

Détection de signalisation routière par ajustement de formes prototypes

Guillaume DUTILLEUX, Pierre CHARBONNIER

Guillaume DUTILLEUX, Pierre CHARBONNIER

Laboratoire des Ponts et Chaussées de Strasbourg
11 rue Jean Mentelin, BP 9
F-67035 STRASBOURG Cedex
Tel : 03 88 77 46 00

e-mail :
guillaume.dutilleux@equipement.gouv.fr
pierre.charbonnier@equipement.gouv.fr

Thème choisi : Modèles déformables, géométriques (1.7) ou Reconnaissance de formes (4.4)

Problème traité : Détection robuste de panneaux de signalisation dans les scènes routières en éclairage naturel.

Originalité du travail : Prédétecteur robuste de composante rouge. Emploi d'une stratégie d'évolution : algorithme d'optimisation globale ne nécessitant pas de codage des variables et doté d'un mécanisme de refroidissement intégré. Hybridation avec une méthode de recherche locale.

Résultats nouveaux : Le détecteur de panneaux obtenu fonctionne bien même dans des conditions d'éclairement défavorables. L'hybridation permet d'accélérer et d'affiner la convergence.

1 Introduction

La détection et la reconnaissance automatiques de panneaux de signalisation font l'objet d'un intérêt soutenu depuis plusieurs années (voir par exemple [4] pour une bibliographie récente), en relation avec l'alimentation de bases de données d'images routières que les gestionnaires d'infrastructures utilisent en particulier pour l'inventaire de signalisation et les études de sécurité. Les systèmes d'aide à la conduite sont un autre domaine d'application.

Cet article traite de la conception d'un système de détection hors-ligne qui fonctionne sur des séquences d'images enregistrées en lumière naturelle visible. Le système de détection s'accommode bien d'une illumination incontrôlée ou d'images où la balance des blancs est incorrecte. Le système est aussi conçu pour être robuste vis à vis des occultations et des signes endommagés. On traite ici le cas des panneaux de danger. L'approche choisie est basée sur la combinaison de modèles déformables [1][2] et d'une stratégie d'évolution (ES) qui est une alternative intéressante aux algorithmes génétiques [5][6][7]. Cet algorithme d'optimisation globale est hybridé avec une méthode de recherche locale de type gradient, dans le but d'obtenir une convergence fine. Dans ce qui suit, les caractéristiques principales du détecteur sont d'abord présentées. Les aspects de traitement d'image sont d'abord décrits. Ils concernent la détection robuste de la composante rouge, la définition d'un modèle approprié, les termes d'*a priori* et d'attache aux données. Ensuite, les caractéristiques de l'algorithme d'optimisation choisi sont explicitées. La dernière partie fournit des résultats pour des images réelles et illustre la fiabilité du détecteur global.

2 Le système de détection

2.1 Traitement d'images

2.1.1 Prédétection

Pour identifier les pixels présentant une dominante rouge, on travaille dans l'espace RGB. Le prédétecteur stipule qu'un pixel est rouge si ses composantes vérifient

$$\begin{aligned} R &> \alpha(G + B) \\ R - \max(G, B) &> 2\alpha[\max(G, B) - \min(G, B)] \end{aligned} \quad (1)$$

Le premier critère revient à poser une contrainte sur la composante rouge normalisée $R/(R+G+B)$ qui doit être dominante. La normalisation donne sa robustesse au prédétecteur face aux variations d'illumination. Le deuxième critère vérifie que le pixel ne tend pas vers le jaune ou le magenta, c'est à dire que les composantes G et B ne sont pas trop proches l'une de l'autre. Le paramètre α peut être ajusté au niveau d'une séquence d'images. Ses valeurs habituelles varient de 0.5 à 0.75. On privilégie des valeurs de α relativement faibles pour ne pas risquer de voir un panneau disparaître lors de la prédétection. En contrepartie, la bruit dans l'image est plus présent, mais la forme prototype adaptée (Cf. 2.1.2) permet de s'affranchir de ce problème. Une balance des blancs incorrecte est malheureusement assez fréquente dans les séquences à traiter. Comme les images analysées contiennent toujours une portion de route, une égalisation de type "monde gris" [3] peut être effectuée automatiquement dans la plupart des situations.

2.1.2 Forme prototype

Pour la détection de panneaux de danger, une forme prototype particulière est utilisée (Cf. figure 1), dans le but de minimiser les fausses détections. Les deux triangles emboîtés définissent une couronne où l'on peut rechercher des pixels rouges.

La forme prototype est ajustée sur l'image à l'aide de trois transformations :

- mise à l'échelle
- rotation
- translations horizontale et verticale

Ceci définit un espace de recherche à 4 dimensions. Un jeu de paramètres de transformation est représenté par la variable Θ dans la suite.

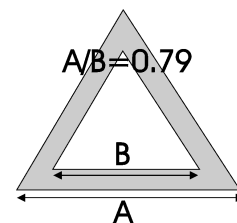


FIG. 1 – Forme prototype

2.1.3 Fonction d'énergie

La fonction d'énergie est définie classiquement comme une somme de termes d'*a priori* et de termes de vraisemblance. Le calcul de l'*a priori* sur la forme obtenue par transformation concerne les points suivants :

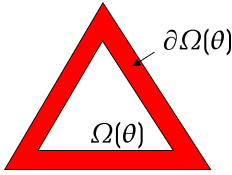
- la position usuelle des panneaux dans l'image (dans la moitié droite)
- la gamme de taille possible pour un panneau
- l'orientation usuelle d'un panneau

Chaque critère sur un paramètre x supposé se trouver dans un intervalle de pertinence $[x_{min}, x_{max}]$ est représenté par une fonction de pénalité en forme de vallée :

$$\begin{aligned} x < x_{min}, g(x) &= -x + ax_{min} \\ x_{min} \leq x \leq x_{max}, g(x) &= 0 \\ x > x_{max}, g(x) &= x - bx_{max} \end{aligned} \quad (2)$$

La terme global d'*a priori* est une somme pondérée des différents termes de pénalité.

La vraisemblance se compose de deux termes : un terme orienté contour et un terme orienté région. Le terme orienté contour est largement inspiré de [1]. Il dépend de l'angle entre le gradient local de l'image et le vecteur directeur local de la forme prototype. Sa valeur approche 0 quand le modèle est aligné sur les contours d'un objet d'intérêt et 1 quand le modèle est sur un domaine homogène. Ce terme est calculé le long du triangle extérieur. Pour une forme ajustée Θ , le terme orienté région est calculé sur la carte binaire de prédétection de dominante rouge. Il se compose de deux termes reliés aux deux zones du modèle choisi : la couronne $\partial\Omega$ et l'intérieur du petit triangle Ω (voir figure 2) :



$$U_c(\Theta) = \frac{\int \int_{\partial\Omega(\Theta)} I(x) dx}{\int \int_{\partial\Omega(\Theta)} dx} \quad \text{et} \quad U_i(\Theta) = \frac{\int \int_{\Omega(\Theta)} I(x) dx}{\int \int_{\Omega(\Theta)} dx} \quad (3)$$

Le terme global orienté région s'écrit :

$$U_t(\Theta) = \min(1, 1 + U_c(\Theta) - U_i(\Theta)) \quad (4)$$

FIG. 2 – Domaines d'intégration

Quand Θ est parfaitement ajusté, U_t vaut zéro. Au contraire, dans le cas d'un triangle uniformément rouge, U_t est égal à 1. $U_t(\Theta)$ est égal à 1 lorsque Θ est sur une zone uniforme "rouge" ou "non rouge" de l'image.

2.2 Optimisation

2.2.1 Optimisation globale par stratégie d'évolution

La fonction d'énergie globale obtenue en sommant les termes d'*a priori* et de vraisemblance est hautement multimodale. De ce fait, un algorithme d'optimisation globale est nécessaire. Ici, c'est une stratégie d'évolution (ES) qui a été choisie [5]. Cet algorithme appartient à la classe des algorithmes évolutionnaires, au même titre que les algorithmes génétiques (GA) [7]. Comme les GA, les ES manipulent une population de solutions candidates, et utilisent des opérateurs de croisement, mutation et sélection. Les différences avec les GA sont que les ES manipulent de vecteurs aléatoires gaussiens plutôt que des chaînes binaires. De ce fait, elles ne nécessitent pas de codage/décodage des paramètres à optimiser. Ce fondement probabiliste permet à la théorie de la convergence des ES d'être mieux établie que celle des GA [6]. Un autre point intéressant par rapport aux GA est que les ES incorporent naturellement un mécanisme d'auto-adaptation des paramètres internes, que l'on peut rapprocher du schéma de refroidissement du recuit simulé. Ainsi la probabilité de mutations de grande amplitude décroît au fil des itérations.

Pour le problème d'optimisation discuté ici, une configuration à 4 parents et 7 fois plus de descendants a été retenue. La population initiale est basée sur les composantes connexes de l'image de dominante rouge. Lorsque le nombre de composantes connexes est insuffisant, les individus sont obtenus par tirage de variables aléatoires uniformes centrées et mises à l'échelle relativement à la définition des termes d'*a priori*. En remplacement de la sélection déterministe, un opérateur mixte roulette/déterministe est préféré ici, de façon à réduire la probabilité de convergence prématurée.

2.2.2 Recherche locale par gradient conjugué

En pratique, la convergence est habituellement très rapide au début de l'optimisation. Plus tard, les solutions candidates ont souvent tendance à tourner autour de la solution sans véritablement la trouver. De façon à résoudre ce problème, l'ES a été hybridée ici avec une méthode locale, de type gradient conjugué. Ceci permet d'exploiter la topologie de la fonction optimisée, au voisinage de la solution et donc à l'optimisation de converger plus vite et plus finement.

Du fait de la complexité des expressions des termes d'attache au donnée, le gradient est calculé par différences finies. En outre, comme les termes d'*a priori* ne sont pas différentiables, la recherche locale est calculée sur le terme de vraisemblance uniquement.



FIG. 3 – Image originale

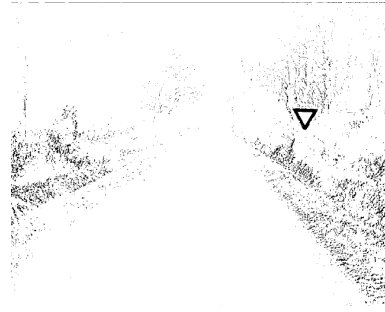


FIG. 4 – Prédétection de rouge



FIG. 5 – Image originale

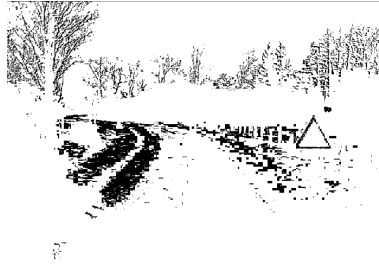


FIG. 6 – Prédétection de rouge



FIG. 7 – Résultat de l'optimisation

3 Résultats

La figure 3 montre une image de départ où le panneau est à peine visible du fait d'une situation de contre-jour intense, ainsi que de la présence de végétation et d'une levée de terrain sur le bas-côté. La figure 4 montre l'image de prédétection de rouge, où le panneau est bien visible. Avec une telle image, la détection automatique ne pose pas de difficulté.

En guise d'illustration du fonctionnement global de l'algorithme, la figure 5 montre une image originale, la figure 6 l'image de prédétection de rouge associée, la figure 7 le résultat de l'optimisation. Ici, l'image de prédétection contient de nombreux leurreurs potentiels pour le détecteur. La forme prototype spécifique permet de les éviter.

4 Perspectives

Le développement du système se porte actuellement sur le traitement efficace du cas général de la détection de signalisation : identification précoce de l'absence de panneau, traitement des images contenant plusieurs panneaux. Il est aussi prévu d'évaluer les performances de l'algorithme à l'échelle d'un itinéraire complet.

Références

- [1] M.P. Dubuisson Jolly, S. Lakshmanan et A.K. Jain, "Vehicle segmentation and classification using deformable templates," *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 18, N°3, pp. 293-308, mars 1996.
- [2] M. Mignotte, C. Collet, P. Perez et P. Bouthemy, "Hybrid genetic optimization and statistical model-based approach for the classification of shadow shapes in sonar imagery," *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, N°2, pp. 129-141, février 2000.
- [3] G. Buchsbaum, "A Spatial Processor Model for Object Colour Perception", *Journal of the Franklin Institute*, 310 :1-26, 1980.
- [4] A. de la Escalera, J.M. Armingol, J.M. Pastor, et F.J. Rodriguez, "Visual sign information extraction and identification by deformable models for intelligent vehicles," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 5, N°2, pp. 57-68, 2 juin 004.
- [5] I. Rechenberg, *Evolutionsstrategie'94* Fromann-Holzboog, 1994 (en allemand).
- [6] T. Bäck, *Evolutionary algorithms in theory and practice*, Oxford university Press, 1996.
- [7] Z. Michalewicz, *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer, 1999.