



HAL
open science

Extraction de primitives à partir d'images de lumière structurée

Vincent Daval, Frederic Truchetet, Olivier Aubreton

► **To cite this version:**

Vincent Daval, Frederic Truchetet, Olivier Aubreton. Extraction de primitives à partir d'images de lumière structurée. Orasis, Congrès des jeunes chercheurs en vision par ordinateur, Jun 2013, Cluny, France. hal-00829441

HAL Id: hal-00829441

<https://hal.science/hal-00829441>

Submitted on 5 Jun 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Extraction de primitives à partir d'images de lumière structurée

V. Daval

F. Truchetet

O. Aubreton

Laboratoire Électronique Informatique et Image - UMR CNRS 6306
12 rue de la Fonderie, 71200 Le creusot
vincent.daval@u-bourgogne.fr

Résumé

Les attributs géométriques tels que la courbure ou la normale constituent des informations complémentaires aux points 3D obtenus suite à la numérisation d'une surface ou d'un objet. Dans la chaîne 3D classique, présentant une structure séquentielle, ces informations sont déterminées à partir du nuage de points dense (issus par exemple d'un scanner 3D). Par la suite, elles sont utilisées pour diminuer la quantité d'information et permettre ainsi d'aboutir à un modèle simplifié (compressé ou modélisé sous forme de primitives). Dans cet article, nous nous intéressons à la possibilité d'extraire certains des attributs mentionnés plus haut, directement à partir des images 2D obtenues par la caméra d'un système de numérisation par lumière structurée.

Mots Clef

Courbure, orientation de surface, discontinuité, numérisation 3D, lumière structurée.

Abstract

Geometric attributes such as curvature or surface orientation are additional information of the 3D points obtained after the scanning of an object. In the classic 3D chain, characterized by a sequential structure, these information are determined from the dense point cloud (from a 3D scanner). Then, they are used to reduce the amount of information and permit to obtain a simplified model. In this paper, we investigate the possibility to extract some geometric attributes, directly from 2D images obtained by the camera of a structured-light system.

Keywords

Curvature, surface orientation, discontinuity, 3D reconstruction, structured light.

1 Introduction

Aujourd'hui, la chaîne 3D classique apparaît comme séquentielle et l'interaction entre les diverses étapes (acquisition, maillage, compression) n'est que très rarement étudiée. Alors que les systèmes de numérisation actuels permettent d'obtenir des nuages de plusieurs millions de points, les opérations successives qui conduisent à un mo-

dèle simplifié (compressé ou modélisé sous forme de primitives), cherchent naturellement à réduire la quantité de données. De plus, nombre de ces méthodes se basent sur l'estimation de la courbure et/ou de la normale calculée pour chaque point 3D, et sont généralement mieux adaptées à des maillages denses et lissés (sans discontinuités). Ils sont donc assez coûteux en ressources et en temps de calcul.

Le projet CreActive3D est un travail collaboratif entre trois partenaires : l'entreprise Noomeo [1] spécialisée dans le développement de solutions de numérisation 3D, le laboratoire I3S [2] dont certains membres s'intéressent à la compression de données 3D et l'équipe Vision 3D du Laboratoire Le2i [3]. L'objectif du projet est d'étudier les interactions possibles entre les différents maillons de la chaîne 3D et, entre autres, le développement d'un système de numérisation par lumière structurée facilitant les opérations nécessaires à l'obtention d'un modèle compressé ou modélisé sous forme de primitives (CAO par exemple).

Le projet se décompose en deux parties, la première consiste à extraire le maximum d'informations lors de l'acquisition (normales, courbures, discontinuités, primitives) afin de guider l'opérateur lors de l'acquisition (en rouge sur la Fig. 1). La deuxième partie consiste à extraire des informations sur le maillage afin de piloter l'acquisition dans un but de compression (en vert sur la Fig. 1). La première partie est traitée par le Laboratoire Le2i tandis que la seconde partie est traitée par le Laboratoire I3S. Ce papier concerne donc la première partie du projet.

La plupart du temps, les différentes étapes de la chaîne 3D sont traitées séparément par différents opérateurs ayant chacun des compétences différentes. L'acquisition fait appel à des compétences en Vision, le maillage/compression à des compétences en traitement du signal, tandis que la reconstruction, orientée vers la rétro-conception ou l'inspection de surface, demande des compétences en mécanique. L'approche classique consiste donc à prendre un maximum de vues pour que l'opérateur chargé de la reconstruction de surface puisse obtenir un modèle CAO correct. Cependant, dans certains cas il n'est pas nécessaire de prendre tant de vues pour arriver à un modèle fidèle (correspondant aux critères fixés). L'extraction des primitives lors de l'acquisition permettrait ainsi de guider l'opérateur « vision » afin de minimiser le nombre de vues nécessaires pour obtenir

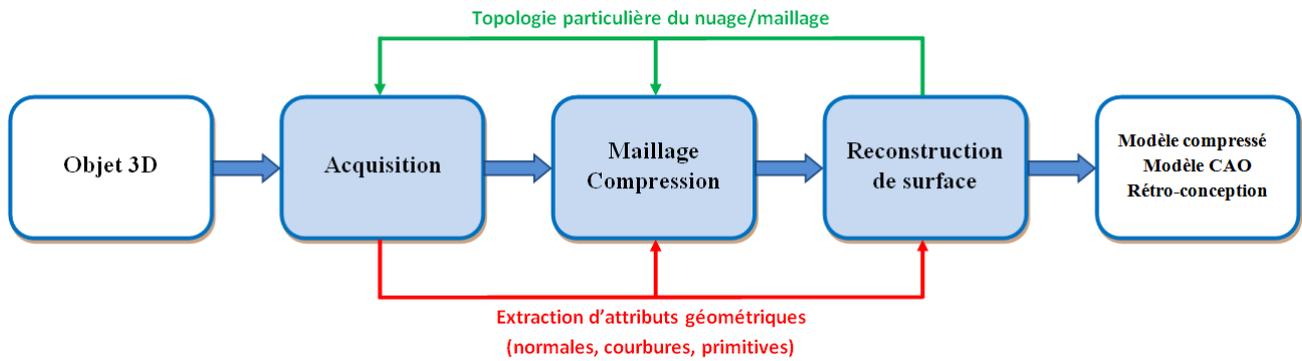


FIGURE 1 – Chaîne 3D classique. En rouge et vert les apports du projet.

un modèle CAO de la pièce, facilitant ainsi le travail de maillage et de reconstruction de surface.

Dans cet article, nous nous intéressons à l'extraction d'attributs complémentaires aux points 3D, tels que la normale en chaque point (II), une courbure locale (III) ou une discontinuité de surface (IV). L'utilisation de ces attributs pour l'extraction de primitives ainsi que les perspectives des résultats obtenus seront présentées dans la conclusion (V).

2 Extraction de la normale

Actuellement, il existe différentes méthodes permettant d'extraire des informations géométriques complémentaires aux points 3D mesurés lors de l'acquisition comme la normale. Citons le « Shape from Shading » qui nécessite de connaître la carte de réflectance de la surface [4], le « Shape from polarization » [5], la déflectométrie [6] ou le « scanning from heating » [7] mais qui ne sont applicables qu'à des surfaces de type poli-miroir (spéculaires) ou transparents.

Dans le cas des surfaces diffuses (qui s'approchent d'un comportement lambertien) les systèmes de numérisation par triangulation active sont parfaitement adaptés. Le principe a été largement étudié ces dernières années. Les motifs à encodage spatial [8], [9], [10], [11], facilitent la mise en correspondance avec l'image acquise par la caméra et ne nécessite qu'une seule projection. De plus, comme les auteurs l'ont présenté dans [12], l'utilisation de motifs particuliers permet une détermination du vecteur normal à la surface en chaque point à partir de l'analyse des images acquises. Cependant ils restent sensibles à la texture de l'objet à numériser. L'utilisation de motifs binaires à encodage temporel [13], [14], [15], [16] permet d'améliorer la robustesse mais nécessite la projection d'une séquence d'image. Dans notre cas, les objets étudiés sont généralement des pièces mécaniques parfois texturées. C'est pourquoi, nous avons choisi de développer un système utilisant une grille binaire (Fig. 2) associée à une succession de motifs suivant un code Gray. Ainsi, à chaque point de la grille (modélisé par l'intersection des lignes) correspond un codage unique grâce à la projection du codage temporel. Nous

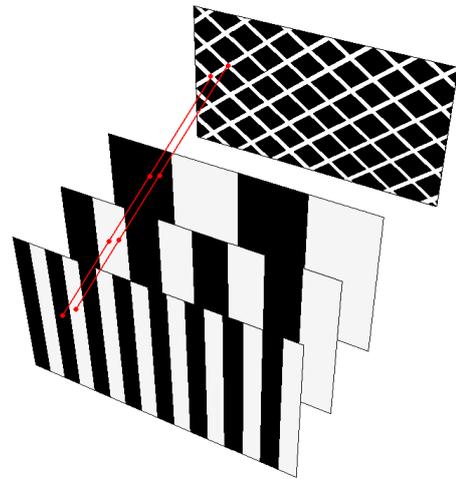


FIGURE 2 – Patron de lumière utilisé.

avons choisi de combiner les approches à codage temporel avec celle proposée dans [12].

2.1 Principe de la mesure

De la même façon que les auteurs l'ont présenté dans [12], prenons un point de la grille du projecteur A_p . Ce point est à l'intersection de deux lignes, comme illustré par la Fig. 3 (en rouge et verte sur la Fig. 3). La projection de ce point sur la surface d'un objet 3D forme un point A . La capture du point A par la caméra nous donne un point A_c dans l'image caméra. Notons également les tangentes aux lignes de la grille au point A_p ; t_{px} et t_{py} , et les tangentes correspondant aux lignes de la grille au point A_c (caméra) ; t_{cx} et t_{cy} .

Notons également le plan d'éclairage du projecteur $\Pi(A_p, t_{px})$ formé par la tangente t_{px} et le point A_p (ainsi que le centre de projection du projecteur O_p). Ce plan de lumière est réfléchi par la surface de l'objet au point A et devient le plan de projection $\Pi(A_c, t_{cx})$ pour le plan image. L'intersection des deux plans $\Pi(A_p, t_{px})$ et $\Pi(A_c, t_{cx})$ définit en réalité une tangente t_x à la surface de l'objet au point A . A_p et t_{px} sont tout deux connus car ils font partie du motif projeté, de même que A_c et t_{cx} qui sont ob-

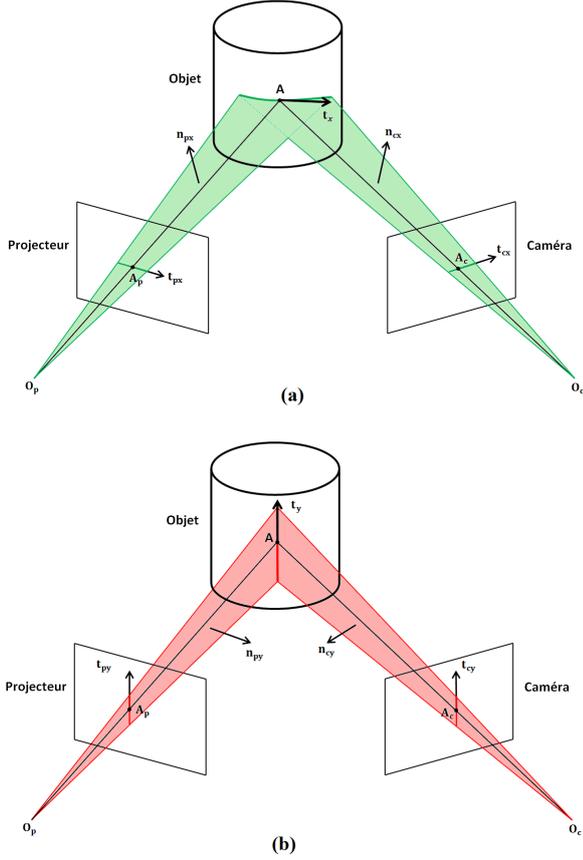


FIGURE 3 – La géométrie permettant de déterminer l'orientation de la surface à un point de la grille à partir des lignes de cette grille.

servables à partir de l'image. Connaissant toutes les données, il est alors possible de reconstruire les deux plans $\Pi(A_p, t_{px})$ et $\Pi(A_c, t_{cx})$. On peut alors facilement déterminer leur intersection t_x .

De la même façon, il est possible de déterminer une autre tangente t_y au point A à partir de deux autres plans $\Pi(A_p, t_{py})$ et $\Pi(A_c, t_{cy})$ qui sont tous deux connus (à partir du modèle projeté et de son observation dans l'image).

En d'autres termes, la méthode proposée par les auteurs de [12], permet tout simplement de déterminer l'orientation de la surface $n(x, y)$ de la surface de l'objet associé au point 3D A , simplement en prenant une image de la surface de l'objet éclairé par un modèle approprié. Les tangentes 3D t_x, t_y peuvent être déterminées à partir des données extraites de la caméra et du projecteur, et la normale de la surface est tout simplement donnée par la relation suivante :

$$n(x, y) = t_x \times t_y. \quad (1)$$

On peut également remarquer qu'étant donné que le motif projeté est une grille régulière, les tangentes t_{px} et t_{py} sont les mêmes pour tous les points de la grille.

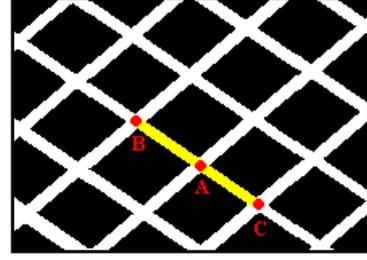


FIGURE 4 – Principe du calcul des tangentes.

2.2 Estimation des tangentes

Cette partie traite de la méthode utilisée pour extraire les tangentes à partir des images. De la même façon que précédemment, nous avons repris la méthode proposée dans [12] afin de l'appliquer à notre motif. Supposons que nous voulons déterminer la tangente t_{cx} au point A . La Fig. 4 affiche t_{cx} comme deux segments (en jaune). Comme illustré dans la Fig. 4, le long de la ligne de la grille associée à A , il y a deux points adjacents B et C . La tangente image t_{cx} au point A peut être déterminée comme une bonne approximation à partir de ces deux points (B et C) par une simple différence finie.

2.3 Estimation de la normale

Notons n_{cx} et n_{cy} les vecteurs normaux aux plans $\Pi(A_c, t_{cx})$ et $\Pi(A_c, t_{cy})$ pour la caméra, et n_{px} et n_{py} ceux des plans $\Pi(A_p, t_{px})$ et $\Pi(A_p, t_{py})$ pour le projecteur. En supposant que notre système soit calibré, les paramètres intrinsèques de la caméra et du projecteur sont connus. Ces paramètres sont les focales f_c, f_p ainsi que les points principaux, respectivement $C_c(x_{c0}, y_{c0})$ et $C_p(x_{p0}, y_{p0})$. A partir de ces paramètres, il est alors possible de déterminer les quatre normales aux plans $n_{cx}, n_{cy}, n_{px}, n_{py}$ de la façon suivante :

$$\vec{n}_{cx} = p_c \times \begin{bmatrix} t_{cx} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \vec{n}_{cy} = p_c \times \begin{bmatrix} t_{cy} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\vec{n}_{px} = p_p \times \begin{bmatrix} t_{px} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \vec{n}_{py} = p_p \times \begin{bmatrix} t_{py} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

où $p_c = [(x_c - x_{c0}), (y_c - y_{c0}), f_c]^T$, $p_p = [(x_p - x_{p0}), (y_p - y_{p0}), f_p]^T$ et avec $(x_c, y_c), (x_p, y_p)$ les positions respectives des points de grille pour la caméra et pour le projecteur. Les deux tangentes 3D t_x et t_y au point A sont alors :

$$t_x = n_{cx} \times (Rn_{px}), \quad t_y = n_{cy} \times (Rn_{py}), \quad (4)$$

où R représente la relation de rotation entre la caméra et le projecteur. Finalement, l'orientation de la surface au point A peut être déterminée comme suit :

$$n(x, y) = t_x \times t_y. \quad (5)$$

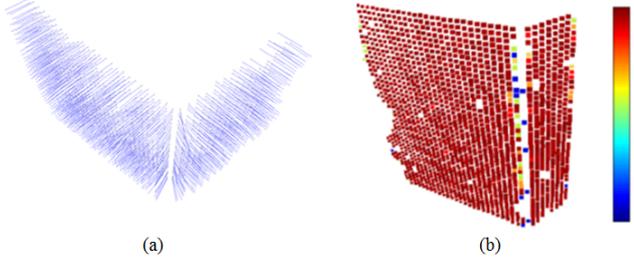


FIGURE 5 – Résultats obtenus avec notre méthode. (a) Champ de normale obtenu sur un objet test : un cube. (b) Indice angulaire entre la normale mesurée et la normale calculée. L'indice vaut 1 quand l'angle entre les deux normales est nul et 0 quand il est supérieur ou égale à $\frac{\Pi}{2}$.

2.4 Résultats

Notre système de lumière structurée est composé d'une caméra de résolution 1280×1024 et d'un projecteur de résolution 1024×780 .

Afin d'extraire les points 3D et les différentes informations géométriques (normales, courbures, discontinuités), le système doit, dans un premier temps, être préalablement calibré. L'étalonnage des caméras est un sujet qui a été fortement étudié et il existe de nombreuses techniques permettant de calibrer une caméra, citons par exemple [17], [18]. Si les techniques de calibrage des caméras sont désormais très répandues, celles permettant de calibrer le système projecteur-caméra sont moins nombreuses. Il existe cependant certaines techniques qui le permettent comme [19], [20].

La méthode présentée dans [20] semble donner de très bons résultats tant au niveau du calibrage de la caméra que du projecteur, c'est pourquoi nous avons choisi d'étalonner notre système en appliquant cette méthode.

Les résultats obtenus sur un cube (Fig. 5) montrent l'indice angulaire entre les normales calculées sur le nuage de points avec le logiciel de traitement RapidForm et celle mesurées à l'aide de notre méthode. On constate que sur l'ensemble du nuage les normales mesurées sont très semblables aux normales calculées, à l'exception des normales situées au niveau des bordures du nuage et au niveau de l'arête, où l'erreur est assez importante.

3 Estimation de la courbure

Comme nous venons de le voir, il existe quelques approches permettant d'extraire les normales à chaque point 3D lors de l'acquisition en utilisant une lumière structurée. Cependant, certains attributs géométriques comme la courbure restent très peu exploités bien qu'ils soient pourtant, eux aussi, porteurs d'informations. Ici, nous présentons une nouvelle approche permettant d'estimer une courbure directionnelle d'un objet à partir du motif de lumière présenté précédemment.

En projetant une ligne à l'aide d'un projecteur, on génère un plan lumineux Π_m qui va intersecter l'objet 3D. Prenons

le cas d'un objet particulier, un cylindre. Comme illustré dans la Fig. 6, cette intersection forme un demi-cercle dans ce même plan (dans le cas où le plan lumineux est perpendiculaire à l'axe du cylindre). La visualisation de la scène par la caméra forme une demi-ellipse dans le plan de l'image caméra Π_i . Ce problème peut être vu comme la transformation projective d'une conique (qui est la forme générale d'une ellipse) entre le plan Π_m et Π_i .

La relation entre deux espaces de même dimension, en l'occurrence le plan Π_m et le plan Π_i , est une matrice de transfert communément appelé homographie. De manière générale, pour deux points X_i et X'_i appartenant respectivement à Π_m et Π_i , on a :

$$X'_i = H X_i. \quad (6)$$

Comme expliqué précédemment, ce problème peut être vu comme une transformation projective de la conique A_Q entre le plan Π_i et le plan Π_m . On notera la nouvelle conique résultante, dans le plan Π_m A'_Q . La matrice H , permet de passer d'un plan à un autre. On dit qu'elle fait un transfert de Π_i vers Π_m . Prenons un point $q = (x, y, 1)^T$ appartenant au plan Π_i et sa projection $q' = (x', y', 1)^T$ appartenant au plan Π_m . D'après la définition d'une conique, on peut écrire :

$$q^T \cdot A_Q \cdot q = 0, \quad (7)$$

on sait que

$$q' = H \cdot q, \quad (8)$$

et on cherche

$$q'^T \cdot A'_Q \cdot q' = 0. \quad (9)$$

De l'équation (7) vient :

$$(H^{-1} H q)^T \cdot A_Q \cdot H^{-1} H q = 0, \quad (10)$$

$$(H^{-1} q')^T \cdot A_Q \cdot H^{-1} q' = 0, \quad (11)$$

$$q'^T H^{-T} \cdot A_Q \cdot H^{-1} q' = 0. \quad (12)$$

(13)

De (9) et (12) on en déduit :

$$A'_Q = H^{-T} \cdot A_Q \cdot H^{-1}. \quad (14)$$

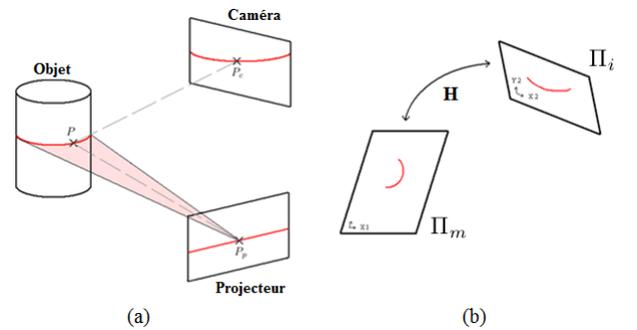


FIGURE 6 – Schématisation de la problématique. (a) Principe utilisé pour déterminer la courbure. (b) Relation entre le plan d'éclairage (demi-cercle) et le plan de la caméra (ellipse).

A_Q est connue étant donné qu'il s'agit d'une observation de l'image. Si l'on connaît H , à l'aide d'une étape de calibrage supplémentaire, il est alors possible de déterminer la conique dans le plan Π_m .

3.1 Extraction des paramètres

La matrice résultante de la transformation projective, A'_Q peut s'écrire sous la forme quadratique Q suivante :

$$A'_Q = A'x^2 + B'xy + C'y^2 + D'x + E'y + F' = 0, \quad (15)$$

ou encore

$$Q = \begin{bmatrix} A' & B'/2 & D'/2 \\ B'/2 & C' & E'/2 \\ D'/2 & E'/2 & F' \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Il est alors possible, à partir de cette matrice, d'extraire différents paramètres comme le centre de la conique dans le plan Π_m ou encore le rayon de courbure. En effet, il est possible d'extraire l'équation réduite de notre cercle et donc d'estimer le rayon de courbure. Notons λ_1 et λ_2 les valeurs propres de la sous matrice A'_{33} , avec

$$A'_{33} = \begin{bmatrix} A' & B'/2 \\ B'/2 & C' \end{bmatrix}. \quad (17)$$

L'équation réduite peut s'écrire :

$$\lambda_1 x'^2 + \lambda_2 y'^2 + \frac{\det A'_Q}{\det A'_{33}} = 0, \quad (18)$$

avec x' et y' la position d'un point sur la courbe (plan Π_m).

En divisant par $-\frac{\det A'_Q}{\det A'_{33}}$, on peut encore l'écrire sous la forme :

$$\frac{x'^2}{r^2} + \frac{y'^2}{r^2} = 1. \quad (19)$$

Par identification, on peut en déduire le rayon de notre cercle r :

$$r = \sqrt{-\frac{\det A'_Q}{\lambda_1 \det A'_{33}}}. \quad (20)$$

3.2 Résultats

Le Tab. 1 montre un exemple de courbure calculée avec notre système sur différents cylindres de différents diamètres, mesurés à l'aide d'un pied coulisse. Pour ces trois exemples, nous obtenons une erreur maximale de 3% sur le rayon réel de l'objet. Cependant, la qualité des résultats obtenus dépend fortement du nombre de points utilisés pour estimer la courbure de l'objet comme le montre le Tab. 2. Cette approche reste donc limitée à des surfaces de taille conséquentes mais n'est pas adaptable à des courbures importantes, et plus particulièrement au cas où l'objet présente des discontinuités.

4 Détection des discontinuités

Dans cette partie, nous proposons une méthode permettant de détecter les discontinuités dans une direction donnée à partir de l'image en utilisant toujours le même motif de lumière structurée.

Objet test	Rayon mesuré au pied à coulisse	Rayon estimé par notre méthode
Cylindre 1	4,50 mm	4,37 mm
Cylindre 2	3,45 mm	3,41 mm
Cylindre 3	2,82 mm	2,75 mm

TABLE 1 – Résultats obtenus avec notre méthode sur trois cylindres différents.

Rayon réel	Rayon avec 100 points	Rayon avec 50 points	Rayon avec 20 points
4,50 mm	4,37 mm	4,85 mm	6,2 mm
3,45 mm	3,41 mm	3,65 mm	4,52 mm
2,82 mm	2,75 mm	2,74 mm	3,80 mm

TABLE 2 – Résultats obtenus avec notre méthode en fonction du nombre de points utilisés pour déterminer la conique A_Q .

4.1 Principe

Comme dans le cas précédent, nous considérons une seule ligne du motif. Comme l'illustre la Fig. 7, une discontinuité de l'objet peut être visualisée à partir de l'image caméra. Celle-ci peut être détectée en mesurant la variation locale des normales 2D à cette ligne (Fig. 8).

En pratique, ce sont les normales aux tangentes à la ligne en chaque point de la grille que nous utilisons précédemment pour le calcul des normales 3D. En calculant la variation de ces normales, il est alors possible d'estimer la localisation des discontinuités.

4.2 Résultats

Sur la Fig. 9.b et la Fig. 10 nous présentons quelques résultats de détection de discontinuités, obtenus avec notre méthode d'évaluation de courbure locale. Pour tester notre méthode, nous avons utilisé les objets présentés en Fig. 9.a et en Fig. 11. Ces objets sont composés de plusieurs plans avec des arêtes vives entre chaque plan.

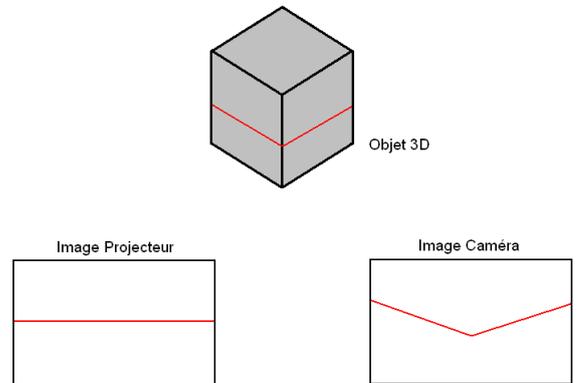


FIGURE 7 – Déformation de la ligne projetée sur l'objet.

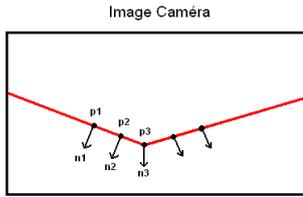


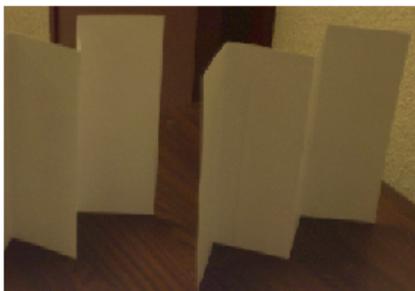
FIGURE 8 – Principe du détecteur de discontinuités.

Sur ces exemples, les arêtes semblent bien localisées. Une rétro-projection sur la forme réelle (Fig. 11) permet de vérifier la conformité de la détection vis-à-vis de la forme réelle de l'objet.

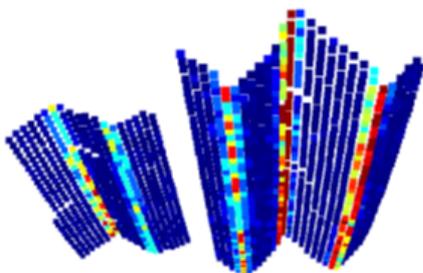
5 Conclusion et perspectives

Dans ce document, nous avons présenté plusieurs approches permettant de déterminer des attributs complémentaires aux points 3D : normale 3D, courbure directionnelle, discontinuité. Les résultats obtenus offrent des perspectives, en particulier en ce qui concerne la segmentation de la forme analysée en fonction des attributs et l'identification des différents objets présents dans la scène.

La détection de zones présentant une courbure importante, permet d'envisager des stratégies de numérisation particulières de type « coarse to fine ». Une première passe de numérisation grossière (peu dense) permet de réaliser une dé-



(a)



(b)

FIGURE 9 – Résultats obtenus sur un objet test. (a) L'objet test. (b) Résultats : en bleu, pas de discontinuités, probablement un plan. En rouge les zones à forte courbure, probablement une arête.

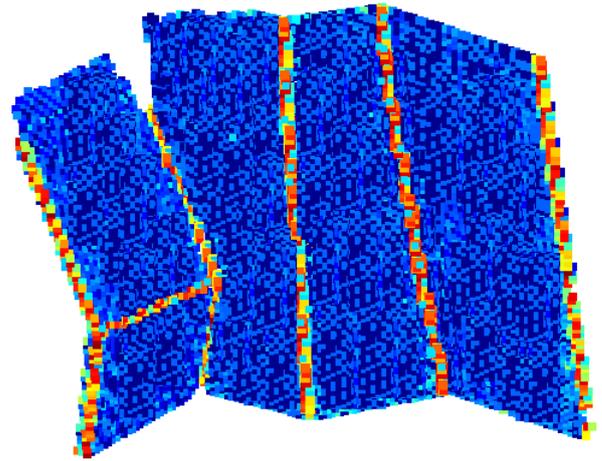


FIGURE 10 – Résultats de notre détecteur de discontinuités sur l'objet présenté en Fig. 12-a.

tection grossière des zones porteuses d'information et qui mériteront une acquisition plus fine en agissant sur la forme du motif structuré projeté sur la surface.

Une autre application est la modélisation de l'objet sous forme de primitives basiques. A partir des attributs géométriques déterminés à partir des images fournies par la caméra, les éléments de la forme peuvent être différenciés, segmentés et représentés sous forme de plans, cylindres afin d'atteindre la finalité de la chaîne 3D complète (Fig. 1).

Un exemple de résultat, issu de test préliminaire, est présenté en Fig. 12. Les normales et courbures, nécessaires à la détermination des primitives (plans et cylindre) ont été obtenues par les solutions présentées dans les parties II et III.

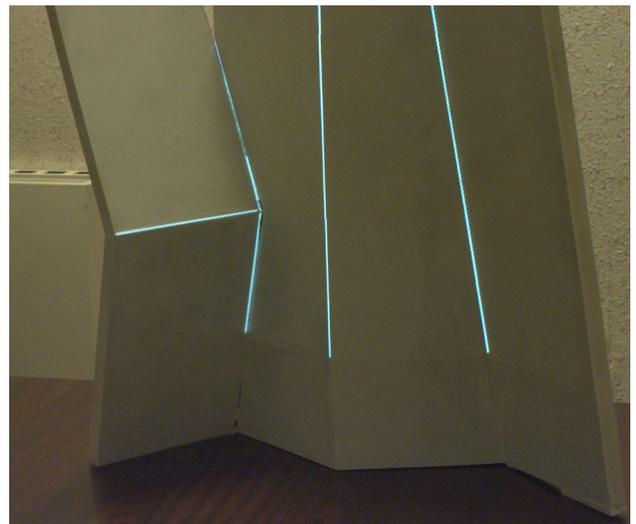


FIGURE 11 – Vérification de notre méthode pour détecter les discontinuités par reprojexion. Nous avons projeté des lignes au niveau des zones à fortes courbures.

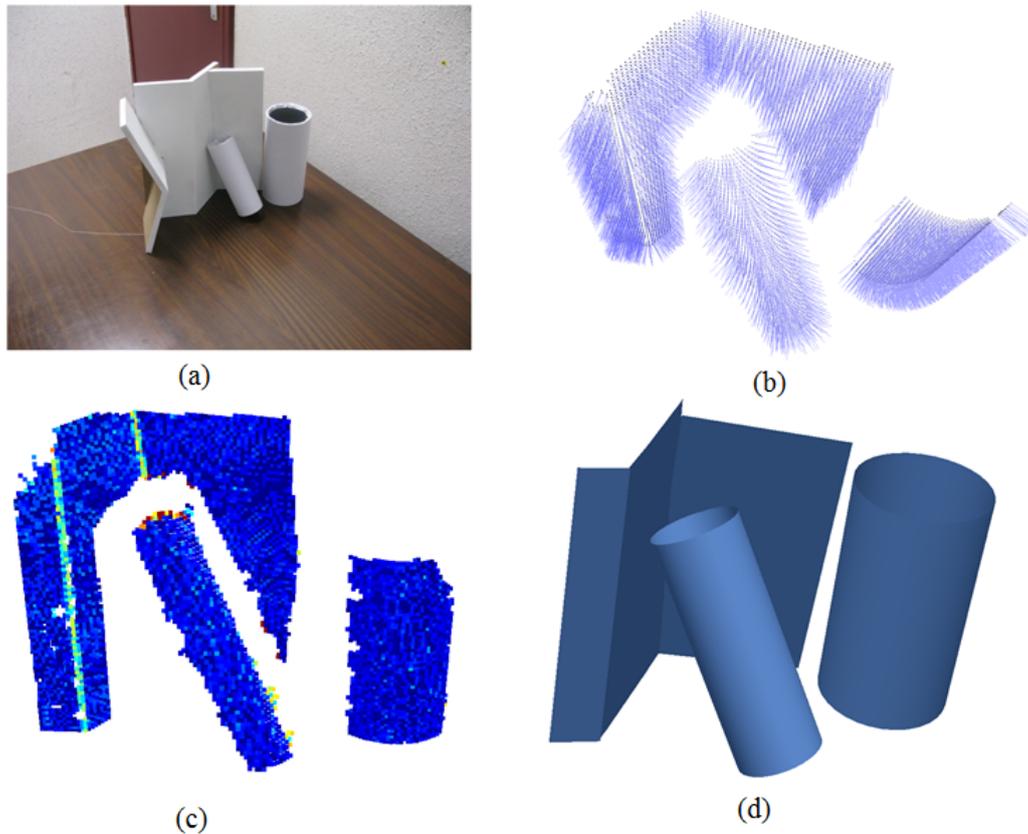


FIGURE 12 – *Extraction de primitives. (a) Objet test composé de plans et de cylindres. (b) Carte des normales. (c) Détection des discontinuités. (d) Modélisation des primitives à partir des informations extraites par notre méthode durant l’acquisition.*

Références

- [1] Société Noomeo, <http://www.noomeo.eu/>, Labege, France.
- [2] Laboratoire d’Informatique, Signaux et Systèmes de Sophia Antipolis, <http://www.i3s.unice.fr/I3S/>, Sophia Antipolis, France.
- [3] Laboratoire Électronique Informatique et Image, <http://le2i.cnrs.fr/>, Le creusot, France.
- [4] R. Zhang, P. Tsai, J.E. Cryer, M. Shah, *Shape from shading : A survey*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 21(8) :690–706, 1999.
- [5] O. Morel, C. Stolz, F. Meriaudeau, P. Gorria, *Active lighting applied to 3d reconstruction of specular metallic surfaces by polarization imaging*, Applied Optics, 45 :4062–4068.
- [6] Y. Surrel, *Mesure et contrôle de planéité par déflectométrie*, Contrôle et mesures optiques pour l’industrie, pages 271–275, 2004.
- [7] G. Eren, *3D scanning of transparent objects*, thesis report, Université de Bourgogne ; Turquie - Université de SABANCI, 2010.
- [8] S. Kiyasu, H. Hoshino, K. Yano, S. Fujimura, *Measurement of the 3-D Shape of Specular Polyhedrons Using an M-Array Coded Light Source*, IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, vol. 44, no. 3, pp. 775-778, June 1995.
- [9] P. Griffin, L. Narasimhan, S. Yee, *Generation of Uniquely Encoded Light Patterns for Range Data Acquisition*, Pattern Recognition, vol. 25, no. 6, pp. 609-616, 1992.
- [10] J. Salvi, J. Battle, E. Mouaddib, *A Robust-Coded Pattern Projection for Dynamic 3D Scene Measurement*, Pattern Recognition Letters, vol. 19, pp. 1055-1065, 1998.
- [11] R.A. Morano, C. Ozturk, R. Conn, S. Dubin, S. Zietz, J. Nissano, *Structured Light Using Pseudorandom Coded*, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, no. 3, pp. 322-327, Mar. 1998.
- [12] Z. Song, R. Chung, *Determining both surface position and orientation in structured-light-based sensing*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 32 : 1770–1780, 2010.
- [13] I.Ishii, K. Yamato, K. Doi, T. Tsuji, *High-Speed 3D Image Acquisition Using Coded Structured Light Projection*, Proc. Int’l. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp. 925-930, 2007.

- [14] I.S.R.J. Valkenburg, A.M. McIvor, *Accurate 3D Measurement Using a Structured Light System*, Image and Vision Computing, vol. 16, no. 2, pp. 99-110, 1998.
- [15] W. Krattenthaler, K.J. Mayer, H.P. Duwe, *3D-Surface Measurement with Coded Light Approach*, Proc. 17th Meeting Austrian Assoc. for Pattern Recognition on Image Analysis and Synthesis, pp. 103-114, 1994.
- [16] S. Zhang, P.S. Huang, *High-Resolution, Real-Time Three-Dimensional Shape Measurement*, Optical Eng., vol. 45, no. 12, p. 123601, 2006.
- [17] Z. Zhang, *A flexible new technique for camera calibration*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22 :1330–1334, 1998.
- [18] R. Tsai, *An efficient and accurate camera calibration technique for 3d machine vision*, Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 0 :pp. 364–374, 1986.
- [19] Z. Song and R. Chung, *Use of LCD Panel for Calibrating Structured Light-Based Range Sensing System*, IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, vol. 57, no. 11, pp. 2623-2630, Nov. 2008.
- [20] S. Audet, M. Okutomi, *A user-friendly method to geometrically calibrate projector-camera systems*, Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 0 :47–54, 2009.