

DÉTECTION DE DÉFAUTS RECTILIGNES DANS DES IMAGES DE CHAUSSÉES PAR UNE APPROCHE MARKOVIENNE

Philippe Delagnes Dominique Barba

IRESTE / SEI (EP 063 CNRS) , La Chantrerie CP 3003 , 44087 NANTES Cedex 03
Tel: 40.68.30.48 - Fax: 40.68.30.66 - E-mail: pdelagne@lati.ireste.fr

RÉSUMÉ

Cet article traite de la détection et l'extraction de structures rectilignes de faible contraste présentes dans une zone texturée, à l'aide d'une modélisation par champ markovien. Le cadre applicatif considéré est l'analyse des dégradations de surface présentées par un revêtement routier, ces dégradations étant principalement des fissures. Après une détection locale des linéaments, l'image obtenue est projetée sur une grille régulière constituée de segments de droite. On définit alors un modèle markovien des fissures sur cette grille, après lui avoir attribué une structure de graphe. Ce modèle permet de déterminer la position et la forme des structures rectilignes d'orientation fixée présentes dans l'image. Les défauts réels peuvent alors être isolés à l'aide de post-traitements simples.

ABSTRACT

This paper deals with the detection and extraction of poorly contrasted rectilinear structures in textured areas, using a Markov random field model. The application is in the analysis of pavement distress, and more particularly pavement cracks. After performing a local line detection, the resulting image is projected onto a regular lattice composed of straight line segments. A markovian model for cracks is then defined on this lattice, after having given it a graph structure. This model is used to determine the location and shape of the rectilinear structures, with a given orientation, in the image. The actual defects can then be extracted by simple post-processing.

1. INTRODUCTION

La détection de dégradations de chaussées est un domaine encore peu exploré en analyse d'images [1][2]. Il se distingue des applications classiques de la détection de défauts par le fait que les images de chaussées sont fortement texturées [3] et peuvent présenter des aspects très variables, selon la nature du revêtement, l'éclairage, l'humidité de la route, etc. Dans le contexte applicatif considéré¹, les images proviennent d'une caméra vidéo embarquée à bord d'un véhicule et qui filme une voie de la chaussée sous incidence oblique (cf figure 1).

Les principales dégradations de la chaussée sont les "fissures". Ce sont des failles de faible profondeur se développant dans la couche de roulement. On distingue trois types de fissures: les fissures longitudinales (sensiblement parallèles à l'axe de la chaussée), les fissures transversales (se développent perpendiculairement à l'axe de la chaussée, figure 1) et le faïençage (réseau maillé de fissures). D'autres dégradations existent, mais leur importance est moindre et elles n'ont pas été considérées par les systèmes d'analyse d'images jusqu'à présent.

Le problème abordé ici est l'extraction des fissures. La

méthode mise en oeuvre pour cela se divise en 3 phases: les primitives servant de base à l'analyse sont tout d'abord détectées localement (section 2), puis les structures rectilignes globales sont extraites à l'aide d'une modélisation markovienne (section 3). Enfin, les résultats ainsi obtenus sont analysés de manière à mettre en évidence les défauts réels (section 4).

2. EXTRACTION DES TRAITS

2.1. Détection locale des linéaments

Les fissures apparaissent localement sous forme de traits élémentaires, plus sombres que la chaussée «saine» environnante. Par ailleurs, à la même échelle, les mesures effectuées sur la texture de la chaussée montrent par des tests statistiques qu'on peut la considérer comme un bruit additif corrélé [4]. Cela permet de définir des filtres optimaux (filtres adaptés), relativement à ces modèles, qui assurent la détection des traits composant la fissure (figure 2) [5].

2.2. Projection sur une grille de segments

L'image obtenue ci-dessus est projetée sur une grille régu-

¹ La présente étude a été menée en collaboration avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Nantes.

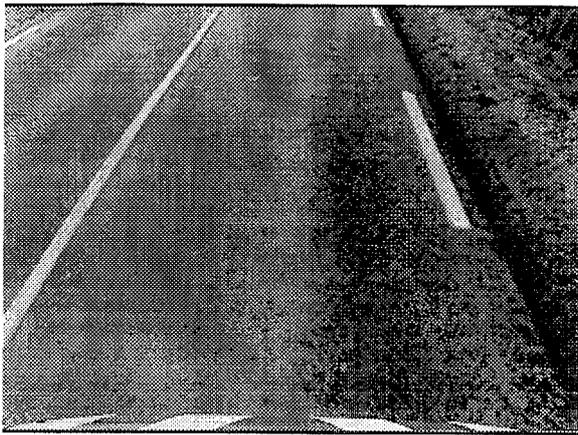


Figure 1 - Image originale (fissure transversale)

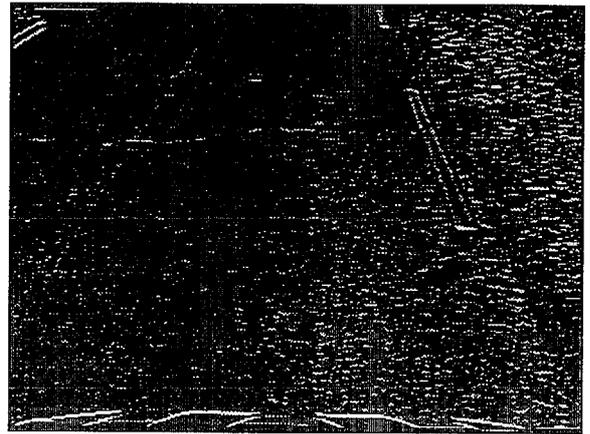


Figure 2 - Détection de linéaments

lière constituée de petits segments de droite, qui recouvre la partie de la chaussée analysée, et tient compte de l'effet de perspective et des connaissances a priori sur la structure des défauts recherchés (figure 3). Ainsi, seules les orientations longitudinale et transversale sont représentées, et la fréquence des lignes et colonnes du graphe peut être déduite de l'espacement minimal constaté entre fissures.

En décrivant le procédé de manière qualitative, voici comment la projection est effectuée. Une fenêtre \mathcal{F}_s est associée à chaque segment s de la grille, de telle sorte que l'ensemble $\{\mathcal{F}_s\}$, dans le cas longitudinal comme dans le cas transversal, forme un recouvrement de l'image. On considère alors un ensemble de segments t_i parallèles à s dans \mathcal{F}_s (figure 4), en attribuant à chacun une valeur y_{t_i} représentant la valeur moyenne des pixels recouverts par t_i dans l'image des linéaments. En définitive, la valeur associée au segment s est alors:

$$y_s = \max_i (y_{t_i})$$

Par le procédé décrit dans cette section, nous avons défini la forme des données observées, en partant de l'image originale. Nous pouvons donc à présent passer à la description de la segmentation des défauts.

3. SEGMENTATION MARKOVIENNE DES FISSURES

La méthode de segmentation mise en oeuvre est basée sur

une modélisation de l'observation par un champ markovien. Ce modèle est défini de manière à favoriser les regroupements de traits de même nature (transversaux ou longitudinaux) susceptibles d'appartenir à une fissure. Les concepts généraux liés aux champs de Markov ne seront pas exposés ici en détails ; une description peut en être trouvée dans [6].

Dans le contexte d'une modélisation markovienne, l'observation $y(s)$ définie dans la section 2 est considérée comme la réalisation d'un champ aléatoire $Y(s)$, appelé *champ des observations*. La segmentation de $y(s)$ revient à l'estimation d'un autre champ de variables aléatoires, noté $L(s)$ et dénommé *champ des descripteurs*. Il s'agit ici d'un champ binaire, tel que pour un segment s donné,

- $l(s) = l_s = 1$ indique que s appartient à un défaut,
- $l(s) = l_s = 0$ signifie que s appartient à la texture normale de la chaussée.

3.1. Structure de graphe

Dans cette application, les deux champs $Y(s)$ et $L(s)$ ont la même géométrie, qui est celle de la grille présentée figure 3. Cependant, il faut donner à cette grille une structure de graphe pour pouvoir définir le modèle markovien, ce qui revient à introduire un *système de voisinage* \mathcal{V} pour les segments s de la grille (qui deviennent alors des «sites»). Le voisinage 4-connexe usuel a été utilisé, ce qui correspond au schéma de la figure 5 qui illustre à la fois le cas transversal (\mathcal{V}^t) et le cas longitudinal (\mathcal{V}^l).

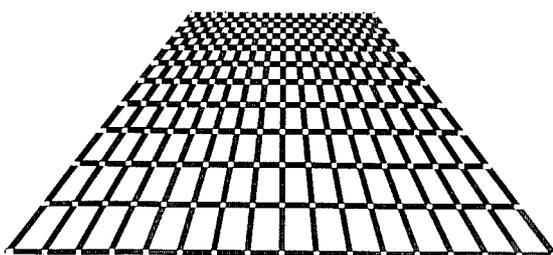


Figure 3 - Grille de segments de droites

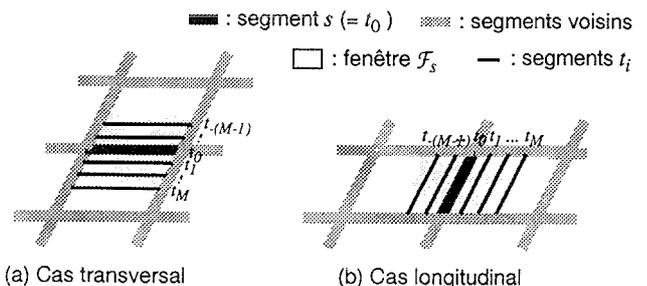


Figure 4 - Principe de la projection

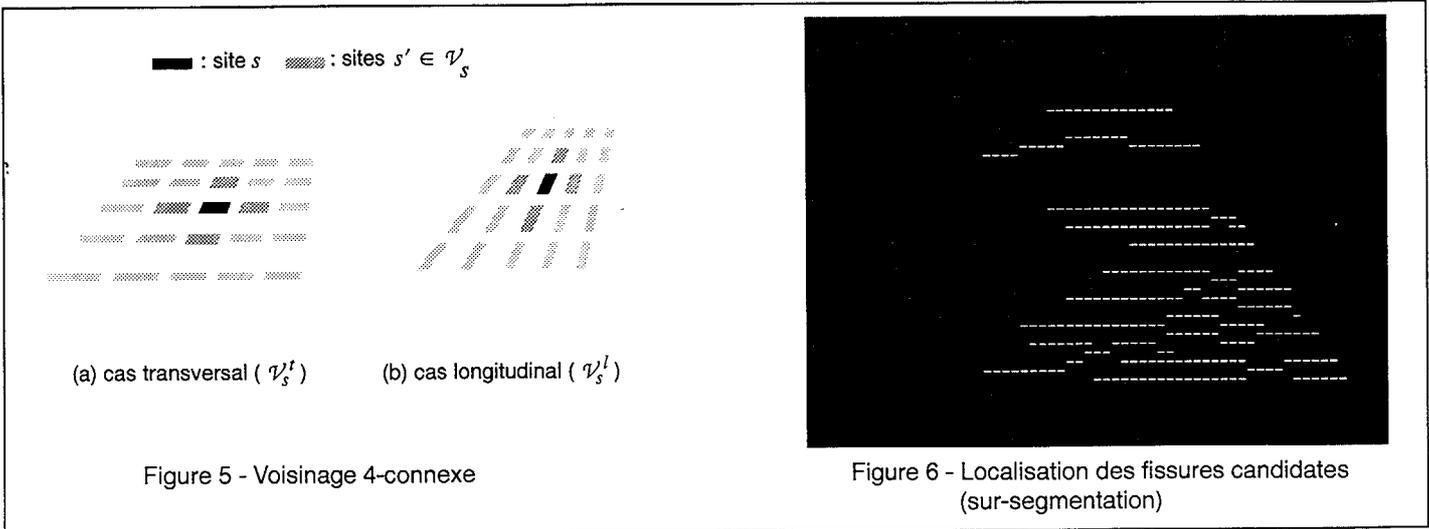


Figure 5 - Voisinage 4-connexe

Figure 6 - Localisation des fissures candidates (sur-segmentation)

3.2. Fonctions de potentiel

Les cliques issues de \mathcal{V} ont été réparties dans trois sous-ensembles C_0 , C_1 et C_2 . A chacun de ceux-ci correspond une fonction de potentiel:

- C_0 est l'ensemble des cliques d'ordre 1. La fonction V_0 associée traduit la relation entre observation et descripteur en un site s . Elle est définie par:

$$V_0(y(s), l_s) = \alpha_0 \left[(1 - l_s) \cdot \frac{y(s)}{\kappa} + l_s \cdot \frac{1 - y(s)}{1 - \kappa} \right]$$

avec $(\kappa, y(s)) \in [0; 1]^2$. Si seule V_0 intervenait dans l'estimation de $L(s)$, cela reviendrait à une binarisation de l'image avec un seuil κ .

- C_1 contient les cliques d'ordre 2 $\{s, s'\}$ où s' se situe dans le prolongement du segment-site central s . Ce sont donc les cliques suivantes, respectivement dans les cas transversal et longitudinal:

$$C_1^t = \left\{ \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} ; \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} \quad C_1^l = \left\{ \begin{array}{c} | \\ | \\ | \end{array} ; \begin{array}{c} | \\ | \\ | \end{array} \right\}$$

Pour favoriser l'apparition de structures rectilignes, il faut avantager la combinaison de descripteurs $(l_s, l_{s'})=(1,1)$ dans le cas des cliques de C_1 . Cela revient à imposer un potentiel plus faible dans ce cas-là que pour les trois autres combinaisons $(l_s, l_{s'})=(0,0)$, $(1,0)$ ou $(0,1)$. Pour cela, nous pouvons poser:

$$V_1(l_s, l_{s'}) = \alpha_1 (1 - l_s \cdot \delta_{l_s, l_{s'}})$$

où δ est le symbole de Kronecker ($\delta_{i,j}=1$ si $i=j$, 0 sinon).

- C_2 contient les autres cliques d'ordre 2, soit:

$$C_2^t = \left\{ \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} ; \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} \quad C_2^l = \left\{ \begin{array}{c} | \\ | \end{array} ; \begin{array}{c} | \\ | \end{array} \right\}$$

Dans ce cas, il est souhaitable d'imposer l'effet inverse de celui de V_1 , car le cas $(l_s, l_{s'})=(1,1)$ est indésirable pour les cliques de

C_2 dans la mesure où il dénote la présence de fissures parallèles trop proches. Cette combinaison peut être désavantagée par rapport aux autres en choisissant:

$$V_2(l_s, l_{s'}) = \alpha_2 (l_s \cdot \delta_{l_s, l_{s'}})$$

Le potentiel total en un site s est alors donné par:

$$V_s = V_0(s \in C_0) + V_1(\{s, s'\} \in C_1) + V_2(\{s, s'\} \in C_2)$$

L'optimisation du champ $L(s)$ est effectuée à l'aide de méthodes stochastiques (recuit simulé) ou déterministes (algorithme ICM). L'état initial de $L(s)$ a été obtenu par minimisation de V_0 seule.

3.3. Choix des paramètres

Nous avons introduit dans les expressions ci-dessus quatre paramètres, notés κ , α_0 , α_1 et α_2 . Le premier, selon la définition de V_0 , détermine l'attribution du descripteur '0' ou '1' aux sites de $L(s)$ d'après la seule observation $y(s)$. Il peut être fixé de manière adaptative après analyse de l'histogramme du champ des observations.

Les trois paramètres restants, α_0 , α_1 et α_2 , ont pour but de pondérer les différentes fonctions de potentiel. Les fonctions V_1 et V_2 définissent la structure a priori du champ des descripteurs, et peuvent être considérées d'importance équivalente, d'où $\alpha_1=\alpha_2$. De plus, seul le rapport entre α_0 et α_1 est significatif. On peut donc paramétrer le modèle avec un seul paramètre, noté $\eta=\alpha_0/\alpha_1$.

Des essais ont été faits avec diverses valeurs de η . Si η est élevé, l'action de V_0 est prédomine, et le champ $L(s)$ s'écarte peu de son état initial. Par contre, pour les valeurs faibles de η , l'action structurante de V_1 et V_2 devient prépondérante, et de nombreuses structures rectilignes sont créées sur toute l'image (figure 6). Les résultats expérimentaux ont montré qu'une valeur convenable de η ne saurait être trouvée pour l'obtention d'une segmentation satisfaisante dans toutes les images. Nous avons donc



choisi de maintenir η faible, de manière à obtenir dans tous les cas une sur-segmentation, et d'appliquer ensuite une série de post-traitements en vue d'extraire les défauts réels.

4. POST-TRAITEMENT DES DÉFAUTS CANDIDATS

4.1. Localisation des défauts candidats

La sur-segmentation fournie par le modèle markovien peut être considérée comme un ensemble de fissures candidates, réparties sur la zone analysée, qui contient à la fois les défauts et des structures non significatives créées à partir de la texture de la chaussée. Nous pourrions considérer que chaque ligne du graphe dans le cas transversal, et chaque colonne dans le cas longitudinal, représente une fissure candidate ; cependant, les défauts s'étendent souvent sur 2 voire 3 lignes ou colonnes.

Chaque rangée de sites (ligne ou colonne de la grille) a donc été considérée comme l'*axe central* d'un candidat, et tous les sites de cet axe tels que $l_s=1$ appartiennent au candidat. Cependant, les sites présents sur les deux rangées adjacentes à l'axe central, et tels que $l_s=1$, peuvent aussi appartenir au candidat. Ainsi, la géométrie d'un défaut candidat est déterminée à l'aide de règles de décision simples [4].

Nous considérons donc pour la suite que nous disposons d'un ensemble de fissures candidates, pour une orientation donnée (transversale ou longitudinale), déduites de la sur-segmentation markovienne, et dont la forme et la position sont connues.

4.2. Critères d'évaluation

Pour évaluer la possibilité qu'un candidat représente un défaut réel, on définit son *amplitude*. L'amplitude λ_i d'une fissure candidate f_i est la moyenne des valeurs de $y(s)$ pour les sites s qui composent f_i . L'amplitude d'une fissure réelle est censée être plus forte que celles des candidats issus de la texture de la chaussée. De plus, une fissure transversale ou longitudinale apparaît comme relativement isolée et séparée d'autres défauts éventuels, sans quoi nous avons alors à faire à du faïençage. Ainsi, outre l'amplitude λ_i elle-même, le laplacien de l'amplitude des candidats, $\nabla^2 \lambda_i$, peut être pris en compte.

Ainsi, dans le cas des fissures transversales et longitudinales, le critère retenu est le produit $\lambda_i \cdot (\nabla^2 \lambda)_i$. C'est ce qui est présenté sur la figure 7 pour l'exemple développé dans cet article. Les fissures candidates sont ordonnées dans le sens de l'axe de la voie parcouru de haut en bas. Le double pic correspond à une fissure réelle (qui s'étale donc sur deux rangées de sites). Il se distingue nettement des autres candidats, et peut être isolé par un seuillage, représenté par la ligne en pointillé sur la figure 7. La valeur du seuil doit être déterminée en considérant les résultats de détection pour un nombre important d'images. Dans le cas du faïençage, il faut procéder à une analyse conjointe des valeurs de λ_i en transversal et en longitudinal (cf [7]).

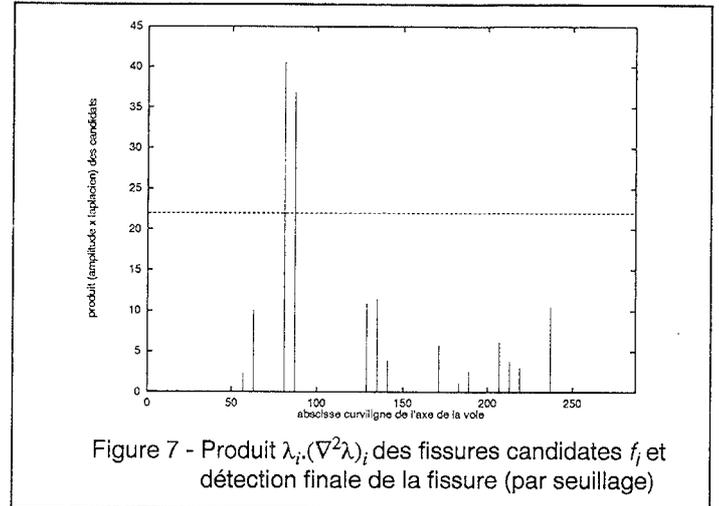


Figure 7 - Produit $\lambda_i \cdot (\nabla^2 \lambda)_i$ des fissures candidates f_i et détection finale de la fissure (par seuillage)

5. CONCLUSION

Cette approche a fourni des résultats de détection satisfaisants sur les 21 images de fissures dont nous disposons ; une évaluation précise des performances ne peut cependant être fournie que sur la base d'une banque d'images acquises dans des conditions normalisées. La robustesse de l'ensemble provient de l'utilisation du champ markovien en vue d'obtenir une sur-segmentation. De plus, les divers traitements utilisés sont rapides: les filtres RIF mis en oeuvre pour la détection de traits sont séparables, et l'estimation des descripteurs du champ de Markov est très rapide, grâce notamment au nombre réduit de sites, ainsi qu'à des fonctions de potentiel simples et à l'utilisation d'un algorithme d'optimisation déterministe. Nos travaux portent actuellement sur la généralisation de cette méthode par l'utilisation d'une grille irrégulière.

Références

- [1] D.S. Mahler, Z.B. Kharoufa, E.K. Wong, L.G. Shaw «Pavement distress analysis using image processing techniques», *Microcomputers in Civil Engineering*, vol 6, n° 1, pp.1-14, 1991
- [2] H.N. Koutsopoulos, I. El Sanhoury, A.B. Downey «Analysis of segmentation algorithms for pavement distress images», *Journal of Transportation Research*, vol. 119, n° 6, pp. 868-88, Novembre/Décembre 1993
- [3] C. Bhagvati, M.M. Skolnick, D.A. Grivas «Gaussian normalization of morphological size distribution for increasing sensitivity to texture variations and its application to pavement distress classification», *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Seattle, USA, pp.700-703, Juin 1994
- [4] Ph. Delagnes «Détection et extraction de défauts dans des images texturées fixes. Application à l'analyse d'images de chaussées», *Rapport Interne, Laboratoire SEI/ATI*, Avril 1995
- [5] A. Rosenfeld, A.C. Kak «Digital picture processing», Academic Press, 1982
- [6] R. Hu, M.M. Fahmy «Texture segmentation based on a hierarchical Markov random field model», *Signal Processing*, vol. 26, n° 3, pp. 285-305, Mars 1992
- [7] K.M. Chua, L. Xu «Simple procedure for identifying pavement distresses from video images», *Journal of Transportation Engineering*, vol. 120, n° 3, pp. 412-31, Mai/Juin 1994