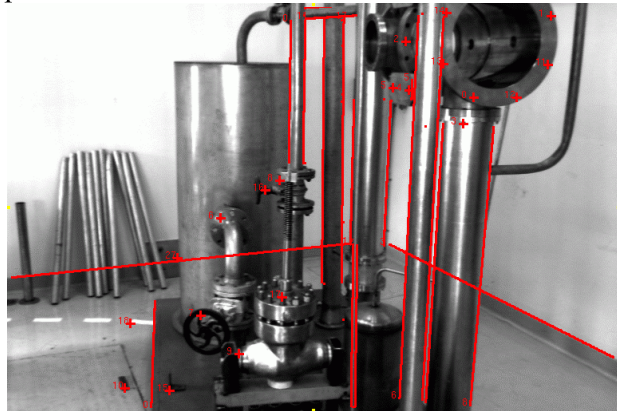


Figure 4: Exemple de primitives 2D

B. La reconstruction 3D

La reconstruction est menée itérativement en intégrant successivement les observations détectées dans chaque couple d'image. Chaque objet 3D est représenté par un vecteur de paramètres ainsi que par la matrice de covariance associée.

Les paramètres des objets 3D ainsi que les 6 paramètres de positionnement de la paire stéréoscopique associée à chaque prise de vue sont estimés au moyen de plusieurs filtres de Kalman. Sans perdre en généralité, tous ces paramètres 3D sont exprimés dans le repère d'une des deux caméras dans la première position du couple stéréoscopique.

Les paramètres 3D de chaque objet sont initialisés à partir d'une estimation indépendante effectuée dans la première paire d'image où celui-ci apparaît. Les paramètres de positionnement de la base sont eux initialisés à partir du modèle 3D préalablement reconstruits mis en correspondance avec les observations effectuées dans le nouveau couple d'image.

Puis les paramètres 3D des objets ainsi que ces paramètres de positionnement de la base sont estimés par le filtre de Kalman qui intègre les covariances associées à la détection

des observations. Les covariances associées aux différents paramètres 3D estimés aident à l'analyse des résultats obtenus.

Cette reconstruction itérative permet d'obtenir un modèle 3D de la scène relativement précis (même si l'estimation n'est pas optimale) et d'estimer la position du couple stéréoscopique pour chaque point de vue. Si cette reconstruction est effectuée au fil de l'acquisition, l'opérateur peut orienter les prises de vue suivantes en fonction des résultats 3D.

Pour consolider le modèle 3D obtenu, un calcul en bloc appelé ajustement de faisceaux dans la littérature [3] est effectué. Il s'agit d'estimer tous les paramètres 3D à partir de l'ensemble des observations extraites de la séquence. Le nombre important de paramètres à estimer rend le système massif et la convergence difficile. La reconstruction itérative donne une initialisation des paramètres 3D suffisamment proche de la solution pour assurer la convergence en un nombre réduit d'itérations.

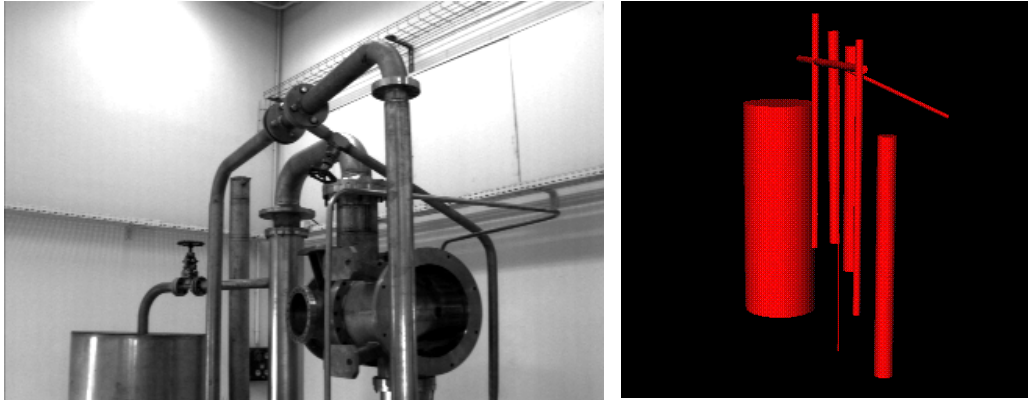
Dans les expérimentations présentées au paragraphe III, nous présenterons l'apport du calcul en bloc en comparant les résultats de la reconstruction itérative et du calcul en bloc vis-à-vis d'un modèle de référence.

III. Résultats expérimentaux

Les expériences que nous présentons porte sur la modélisation de lignes de tuyauteries tirées de deux scènes représentatives des installations cibles. L'évaluation quantitative des reconstructions porte donc sur la modélisation de cylindres et a été réalisée en comparant le modèle obtenu avec AOMS à des modèles de référence obtenus avec des moyens de modélisation photogrammétriques conventionnels (caméra haute-définition, cibles photo-réfléchissantes). Sans être des étalons de mesures parfaits, ces modèles de référence représentent ce que l'on peut obtenir de plus précis avec les outils existants, dans le contexte choisi. Les maquettes reconstruites et de référence sont reportées dans un référentiel commun propre à la scène.

La première scène reconstruite occupe un volume d'environ 6 m³. Le modèle de référence a été construit en s'aidant de cibles artificielles et en exploitant 40 images acquises par un appareil photographique numérique très haute résolution (KODAK DCS 460, 6.2 Millions de pixels). La précision de ce modèle est de l'ordre de 0.1 à 0.2 mm sur les rayons et de 1 mm sur le positionnement des tuyaux. La modélisation en employant l'outil AOMS a été réalisée en employant des moyens plus conformes à ceux utilisables dans une intervention : aucune cible artificielle et exploitation d'un capteur stéréoscopique constitué de deux caméras vidéo SONY de résolution standard (750×512 pixels) équipées d'objectifs 6 mm et formant une base stéréoscopique horizontale de 500 mm. Dix paires d'images ont été saisies en déplaçant le capteur sur une trajectoire demi-circulaire autour de la scène à une distance de 3m.

Parmi les objets présents, 7 tuyaux, dont les rayons varient de 6,8 mm à 348,7 mm ont été sélectionnés pour évaluer l'outil AOMS. A titre d'exemple, la Figure 5 présente une image de la séquence et le modèle 3D reconstruit.



L'analyse sur les écarts entre le modèle reconstruit et celui de référence porte d'une part sur le défaut de positionnement (moyenne des distances entre les extrémités du tuyau considéré et le tuyau de référence), un défaut d'orientation (écart angulaire entre le tuyau considéré et le tuyau de référence) et l'erreur sur les rayons. Les écarts quadratiques moyens (rms) entre le modèle reconstruit et le modèle de référence sont calculés après la reconstruction itérative, puis après le calcul en bloc (voir Tableau 1).

Tableau 1: Résultat reconstruction site 1

	Position	Orientation	Rayon
Rms (reconstruction itérative)	19.7 mm	0.3°	0.6 mm
Rms (calcul en bloc)	6.2 mm	0.2°	0.3 mm

Par ailleurs, l'analyse des résidus dans les images montre une précision moyenne de détection inférieure au pixel sur les mesures de position et de l'ordre du quart de degré sur les mesures angulaires.

La seconde scène a été reconstruite à partir de la digitalisation de 7 paires de négatifs de clichés photogrammétriques saisis lors de la construction du site il y a une dizaine d'années. La scène occupe un volume de 3m x 1m x 0,4 m. La ligne modélisée comprend 23 cylindres dont les rayons varient de 17mm à 170mm.

La maquette de référence est construite à partir de l'outil photogrammétrique Monoplantgen et l'incertitude métrique sur cette maquette est de l'ordre de 10mm. La densité des objets présents et le fait que la ligne de tuyauterie soit fixé à un mur limitent les possibilités de déplacement du couple stéréo autour de la scène.

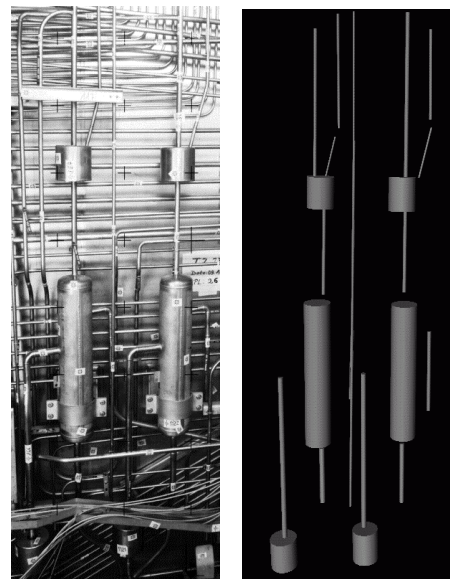


Figure 6 : Vue de la scène 2 - Modèle 3D reconstruit

Les erreurs quadratiques moyennes (rms) sur la position et sur le rayon des cylindres après la reconstruction dynamique et après le calcul en bloc est présentée dans le tableau (voir Tableau 2).

Tableau 2: Résultat reconstruction site 2

	Position	Rayon
Rms (Reconstruction itérative)	21.3 mm	2.0 mm
Rms (Calcul en bloc)	11.3 mm	2.0 mm

L'écart avec la maquette de référence est un peu plus important que dans l'expérience précédente. Cela peut s'expliquer par la plus forte incertitude affectant la maquette de référence.

Ces deux évaluations expérimentales montrent que l'outil utilisé avec des moyens de vision standards répond aux exigences de précision d'une prestation en modélisation de scènes industrielles. Le calcul en bloc apporte une meilleure estimation des positions relatives des objets les uns par rapport aux autres.

La validation des modules de détection et de reconstruction étant faite, nos efforts portent actuellement sur la réduction des temps de modélisation et plus particulièrement sur ceux liés à la sélection des primitives. Les développements actuels que nous présentons dans le paragraphe suivant ont pour but d'améliorer ce point critique.

IV. Développements actuels et perspectives

Dans la première version d'AOMS, nos premiers efforts se sont portés sur les modules d'extraction précise des primitives 2D et le module de reconstruction 3D. Si la précision donnée par ces modules est satisfaisante, des améliorations sont à apporter pour réduire le nombre de sélections à faire par l'opérateur. Pour cela, nous développons un module d'appariement automatique de primitives intervenant à l'ouverture d'un nouveau couple d'image.

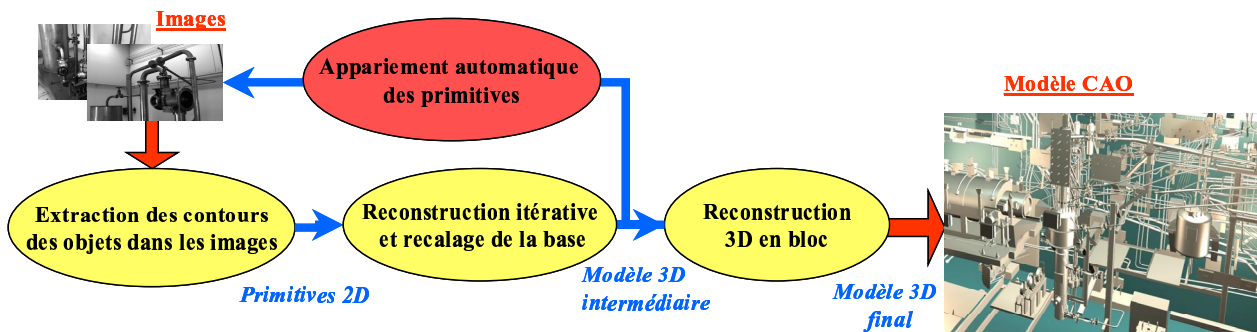


Figure 7 : Schéma de fonctionnement de la future version d'AOMS

Notre premier effort s'est logiquement porté sur la primitive la plus simple : le point. Nous comptons aborder ensuite le problème des autres primitives de type droites, cylindres, ellipses. Dans les deux cas, la connaissance de la géométrie épipolaire entre deux vues est primordiale. Ainsi, pour appairer des points entre deux images la connaissance de la géométrie épipolaire permet de réduire la zone de recherche à une droite ce qui apporte un gain de temps non négligeable et limite le risque de faux appariements.

Entre deux images de la paire stéréoscopique, la géométrie épipolaire est donnée par le calibrage du couple stéréo effectuée au préalable. Entre deux images de deux couples différents il est nécessaire d'estimer cette géométrie. Nous commencerons donc par décrire ce processus d'estimation.

A. Estimation de la géométrie épipolaire entre deux images

Une abondante littérature aborde le sujet qui intéresse bon nombre de chercheurs en vision. Le schéma que nous avons suivi est bien connu. Pour chacune des deux images, nous

appliquons le détecteur de points d'intérêt de Harris et Stephens [4] et pour chaque point extrait nous construisons une signature robuste aux translations et aux rotations 2D, aux changements d'illuminations et aux changements d'échelle. Nous avons opté pour la signature décrite par Allezard [5] qui répond à ces critères.

Cette signature consiste à construire un vecteur de niveaux de gris obtenus à partir de points placés sur des cercles de différents rayons centrés sur le point d'intérêt. Afin d'assurer l'invariance en rotation, ces points sont référencés par rapport à la direction du gradient. Afin d'être résistant au bruit affectant les images les niveaux de gris sont relevés sur une image lissée. Plus les cercles ont un rayon élevé plus le lissage est important (voir Figure 5). Pour résister aux changements d'échelle, Allezard propose de calculer les vecteurs avec des cercles support de différents rayons et différents coefficients de lissage.

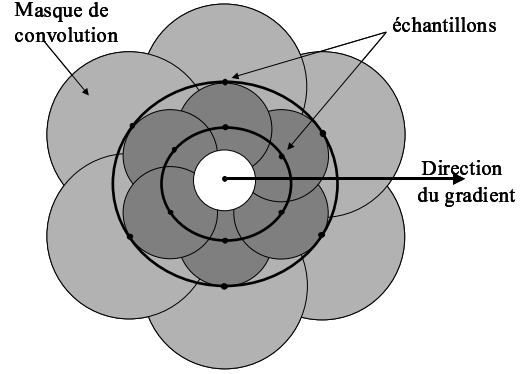


Figure 5 : Echantillonnage invariant en rotation au voisinage du point d'intérêt

Pour apparier les éléments des deux listes de points, nous utilisons la méthode proposée par Xu et Zhang [6]. Le score de ressemblance entre deux signatures est obtenu par un score de corrélation normalisé (pour tenir compte des variations d'éclairement) entre les deux vecteurs de niveau de gris. Les auteurs proposent de combiner ce score de ressemblance avec une information de voisinage pour constituer une force d'appariement (strength of match). Pour calculer $s_M(p_1, p_2)$, la force d'appariement entre p_1 de l'image 1 et p_2 de l'image 2, on considère les points des deux listes voisins de p_1 et p_2 . De façon simpliste, la force d'appariement sera d'autant plus forte qu'un maximum de voisins de p_1 ressemblent aux voisins de p_2 .

A partir de cette force d'appariement, on constitue les couples candidats en ne retenant que les points qui présentent réciproquement les meilleurs scores d'appariement. Comme souligner dans [6], de nombreux faux appariements sont encore présents et une phase de relaxation est alors nécessaire pour éliminer les appariements douteux. Pour un appariement (p_1, p_2) , on calcule un score d'ambiguïté A représenté par le rapport des forces d'appariement entre le meilleur et le second meilleur appariement (p_1, p_3) :

$$A(p_1, p_2) = s_M(p_1, p_3) / s_M(p_1, p_2)$$

Les appariements sont classés dans deux tables une pour la force d'appariement l'autre pour l'ambiguïté. Un appariement sera conservé lorsque sa force d'appariement sera classée parmi les plus élevées et son score d'ambiguïté parmi les plus faibles. Pour être sûr d'extraire au moins un couple apparié, la limite d'acceptation doit être supérieure à 50%. La valeur de 60% a donné expérimentalement des résultats satisfaisants. Les auteurs proposent d'itérer l'opération jusqu'à ce qu'aucun couple ne soit à la fois parmi les meilleurs scores et parmi les ambiguïtés les plus faibles. Pour notre part, nous préférons limiter le nombre d'itérations car le processus introduit au fil des itérations un taux croissant de faux appariements.

Une estimation robuste, basée sur les moindres carrés médians [7], de la matrice essentielle est effectuée à partir de la liste d'appariements. L'estimation est faite à partir de 8 appariements tirés au sort. Des points trop proches ne contraignant pas suffisamment l'estimation de la géométrie épipolaire, nous avons mis en œuvre la technique dite de bucketting qui favorise le tirage d'un lot de points assez bien répartis sur l'image. Pour chaque estimation, les résidus sont calculés en mesurant les distances des points aux droites épipolaires. La solution présentant le résidu médian le plus faible est utilisée pour filtrer les

appariements présentant des résidus très élevés. La géométrie épipolaire est alors estimée sur les appariements conservés.

Des spécificités liées au domaine d'application posent des problèmes pour l'estimation des relations entre les images :

- Les scènes observées présentent peu de surfaces texturées ce qui limite la présence de points caractéristiques à la signature discriminante.
- Les nombreuses réflexions spéculaires dépendantes du point de vue provoquent des appariements entre des points identiques au sens de la luminance mais ne correspondant pas au même point physique.
- Les changements de point de vue importants gênent considérablement l'appariement. La signature 2D est sensible aux changements perspectifs importants. Ce phénomène est amplifié par le fait que les conditions de prise de vue empêchent le plus souvent de prendre un recul suffisant. La distance à la scène est de l'ordre de la profondeur de la scène. D'une part cela va à l'encontre de l'hypothèse para-perspective qui est favorable à la cohérence des signatures 2D et d'autre part cela favorise les occultations des objets les uns par rapport aux autres. Si les conditions d'acquisition des images le permettent, une attention particulière devra être apportée aux déplacements du couple stéréo. Un compromis est à trouver entre le nombre d'images à traiter et l'amplitude des mouvements entre les prises de vues.

B. Appariement automatique des primitives 2D

Ce module est très fortement lié à l'estimation de la géométrie épipolaire entre images décrite au paragraphe précédent. La première idée est d'utiliser les points mis en correspondance dans cette estimation. Mais, les détecteurs de coins automatiques donnent des résultats aléatoires dans le sens où les « coins » 2D ne sont pas forcément les points 3D les plus significatifs pour l'opérateur. Dans un premier temps, nous avons fait le choix de laisser à l'opérateur la sélection de ces points.

Dans la première image de la séquence, l'opérateur sélectionne un point puis une recherche est effectuée par corrélation dans la seconde image le long de la droite épipolaire donnée par le calibrage. Le résultat de l'appariement est proposé instantanément à l'opérateur qui peut ainsi contrôler et éventuellement corriger la proposition automatique.

Lorsque la première paire d'image est traitée, la géométrie épipolaire liant une des images du premier couple à une des images du second est estimée. Les points de la première image sont alors recherchés dans la nouvelle image. L'opérateur peut compléter cette sélection automatique soit pour corriger un oubli ou une erreur soit pour introduire de nouveaux points n'apparaissant pas dans les images précédentes.

Ce module reste fortement supervisé par l'opérateur et il est tentant de penser à un processus très fortement automatisé telle que [8]. Cependant, la précision des modèles 3D obtenus par ce type d'approche ne semble pas correspondre pour l'instant aux besoins de nos applications. Pour pouvoir être utilisé industriellement, ce module doit être sûr c'est-à-dire que tous les appariements doivent être indiscutables pour garantir un maximum de précision. Notre ambition va donc être de développer une solution intermédiaire entre l'actuel et le tout automatique ; réduire au maximum l'intervention de l'opérateur tout en garantissant la qualité des appariements.

Après avoir abordé le cas des points nous nous intéressons actuellement à l'appariement des primitives plus complexes telles que les arêtes, les cylindres ou les ellipses. Deux approches sont possibles : soit l'appariement est effectué en 2D entre images en exploitant de la géométrie épipolaire ; soit le modèle 3D est reprojété dans la nouvelle image après avoir recalé le nouveau point de vue à partir de l'appariement des points.

C. Etendre les objets modélisés

Afin d'étendre les possibilités d'AOMS, nous développons également un module permettant la modélisation d'objets complexes, qui sont une composition de primitives de base. Pour cela, nous pensons introduire des contraintes liées aux objets tant pour la détection 2D que pour la reconstruction 3D.

Enfin, nous nous intéresserons aux objets quelconques que l'on ne peut décrire par une composition d'objets élémentaires. Ces objets seront modélisés par des nuages de points, des courbes ou des surfaces gauches.

V. Conclusion

En exploitant des points naturels, AOMS permet de s'affranchir de la mise en place de cibles spécifiques sur la scène à modéliser. Il peut s'adapter à des volumes de travail divers, de quelques dizaines de centimètres, jusqu'à plusieurs dizaines de mètres. Il est capable de traiter efficacement des scènes industrielles constituées d'objets présentant des surfaces variées, diffusantes ou spéculaires (inox poli).

Contrairement aux approches de reconstruction dense, AOMS ne se limite pas seulement à relever quelques points sur les objets pour ensuite les modéliser mais exploite toute l'information contour visible dans l'image dont la résolution spatiale ne dépend que du capteur utilisé.

Utilisé sur site, il permet de générer un modèle 3D, dont l'analyse permet d'interagir sur l'acquisition afin de compléter ou d'affiner la modélisation. L'exploitation d'images numériques par le procédé permet de disposer d'archives exploitables a posteriori pour compléter les premiers relevés. Cette capacité de dépouillement est particulièrement intéressante lors de la mise au point de prototypes industriels.

Les développements en cours visant à automatiser la sélection des primitives sont fondamentaux pour rendre AOMS convivial et efficace. Cependant, les problèmes rencontrés restent toutefois des points scientifiques durs compte tenu des contraintes pesant sur l'acquisition et la précision imposée par le contexte de la mesure industrielle.

Références

1. B. BASCLE, *Contributions et applications des modèles déformables en Vision par Ordinateur*, 1994, Université de Nice Sophia Antipolis.
2. L.D. COHEN and R. KIMMEL. *Invited Lecture : Fast Marching the Global Minimum of Active Contours*. in *IEEE ICIP*. 1996. Lausanne, Switzerland.
3. B. TRIGGS, et al. *Bundle Adjustment - A Modern Synthesis*. in *Vision Algorithms'99*. 1999.
4. C. HARRIS, and M. STEPHENS. *A combined corner and edge detector*. in *4th Alvey Vision Conference*. 1988.
5. N. ALLEZARD, M. DHOME, and F. JURIE. *Mise en correspondance multi-échelle*. in *17ème GRETSI*. 1999. Vannes, France.
6. G. XU and Z. ZHANG, *Epipolar geometry in Stereo, Motion and Object Recognition*: Kluwer Academic Publishers, 1996.
7. P.J. ROUSSEUW and A.M. LEROY, *Robust regression and outlier detection*, Wiley, 1987
8. M. POLLEFEYS, *Tutorial On 3D Modeling from Images*, ECCV 2000, Dublin.