

# Extraction auto-adaptative des contours 3D des obstacles routiers par stéréovision

Gwenaëlle TOULMINET, Stéphane MOUSSET, Abdelaziz BENSRAHAI

Laboratoire Perception, Systèmes, Information (PSI) CNRS FRE 2645  
Université/INSA de Rouen, Place Emile Blondel, 76131 Mont-Saint-Aignan Cedex

Tél: +33.(0)2.35.52.84.05, Fax: +33.(0)2.35.52.84.83

gwenaëlle.toulminet@insa-rouen.fr, stephane.mousset@insa-rouen.fr  
abdelaziz.bensrahair@insa-rouen.fr

**Résumé** – Dans le cadre de la détection d’obstacles pour l’aide à la conduite automobile, nous avons conçu une méthode d’extraction auto-adaptative, robuste et fiable des contours 3D des obstacles par stéréovision. Cette extraction est obtenue par coopération de deux méthodes d’extraction qui n’ont pas les mêmes performances et qui sont utilisées de manière complémentaire. La première méthode extrait des courbes 3D des obstacles par un seuillage sur la valeur de disparité de ses points 3D après détection du plan de la route. La seconde méthode extrait des segments 3D des obstacles par seuillage de leur angle d’inclinaison par rapport au plan de la route. Des résultats expérimentaux sont présentés sur des scènes routières réelles dont les conditions de visibilité sont différentes.

**Abstract** – Within the framework of obstacle detection for driving assistance, we present a self-adaptive, robust and reliable stereo vision method that extracts 3D edges of obstacles. This method of extraction is a cooperation of two methods of extraction of 3D edges of obstacles that have not the same sensitivity and that are used in a complementary way. After the detection of the road plane, the first method extracts 3D curves by thresholding the disparity value of its 3D points. The second one extracts 3D segments by thresholding its inclination angle with respect to the road plane. Some experimental results are presented on real road scenes whose visibility conditions are different.

## 1 Introduction

Dans le cadre de la conception de systèmes d’aide à la conduite automobile, la détection d’obstacles est un problème clé. Et pour résoudre ce problème, un système de détection d’obstacles idéal doit être capable de détecter en temps réel n’importe quel type d’obstacle (voiture, piéton, cycliste, débris, animaux,...) quels que soient le scénario routier, la visibilité et les conditions météorologiques. Il doit également fournir la position 3D des obstacles.

Il existe actuellement une très grande diversité de systèmes de détection d’obstacles dont la majorité a été testée dans des conditions réelles; et, la très grande diversité de ces systèmes, l’évaluation de leur performance ainsi que les avancées technologiques permettent actuellement d’envisager des solutions partielles au problème de la détection d’obstacles pour lesquelles l’utilisation de capteurs de vision apparaît incontournable [1][2].

Dans le cadre de la détection d’obstacles pour l’aide à la conduite automobile, nous avons conçu une méthode d’extraction auto-adaptative, robuste et fiable de courbes 3D de contour des obstacles par stéréovision. L’extraction des courbes 3D de contour des obstacles est obtenue par coopération de deux méthodes d’extraction qui n’ont pas les mêmes performances. Les courbes 3D de contour sont construites à partir de cartes 3D éparées. Les cartes 3D sont obtenues par mise en correspondance de points de contour en utilisant une méthode de programmation dynamique et une analyse multi-critères. Les points de contour sont extraits de façon auto-adaptative en utilisant un opérateur développé au laboratoire et appelé *déclivité*.

## 2 Construction de courbes 3D

En exploitant la géométrie épipolaire de notre système de stéréovision, les courbes 3D sont construites ligne par ligne et cette construction se compose de trois étapes.

Dans un premier temps, les points de contour de deux lignes images droite et gauche sont extraits de façon auto-adaptative en utilisant l’opérateur *déclivité* [3].

Dans un deuxième temps, ces points de contour sont mis en correspondance par une méthode de programmation dynamique, en tenant compte de contraintes géométriques, photométriques, d’ordre et d’unicité [4]. Les résultats de mise en correspondance sont des points de contour 3D.

Dans une troisième étape, nous construisons les courbes 3D: pour chaque point 3D de la ligne image deux cas sont possibles. Si ce point respecte des critères de voisinage, de profondeur et d’unicité, il prolonge une courbe 3D. Sinon, il génère une nouvelle courbe 3D.

Dans une dernière étape, nous améliorons les cartes 3D éparées en appliquant un critère de continuité sur les courbes 3D construites. Nous définissons l’amélioration des cartes 3D comme étant la détection et la correction des faux appariements de mise en correspondance des images stéréoscopiques. Cette méthode est rapide et permet de réduire considérablement le nombre de faux appariements [5].

### 3 Extraction des contours 3D des obstacles

#### 3.1 Détection de la route

Dans une première approche de détection de la route, nous modélisons la route par un plan, et nous estimons dynamiquement l'inclinaison  $\alpha$  de ce plan par rapport au système de stéréovision, ainsi que la hauteur  $H$  du système de stéréovision, et nous négligeons le roulis (cf. figure 1).

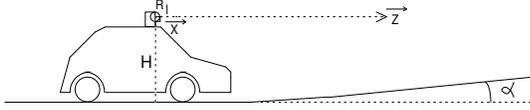


FIG. 1: Inclinaison  $\alpha$  du plan de la route et hauteur  $H$  du système de stéréovision

Pour cela, nous nous sommes inspiré des travaux du LIVIC de l'INRETS [6]; et des travaux du *Engineering Research Center* du *California Institute of Technology* [7] : nous construisons une carte binaire à partir d'une carte 3D améliorée tel que : un point de la ligne  $y$  et de disparité  $\delta$  dans la carte 3D améliorée est reporté à la ligne  $y$  et à la colonne  $\delta$  de la carte binaire. Dans le cas où la route est plane, sa représentation dans cette image binaire est un segment de droite. Ce segment de droite est extrait en utilisant la transformée de *Hough*.

#### 3.2 Extraction de courbes 3D par un seuillage sur la valeur de disparité de ses points 3D

En utilisant le principe des rectifications homographiques, nous associons chaque ligne  $y$  de l'image à une valeur de disparité  $\delta_{route}(y)$  où  $\delta_{route}$  représente la disparité de la route déterminée à partir de l'inclinaison du plan de la route  $\alpha$ , de la hauteur du système de stéréovision  $H$  et du calibrage du système de stéréovision. Elle est égale à :

$$\delta_{route} : y \mapsto \begin{cases} \frac{e \times (p_y \times (y - \frac{h}{2}) \times \cos \alpha + f \times \sin \alpha)}{p_x \times (H - y \times p_y)} & \text{si } y \geq y_{horizon} \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (1)$$

avec  $y_{horizon} = \left(\frac{h}{2} - \frac{f}{p_y} \times \tan \alpha\right)$

$e$  est l'écartement entre les deux centres optiques,  $p_x$  et  $p_y$  sont respectivement la largeur et la hauteur du pixel du capteur CCD,  $f$  est la distance focale des objectifs et  $w \times h$  est la résolution de l'image. Nous utilisons la fonction  $\delta_{route}$  comme une fonction seuil pour segmenter la carte 3D améliorée : si la valeur de disparité d'un point 3D de la ligne  $y$  de la carte 3D améliorée est plus grande que  $\delta_{route}(y)$ , cela signifie qu'il est au dessus de la surface de la route. Les courbes 3D situées au-dessus de la surface de la route sont considérées comme appartenant à des obstacles et sont extraites. Un exemple de résultat expérimental est présenté sur la figure 2. Sur cet exemple, la hauteur mesurée du système de stéréovision est  $H = 1,23m$ . L'angle d'inclinaison mesuré de la route est  $\alpha = 17^\circ$ . La calibration initiale du système de stéréovision nous donne  $H =$

$1,20m$  et  $\alpha = 10^\circ$ .

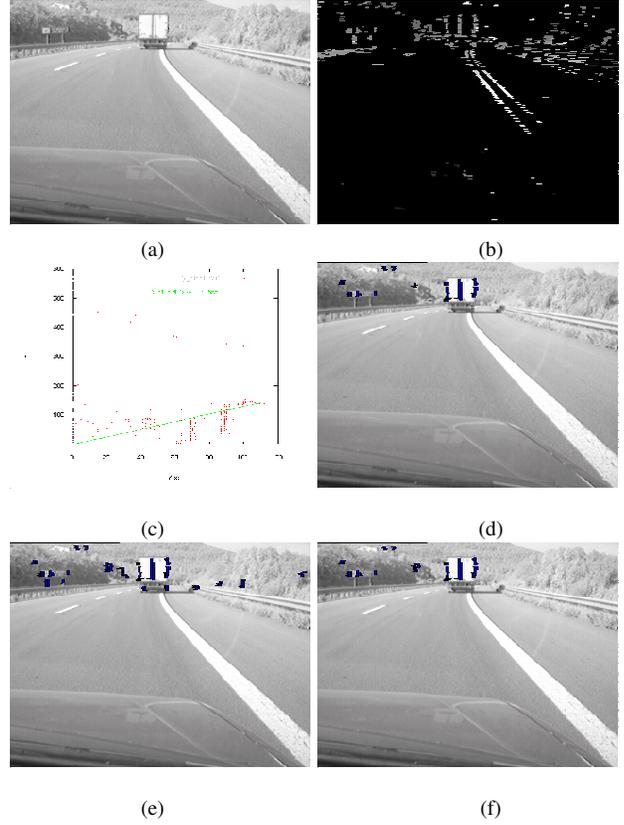


FIG. 2: Extraction des contours 3D des obstacles. (a) Image droite acquise par le *Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione università di Parma*. (b) Courbes 3D : les distances sont codées en niveau de gris. (c) Représentation  $(y, \delta)$  et détection du plan de la route. (d) Courbes 3D des obstacles extraites à partir de la représentation (c) et superposées sur l'image droite. (e) Segments 3D des obstacles extraits par seuillage de leur angle d'inclinaison. La valeur seuil de l'angle d'inclinaison est de  $17^\circ$ . (f) Contours 3D des obstacles résultats de la coopération des deux méthodes d'extraction.

#### 3.3 Extraction de segments 3D par un seuillage de leur angle d'inclinaison

Les environnements routiers, autoroutiers et urbains sont des environnements structurés. Il est alors légitime de décomposer les courbes 3D par un ou plusieurs segments 3D. Ainsi, les courbes 3D sont approximées par des segments 3D en utilisant une méthode itérative de partition.

L'angle d'inclinaison d'un segment 3D par rapport au plan de la route est un indice qui peut être utilisé pour détecter les obstacles. En effet, on observe que si l'angle d'inclinaison d'un segment 3D tend vers 0 degré alors le segment 3D appartient généralement au plan de la route (marquage sur la route, bords de route,...). Si cet angle tend vers 90 degrés, alors le segment 3D est un contour 3D d'un obstacle.

Dans une première étape du calcul de l'angle d'inclinaison d'un segment 3D, nous déterminons le vecteur directeur  $\vec{V}$  de la droite qui contient le segment 3D dans le repère du système

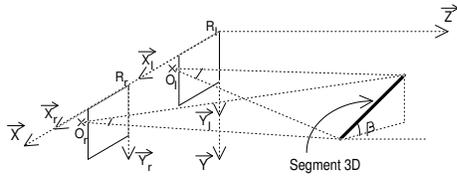


FIG. 3: Angle d'inclinaison  $\beta$  d'un segment 3D.

de stéréovision [8] (cf. figure 3 et équation 2).

$$\vec{V} = \begin{pmatrix} V_x = p_x \times ((m_r \times b_l - m_l \times b_r) + \frac{w}{2} \times (m_l - m_r)) \\ V_y = p_y \times ((b_l - b_r) + \frac{h}{2} \times (m_l - m_r)) \\ V_z = f \times (m_l - m_r) \end{pmatrix} \quad (2)$$

$m_r$ ,  $m_l$ ,  $b_r$  et  $b_l$  sont calculés par la méthode des moindres carrés et sont tels que :

$$f_r : x_r \rightarrow m_r \times y + b_r \quad f_l : x_l \rightarrow m_l \times y + b_l \quad (3)$$

$f_r$  et  $f_l$  sont respectivement les équations des projections du segment 3D dans l'image droite et gauche. Dans une deuxième étape, l'angle d'inclinaison d'un segment 3D est calculé par rapport au plan de la route.

– cas 1 : si  $V_z \neq 0$  et  $V_x \neq 0$

$$\beta = \arctan \left( -\frac{V_y}{\sqrt{V_x^2 + V_z^2}} \right) - \arctan \left( \frac{V_z \times \tan \alpha}{\sqrt{V_x^2 + V_z^2}} \right) \quad (4)$$

– cas 2 : si  $V_z = 0$  et  $V_x = 0$

$$\beta = \frac{\Pi}{2} - \alpha \quad (5)$$

Finalement, nous extrayons les segments 3D qui ont un angle d'inclinaison supérieur à un seuil pré défini. Un exemple expérimental d'extraction de segments 3D par seuillage de leur angle d'inclinaison est présenté sur la figure 2.

### 3.4 Coopération des deux méthodes d'extraction

Dans cette section, nous proposons une coopération des deux méthodes d'extraction proposées dans les deux sections précédentes. L'avantage de la première méthode (section 3.2) est qu'elle est très peu sensible au bruit de mesure de disparité [7]. Cependant, cette méthode dépend beaucoup de la modélisation et de la technique de détection de la route.

L'avantage de la seconde méthode (section 3.3) est qu'elle est très peu sensible à une modélisation et une détection approximative du plan de la route. Cependant, certains contours 3D d'obstacles peuvent avoir un angle d'inclinaison nul par rapport au plan de la route (remorques, camions sans leur chargement, rambarde de sécurité le long des autoroutes,...). De plus, cette méthode est sensible au bruit de mesure de disparité. Généralement, les erreurs de mesure de disparité sont modélisées par une composante stochastique (provenant du bruit dans les images en niveaux de gris) et d'amplitude souvent égale à 1 pixel; et d'une composante de faux appariements dont l'amplitude peut être très importante. Néanmoins, nous considérons que l'amélioration des cartes 3D rend la méthode insensible aux erreurs de faux appariements.

Dans une première étape de la coopération, nous construisons l'ensemble  $O$  des courbes 3D identifiées comme étant des

contours 3D d'obstacles par les deux méthodes. Dans une seconde étape, nous construisons l'ensemble  $P$  des courbes 3D qui ont été identifiées comme étant des contours 3D d'obstacles par une seule des deux méthodes. Puis, nous étendons la construction de  $O$  avec les courbes 3D de  $P$  qui vérifient un critère de disparité et de position dans l'image. L'idée est que si une courbe 3D de  $P$  est

- réellement un contour 3D d'obstacle de la scène
- à la même hauteur par rapport à la route qu'un contour 3D d'obstacle de  $O$
- plus proche du système de stéréovision que le contour 3D de  $O$

alors cette courbe apparaît à la même hauteur dans l'image qu'un contour 3D d'obstacle de  $O$ .

A l'inverse, une courbe 3D de  $P$  qui est

- réellement un contour 3D appartenant à la route dans la scène (et qui par conséquent a été extraite par erreur par l'une des deux méthodes)
- plus proche du système de stéréovision qu'un contour 3D de  $O$

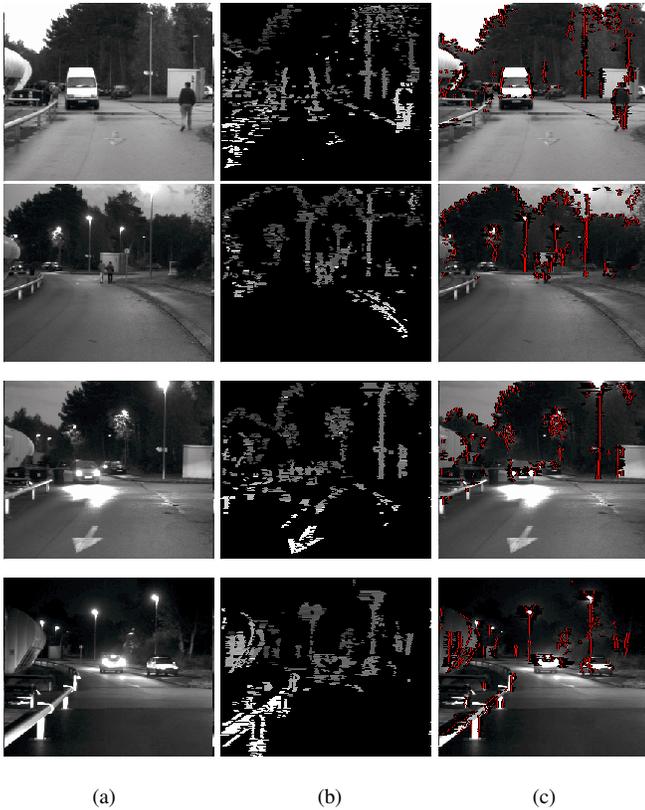
apparaîtra en dessous dans l'image que la projection du contour 3D de  $O$ .

La coopération des deux méthodes d'extraction permet d'extraire de manière robuste et fiable les contours 3D des obstacles. La seconde étape de la coopération des deux méthodes a été conçue de manière à compenser une extraction pauvre de l'une des deux méthodes. Notons enfin que cette méthode d'extraction des contours 3D des obstacles est une des fonctionnalités du système de stéréovision GOLD [9].

## 4 Résultats expérimentaux et discussion

Dans cette section, nous présentons des résultats expérimentaux de l'extraction des contours 3D des obstacles sur des scènes urbaines acquises de jour et de nuit par temps gris (cf figure 4). Les images de ces scènes ont été acquises par le système de vision du P.S.I. placé sur le toit du véhicule expérimental Laguna 2 de l'I.N.S.A. de Rouen. La distance focale des objectifs est de 16 mm. Les images ont été acquises à la vitesse de 10 images par seconde au format  $560 \times 575 \times 8$  bits. Elles ont été traitées au format  $280 \times 288 \times 8$  bits sous GOLD avec un PC Pentium III 450 MHz. Le temps de calcul de l'extraction est d'environ 1,3 s.

D'une manière générale, les tests intensifs effectués ont démontré que l'extraction des contours 3D des obstacles est robuste et fiable même en cas de visibilité réduite : l'extraction des contours 3D des voitures est garantie jusqu'à une distance de 70 m de jour et au crépuscule et jusqu'à 50 m de nuit. L'extraction des contours 3D des piétons est garantie jusqu'à une distance de 50 m de jour et au crépuscule. Ces résultats sont encourageant car le nombre de fausses extractions est faible (en moyenne 1 contour 3D toutes les 10 paires d'images stéréoscopiques). La robustesse de l'extraction des contours 3D des obstacles dans des conditions de visibilité réduite est liée à l'efficacité de l'opérateur *déclivité* dans l'extraction des points de contour. Un inconvénient au processus d'extraction est son temps de calcul qui est beaucoup trop important. Notons néanmoins que le code n'a pas été optimisé sous le système GOLD.



(a) (b) (c)

FIG. 4: Résultats expérimentaux de l'extraction des contours 3D des obstacles sur les images d'une scène urbaine.(a) Image droite. (b) Courbes 3D. (c) Contours 3D des obstacles.

## 5 Conclusion.

Dans cette communication, nous avons présenté une méthode d'extraction des contours 3D des obstacles qui est auto-adaptative, robuste et fiable. L'auto-adaptativité de l'extraction est liée à celle de l'opérateur *déclivité* dans l'extraction des points de contour. La robustesse et la fiabilité de l'extraction sont obtenues par coopération de deux méthodes d'extraction des contours 3D des obstacles qui n'ont pas les mêmes performances et qui sont utilisées de manière complémentaire. Les tests intensifs effectués ont démontré que le nombre de fausses extractions est faible, que l'extraction des contours 3D des voitures est garantie jusqu'à une distance de 70 m de jour et au crépuscule et jusqu'à 50 m de nuit, et que l'extraction des contours 3D des piétons est garantie jusqu'à une distance de 50 m de jour et au crépuscule. Cette méthode d'extraction des contours 3D des obstacles est une des fonctionnalités du système de stéréovision GOLD [9] et est actuellement utilisée dans le cadre de la détection de piétons et la détection de véhicule.

## Références

[1] M. Bertozzi, A. Broggi et A. Fascioli, *Vision-based Intelligent Vehicles: State of the art and perspectives*, Journal of Robotics and Autonomous systems, juin 2000, (32), p 1-16.

[2] E.D. Dickmanns, *The development of machine vision for road vehicles in the last decade*, Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symp., Versailles, France, 18-20 juin 2002.

[3] P. Miché et R. Debrie, *Fast and self-adaptive image segmentation using extended declivity*, Annals of telecommunication, 1995, (50), 3-4, p 401-410.

[4] A. Bensrhair, P. Miché et R. Debrie, *Fast and automatic stereo vision matching algorithm based on dynamic programming method*, Pattern Recognition Letters, 1996, (17), p 457-466.

[5] G. Toulminet, *Extraction des contours 3D des obstacles par stéréovision pour l'aide à la conduite automobile*, Laboratoire PSI INSA/Université de Rouen, décembre 2002.

[6] R. Labayrade, D. Aubert et J.P. Tarel, *Real Time Obstacle Detection in Stereovision on No-n Flat Road Geometry Through «V-disparity» Representation*, Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symp., Versailles, France, 18-20 juin 2002.

[7] J. Weber et M. Atkin, *Further results on the use of binocular vision for highway driving*, SPIE Conference on Intelligent Systems and Controls, SPIE Vol 2902, novembre 1996.

[8] G. Toulminet, A. Bensrhair, S.Mousset, A. Broggi et P. Miché, *Système de stéréovision pour la détection d'obstacles et de véhicule en temps réel*, 18ème colloque GRETSI'01 sur le traitement du signal et des images, Toulouse, France, 10-13 septembre 2001.

[9] A. Bensrhair, M. Bertozzi, A. Broggi, A. Fascioli, S. Mousset et G. Toulminet, *Stereo Vision-based Feature Extraction for Vehicle Detection*, International IEEE Conference on Intelligent Vehicles, IV'02, Versailles, France, 18-20 juin 2002.,