
Amélioration de la reconnaissance des marquages routiers par l'optimisation d'algorithmes d'extraction

(version 1.01 du 18 mai 2009)

Jerome NINOT^{*,*} — Jean-Philippe Tarel^{**} — Thomas Gavrilovic^{*}
— Laurent Smadja^{*} — Kevin Heggarty^{***}**

^{*} VIAMETRIS, Maison de la Technopole, 6 rue Leonard de Vinci, BP0119
53001 Laval cedex, France

{jninot,tgavrilovic,lsmadja}@viametris.fr

^{**} LCPC (LEPSIS), 58 Boulevard Lefèbvre,
75015 Paris, France

<http://perso.lcpc.fr/tarel.jean-philippe>

^{***} Telecom Bretagne, Technopole Brest-Iroise, CS 83818
29238 Brest cedex 3, France

<http://public.enst-bretagne.fr/~heggarty/>

RÉSUMÉ. Les difficultés techniques pour le suivi et la reconnaissance de lignes de marquages routiers sont engendrées par les conditions d'acquisition des images embarquées, subissant les ombres projetées, les éblouissements, les occlusions par des obstacles, etc. En général, la première phase de traitement d'image est la phase d'extraction. Une comparaison exhaustive des algorithmes existants a été proposée dans [VEI 08]. Nous proposons de développer les conclusions de cet article en proposant d'autres formes de filtre puis après une comparaison qualitative, nous fournirons des exemples d'application.

ABSTRACT. The technical difficulties for the tracking and the recognition of road markings are engendered by the grabbing conditions of the embedded cameras, undergoing shadows on ground, dazzles, occlusions by obstacles, etc. Generally, the first step of image processing is the extraction step. An exhaustive comparison of the existing algorithms was proposed in [VEI 08]. We suggest developing the conclusions of this article by proposing the other forms of filter, then after a qualitative comparison, we shall propose examples of application.

MOTS-CLÉS : Relevé de patrimoine routier, Extraction de ligne de marquage, filtrage, optimisation

KEYWORDS: Road analysis, lane marking extraction, filtering, algorithm optimization

1. Introduction

Dans la littérature scientifique, on remarque que beaucoup se sont intéressés au sujet de la détection de lignes de marquages routiers. Ces algorithmes proposent pour la plupart une solution complète passant alors par trois étapes primordiales :

- Extraction du marquage
- Estimation des paramètres
- Suivi des paramètres sur séquence d'images

Les applications sont diverses. Par exemple, on voit émerger des systèmes d'aide à la conduite (Advanced Driver Assistance Systems -*ADAS*) assistant le conducteur à maintenir son véhicule dans sa voie de circulation à partir d'une estimation temps réel des paramètres des bords de voie, et à l'extrême, on voit grandir depuis quelques années l'engouement des laboratoires de robotique pour la conception de véhicule sans pilote. Une troisième application concerne l'analyse du patrimoine routier. Le réseau routier national est dense et diversifié et la création d'un outil d'analyse automatique serait un atout important. A ce stade, on voit même des synergies possibles entre la constitution de bases de données géo-référencées avancées (regroupant des informations sur la signalétique) et des systèmes *ADAS* comme le projet *LAVIA* (Limiteur s'Adaptant à la Vitesse Autorisée) nécessitant de connaître la vitesse de circulation en tout point d'une carte GPS.

C'est dans le contexte de relevé du patrimoine routier que s'insère cette étude. Nous avons développé un véhicule dédié à l'acquisition de données numériques temps réel (Cf. figure 1). Ce véhicule, équipé d'imagerie haute définition et de télémétrie LASER, nous permet de récupérer des données géo-référencées du réseau routier. Ensuite, nous développons des algorithmes capables d'analyser ces données dans le but de fournir une cartographie sur l'état et le type de marquage routier présent.



Figure 1. Véhicule d'acquisition de la société VIAMETRIS comportant caméras numériques, Lidars, Odométrie, Récepteur GPS centimétrique, informatique embarquée.

Dans le cadre de cette analyse automatique du patrimoine horizontal (ligne de marquage, marquages spéciaux, etc.) on comprend que l'extraction du marquage au sol est primordiale. Cependant, on remarque que la première étape constituant les algorithmes de détection de marquage (i.e. extraction) est peu décrite dans la littérature. Dans [IEN 03, IEN 04] ou [TAR 07] par exemple, l'accent est mis sur l'estimation des paramètres par une approche probabiliste plutôt que sur l'extraction. Nous proposons dans cet article de décrire de nouvelles techniques d'extraction de marquage par traitement d'image comparées à celles existantes. Nous profiterons alors pour associer à chaque méthode des techniques d'optimisation algorithmique. Enfin nous conclurons sur l'algorithme donnant les meilleures performances tout en les associant à des applications concrètes.



Figure 2. Image provenant de la base ROMA (a). Résultat après un seuillage global (b).

2. Etat de l'art

Dans le domaine particulier de l'acquisition et l'analyse de patrimoine routier, plusieurs acteurs industriels et publics participent au développement de solutions. Le Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées (LCPC) est une référence publique dans le domaine. Une solution est d'ailleurs proposée pour l'acquisition de données (système d'Imagerie Routière par CAMéra Numérique - IRCAN) associée à un outil logiciel (Imagerie Routière Etalonnages, Visualisations, Exploitations - IREVE). Cet outil logiciel est disponible mais est toujours en développement pour ajouter des fonctionnalités de traitement d'image automatique. Par ailleurs, il existe des sociétés qui développent des solutions fondées sur la télémétrie LASER (*LIDAR*) comme la société *Geo3D* ou encore *StreetMapper*.

Le choix technologique que nous avons choisi est une fusion des données Image-LIDAR. De part la propriété linéaire et continue d'un marquage routier au sol, nous avons choisi de nous orienter sur le traitement d'image pour la reconnaissance de marquages routiers.

La plupart des algorithmes d'extraction de ligne de marquage par traitement d'image se basent sur de la détection de contour comme dans [TAR 00] ou [BER 97]. Certains ont développé une technique nécessitant de la stéréo-vision ([DAN 07]) mais ceci implique un système relativement contraignant. [REB 04] et [JIA 00] proposent une technique originale en proposant de calculer la transformée de perspective inversée (Inverse Perspective Mapping Transformation ou *IPM*) pour rétablir une vue de dessus de la chaussée. En revanche, cette technique demande un temps de calcul important. Des opérateurs morphologiques et filtres orientés ont été utilisés par [MCC 06, LOP 07]. Ces algorithmes sont en partie testés dans [VEI 08], une des rares études proposant de considérer cette phase algorithmique à part entière et dans laquelle on retrouve un comparatif exhaustif des techniques d'extraction existantes au travers une base de données image (*ROMA*), associée à une vérité terrain du marquage au sol (disponible sur <http://www.lcpc.fr/en/produits/ride/>).

La difficulté dans l'extraction d'un marquage routier se présente lors de conditions d'éclairage particulières, ou de jeux d'ombres au sol qui rendent difficile le seuillage classique des niveaux de gris dans l'image (Figure 2(a) et (b)). Certaines méthodes proposent donc d'utiliser des techniques de seuillage local permettant de choisir un seuil différent en chaque pixel selon son voisinage.

Dans le contexte considéré, les images proviennent de caméras embarquées situées

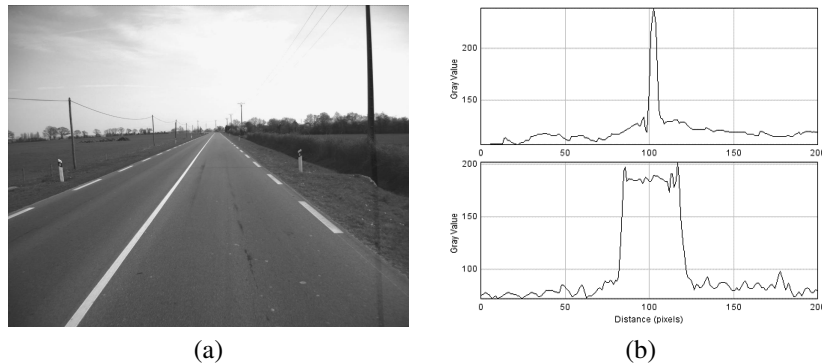


Figure 3. Image d'une caméra embarquée (a). Deux profils de coupe locale, pour deux lignes de l'image (b).

généralement sur le véhicule ou derrière le pare-brise. De ce fait, les lignes de marquage de la chaussée dans l'image convergent vers son point de fuite. Au dessous de ce point de fuite, chaque ligne de l'image possède un ou plusieurs segments horizontaux d'une certaine largeur. La taille de ce segment décroît linéairement entre la base de l'image et la ligne de fuite de l'image du fait même de la perspective. On peut voir sur la figure 3 que la coupe locale en deux lignes distinctes de l'image met en évidence la différence de largeur en pixel des pics de niveau de gris correspondant à une ligne de marquage alors que le marquage est de largeur réelle constante. Ainsi, si nous voulons appliquer un filtre local, en lui associant un voisinage de travail, nous devons

faire varier la taille du voisinage en fonction de sa position dans l'image. On définit ce voisinage rectiligne de taille variable, fonction de l'index de la ligne de l'image. En supposant connaître la position de la caméra par rapport à la route et en supposant que la route est localement plane, on peut calculer la taille de ce voisinage en chaque ligne en fonction de la largeur réelle de marquage que l'on cherche à extraire.

Dans [VEI 08], l'algorithme d'extraction par seuillage local consiste à adapter le seuil en fonction de la moyenne des intensités calculée sur un voisinage. On peut se rendre compte que l'algorithme de seuillage local n'est rien d'autre qu'un seuil global appliqué à une image obtenue après un filtrage passe-haut. Ce filtrage passe-haut est obtenu en calculant la différence entre l'image d'origine et sa moyenne locale calculée sur un voisinage variable. On peut donc noter ce filtre comme le calcul d'un résidu. Cette nouvelle interprétation met en évidence le fait que ce calcul de résidu est une approximation du laplacien de l'image.

Toujours dans [VEI 08], l'algorithme de seuillage local symétrique est similaire au précédent mais impose une similitude à gauche et à droite d'un pixel. De ce fait, l'algorithme calcule deux images de résidu obtenues à partir des voisinages asymétriques.

3. Approche par Résidu

Dans ce chapitre, il faut garder à l'esprit que le problème de l'extraction de marquage dans une image est inversé : nous considérons les marquages comme un bruit que nous cherchons à modéliser pour trouver le filtre idéal capable de le supprimer sans détériorer le reste de l'image. Le calcul de résidu (image filtrée soustraite de l'image d'origine) met alors en évidence le marquage de l'image d'origine.

Nous nous intéressons donc à d'autres calculs de résidu possibles. Ces calculs de résidu sont fondés sur des filtres locaux et le bruit que représente une ligne de marquage n'est pas forcément gaussien. De ce fait, le filtrage idéal peut être différent d'un filtre moyen.

Le fait même que les calculs de résidu soient fondés sur des filtres différents implique que la taille du voisinage rectiligne doit s'adapter au type de filtrage utilisé. Quoi qu'il en soit, la variabilité d'un voisinage appliquée à une image donnée (donc à un calibrage donné) est fonction de la largeur de marquage que l'on souhaite extraire de l'image. Nous supposons alors par la suite que la largeur maximum de marquage recherchée est de 30 cm.

3.1. Filtrage

Contrairement à une ouverture morphologique, le filtre moyen utilisé précédemment a tendance à lisser les forts gradients. Nous rappelons que l'ouverture morphologique consiste à calculer une érosion morphologique suivie d'une dilatation morphologique ([SER 00]). Cette procédure élimine les bruits et les objets plus petits que l'élément structurant. Travaillant avec un élément structurant horizontal et rectiligne, l'ouverture morphologique élimine tous les maximum locaux de luminance ayant une

largeur inférieure à la taille de l'élément structurant. Le résultat d'une ouverture appliquée à la figure 2 est montré en figure 4(a).

Cette opération morphologique est capable d'éliminer les pixels appartenant à la ligne de marquage à partir du moment où il existe au moins un pixel appartenant à la chaussée dans le voisinage de travail. On en déduit que la taille du voisinage que l'on doit utiliser est égal à la taille nécessaire pour représenter 30 cm de largeur sur le plan route, plus un pixel de sécurité pour être sûr d'avoir au moins un pixel appartenant à la chaussée.

Le filtrage médian quant à lui est un autre filtrage de lissage qui, tout comme l'ouverture morphologique, conserve certains gradients par rapport au seuillage moyen. La fonction médian détermine parmi une population de données, le nombre séparant la moitié supérieure de la moitié inférieure. Le voisinage de calcul doit donc être constitué d'un nombre de pixels représentant au moins deux fois la largeur d'un marquage (60 cm) plus un pixel de sécurité pour être sûr que la valeur médiane de notre population appartienne à la chaussée.

Enfin, il est rare que le modèle de bruit que l'on souhaite éliminer soit gaussien ou même directement associé à un filtre simple. Nous avons donc considéré la succession de calculs de résidu pour essayer d'approcher le bruit que représente un marquage au sol.

3.2. Expérimentation

Nous avons implanté les algorithmes décrits dans 3.1 en introduisant des optimisations logicielles existantes décrites dans [LOP 07] et [HUA 79]. Concernant le filtrage moyen sur voisinage variable, nous avons utilisé la technique des images intégrales. Les performances des algorithmes sont évaluées grâce à la constitution des courbes de Caractéristiques Opérationnelles du Récepteur (*COR*) ainsi que les courbes des coefficients de similarité appelés autrement *F*-mesure. Pour garder une légitimité auprès de l'article [VEI 08], les images en niveaux de gris et en couleur ont été prises de la base *ROMA*. Pour déclarer un algorithme meilleur qu'un autre, sa courbe *COR* doit être bien supérieure en tout point des autres courbes. Dans le cas contraire la courbe *COR* est ambiguë, nous utilisons la *F*-mesure pour départager les algorithmes en sélectionnant l'algorithme ayant le plus fort maximum global et la plus large bande. Nous avons pu comparer les performances des algorithmes entre eux. On note alors que le meilleur filtre est le calcul de résidu median suivi d'un calcul de résidu moyen ($R_{median/mean}$). Par exemple, pour un taux de $5^0/00$ de fausses détections, on obtient aux alentours de 90% de bonnes détections, contre environ 80% pour le seuillage local de [VEI 08].

Il semble donc que la combinaison de deux filtres successifs nous permette de mieux modéliser la forme du bruit que l'on souhaite éliminer. Ce filtre optimal a l'avantage de ne pas nécessiter un temps de calcul important. En effet, les temps de calcul d'un filtre moyen local sont insignifiants comparés aux temps de calcul d'un filtre médian local, en notant par exemple que le temps de calcul d'un filtrage moyen pour une ligne d'image est indépendant de la taille du voisinage. Il représente environ 0.02 ms par

ligne. De ce fait, le surcoût de temps pour le calcul de $R_{median/mean}$ est insignifiant par rapport aux gains apportés.

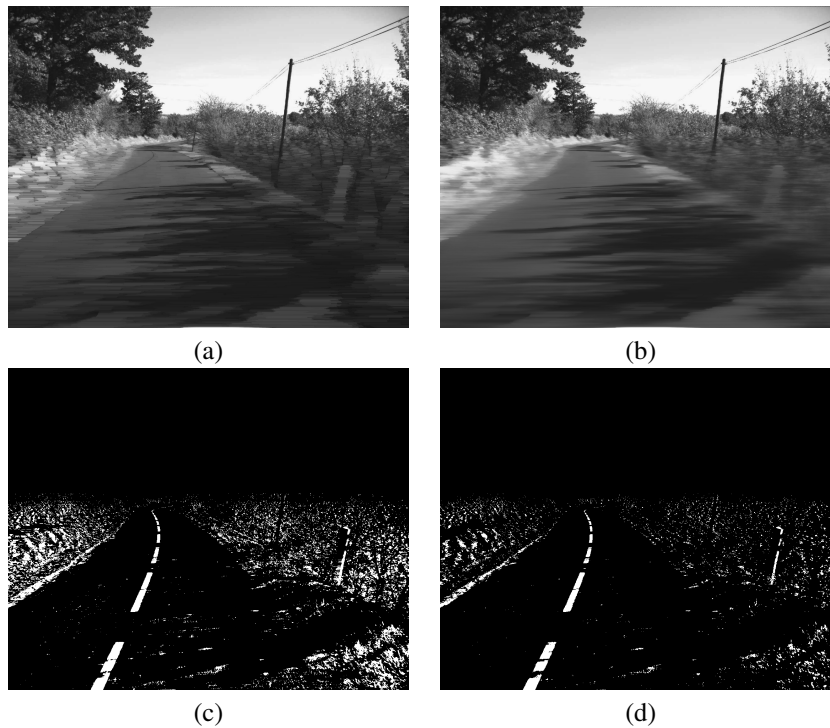


Figure 4. (a) Image de la Figure 2(a) après ouverture morphologique et (b) après filtre median le tout à partir d'un voisinage variable adapté. (c) calcul de résidu utilisant l'ouverture morphologique, et (d) utilisant le filtre médian.

4. Conclusion

La méthode proposée dans cet article pour l'extraction de marquage routier nous permet d'extraire le marquage par traitement d'image tout en éliminant un nombre significatif de fausses-alarmes. Ces performances sont améliorées par l'association des voisinages locaux de taille variable et l'apport de nouveaux filtres fondés sur le calcul de résidu. Ces nouveaux filtres passe-haut injectent donc dans le modèle une sélection sur la forme, la taille et le voisinage d'une ligne de marquage.

Dans le cadre du relevé de patrimoine, nous disposons en conséquence d'un algorithme très intéressant pour l'analyse et la reconnaissance des lignes de marquage. Cette extraction est particulièrement importante ici puisqu'elle conditionne fortement la précision des mesures permettant de reconnaître les types de marquage au sol, ainsi

que les largeurs de bande (Cf. figure 5). Cet algorithme a été testé sur l'extraction de marquages spéciaux (flèche au sol, zébras, ligne stop, passage piétons, etc.) et s'avère très efficace sur les données présentant des largeurs de bande beaucoup plus importantes (de l'ordre de 80 à 100 cm) sans toutefois augmenter le temps de calcul.

Ainsi, l'application finale se compose simplement d'une caméra associée à un ré-



Figure 5. Détection et reconnaissance de module (a) & spéciaux (b)

cepteur *GPS* centimétrique nous permettant de géo-positionner chaque image acquise dans un repère absolu. Les algorithmes de reconnaissance nous permettent d'alimenter une base de données géo-référencées et de reconstituer un environnement virtuel (Cf. figure 6(a) et (b)). Cette base est ensuite mise en ligne par l'intermédiaire d'un service *WEB* et mise à la disposition des collectivités intéressées. Parallèlement, nous avons utilisé cette technique dans un cadre de paramétrisation et suivi temps réel des lignes de marquage. Nous avons mis en place un contrôle latéral d'un véhicule sans pilote dans le cadre d'une participation au *DARPA Urban Challenge*.

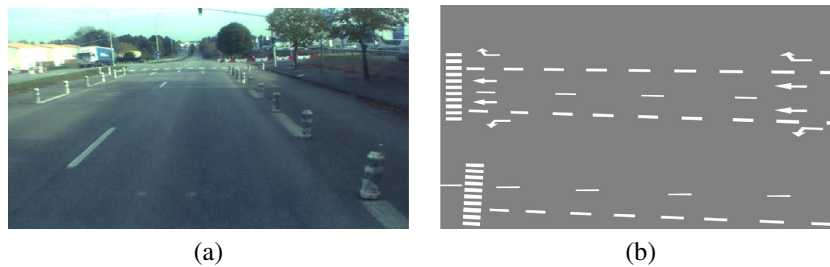


Figure 6. Image embarquée (a) & son équivalent virtuel après reconnaissance (b)

5. Bibliographie

- [BER 97] BERTOZZI M., BROGGI A., CONTE G., FASCIOLI A., FASCIOLI R., « Obstacle and Lane Detection on the ARGO Autonomous Vehicle », in *Proceedings IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, 1997.
- [DAN 07] DANESCU R., NEDEVSCI S., TO T., « A Stereovision-Based Lane Detector for Marked and Non-Marked Urban Roads », *2007 IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing*, 2007, p. 81–88.
- [HUA 79] HUANG T., YANG G., TANG G., « A fast two-dimensional median filtering algorithm », *IEEE transactions on acoustics, speech and signal processing*, vol. 27, n° 1, 1979, p. 13–18.
- [IEN 03] IENG S.-S., TAREL J.-P., LABAYRADE R., « On the Design of a Single Lane-Markings Detector Regardless the On-board Camera's Position », *Proceedings of IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV'2003)*, Columbus, OH, USA, 2003, p. 564-569, <http://perso.lcpc.fr/tarel.jean-philippe/publis/iv03.html>.
- [IEN 04] IENG S.-S., TAREL J.-P., CHARBONNIER P., « Estimation robuste pour la détection et le suivi par caméra », *Traitement du Signal*, vol. 21, n° 3, 2004, p. 205-226, <http://perso.lcpc.fr/tarel.jean-philippe/publis/ts04.html>.
- [JIA 00] JIANG G., CHOI T., HONG S., BAE J., SONG B., « Lane and obstacle detection based on fast inverse perspective mapping algorithm », *2000 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 4, 2000.
- [LOP 07] LOPEZ A., SERRAT J., CANERO C., LUMBRERAS F., « Robust lane lines detection and quantitative assessment », *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4477, 2007, page 274, Springer.
- [MCC 06] MCCALL J., TRIVEDI M., « Video-based lane estimation and tracking for driver assistance : survey, system, and evaluation », *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, n° 1, 2006, p. 20–37, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 445 Hoes Ln, Piscataway, NJ, 08854-1331, USA.
- [REB 04] REBUT J., BENSRAHAI A., TOULMINET G., « Image segmentation and pattern recognition for road marking analysis », *2004 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, vol. 1, 2004.
- [SER 00] SERRA J., SALEMBIER P., BEUCHER S., « Cours de Morphologie Mathématiques, <http://cmm.ensmp.fr/~serra/cours/index.htm> », rapport, 2000, Ecole des Mines de Paris.
- [TAR 00] TAREL J.-P., GUICHARD F., « Combined Dynamic Tracking and Recognition of Curves with Application to Road Detection », *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'2000)*, vol. I, Vancouver, Canada, 2000, <http://perso.lcpc.fr/tarel.jean-philippe/publis/icip00.html>.
- [TAR 07] TAREL J.-P., IENG S.-S., CHARBONNIER P., *Robust Lane Marking Detection by the Half Quadratic Approach*, Collections Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, CR 49, LCPC, Novembre 2007, <http://perso.lcpc.fr/tarel.jean-philippe/publis/rr07.html>.
- [VEI 08] VEIT T., TAREL J.-P., NICOLLE P., CHARBONNIER P., « Evaluation of Road Marking Feature Extraction », *Proceedings of 11th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC'08)*, Beijing, China, 2008, p. 174-181, <http://perso.lcpc.fr/tarel.jean-philippe/publis/itsc08.html>.