

Modèle géométrique du sommet et de la bissectrice d'un angle pour la détection de panneaux triangulaires

Rachid Belaroussi

Jean-Philippe Tarel

Université Paris Est
LEPSIS, INRETS-LCPC

58, boulevard Lefebvre
75015 Paris, France
rachid.belaroussi@gmail.com
jean-philippe.tarel@lcpc.fr

Résumé

Nous présentons une nouvelle transformation pour la détection du sommet et de la bissectrice d'angles des contours dans une image. Cette Transformation en Sommet et Bissectrice (TSB) a pour entrée les gradients d'une image et pour sortie deux tableaux accumulant les votes, respectivement, pour des sommets et des segments bissecteurs d'un angle. Cette transformation est fondée sur l'accumulation de votes de paires de points ayant des gradients particuliers : l'angle entre les normales à deux côtés adjacents d'un triangle dépend de l'angle au sommet. La détection est ensuite réalisée par seuillage des deux accumulateurs. La TSB est capable de détecter avec précision les sommets et bissectrices d'un panneau de signalisation triangulaire dans une image 360×270 à une cadence de 50 ms/image sans optimisation particulière. Cette communication reprend en français et complète les travaux présentés dans un article publié dans les actes de la conférence WACV 2009 [1].

Mots clés

Transformation en Symétrie Généralisée, Triangle, détection de coins, bissectrice, sommet, panneaux routiers, contours orientés.

Abstract

We present a new transformation for angle vertex and bisector detection. The Vertex and Bisector Transformation (VBT) has for input the image gradients and for output two arrays, accumulating evidences of respectively angle vertex and angle bisector. A geometric model of the gradient orientation is implemented using a pair-wise voting scheme : normal vectors of two adjacent sides of a triangle have a specific relationship depending on the corresponding vertex angle. Our approach is able to accurately detect vertexes and bisectors of a triangular road sign in a

360×270 image in about 50ms with no particular optimization. This article is an extended french version of one published in the proceedings of WACV 2009 [1].

Keywords

Generalized Symmetry Transform, Triangle, Corner detection, Bisector, Angle Vertex, Road Sign, Oriented Edges.

1 Introduction

Dans le domaine de la détection de la signalisation verticale, l'attention s'est portée sur les panneaux rectangulaires ou circulaires, en particulier les panneaux de limitation de vitesse. Un grand nombre d'approches utilisent une segmentation s'appuyant sur un modèle de la couleur principale du panneau [2], les candidats étant ensuite filtrés par une étape de reconnaissance (algorithmes génétiques, ACP, *template matching* à différentes positions et échelles, Ransac [3]). Une approche plus robuste est proposée par Bahlmann et al. [4], où un détecteur à sélection automatique de filtres spatiaux (Adaboost) opérant sur différents espaces colorimétriques, est utilisé avant une étape de *template matching* puis un filtre temporel pour la détection et la reconnaissance de panneaux de limitation de vitesse. Dans le cas de séquences d'images en niveaux de gris, Barnes et al. [5] utilisent le seuillage de la Transformation en Symétrie Radiale (TSR) avec les mêmes étapes de validation pour la détection de panneaux de limitations de vitesse 40 et 60 mph. Caraffi et al. [6] proposent une détection des signes de fin de limitation de vitesse dans des séquences d'images en niveau de gris. Leur approche consiste à détecter les transitions clair/sombre/clair : une transformée de Hough pour les cercles valide les candidats retenus, et un filtrage temporel est requis pour éliminer les nombreuses fausses alarmes. Ces étapes de filtrage ne sont pas nécessaires dans l'approche que nous proposons, car la transformation proposée est plus sélective.

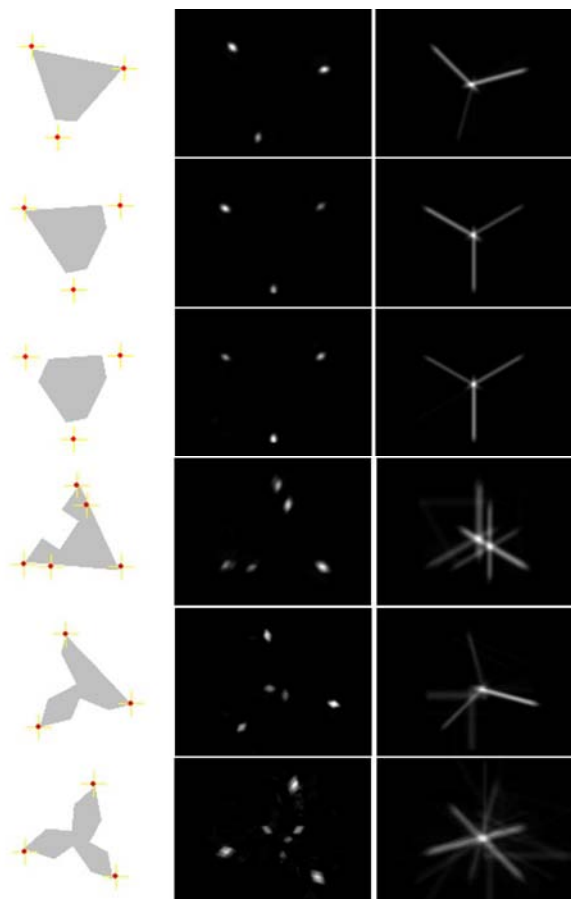


FIG. 1 – Traitement par la TSB de triangles avec un, deux et trois sommets occultés, puis un, deux et trois côtés occultés. De gauche à droite : image originale avec les sommets détectés, l’accumulateur des sommets S_{accu} , et l’accumulateur des bissectrices B_{accu} .

Le cas des signes triangulaires est abordé par Piccioli et al. [7] : des régions d’intérêt sont sélectionnées en s’appuyant sur un seuillage dans le plan Hue-Saturation de l’espace couleur HSV. Des polygones sont ajustées aux chaînes de contours linéaires, et sous l’hypothèse que les triangles ne sont ni inclinés, ni distordus par la perspective, ils recherchent les triangles équilatéraux ayant un côté horizontal. Cet algorithme dépend largement de la segmentation par la couleur, et il est fortement contraint en terme d’orientation (il se restreint aux panneaux vus sous une perspective fronto-parallèle).

Loy et Barnes [8] proposent une adaptation de la Transformation en Symétrie Radiale (TSR) aux panneaux triangulaires : chaque point de contour vote pour un segment perpendiculaire à son gradient et à une distance donnée. Le processus de vote est réalisé pour un ensemble fini de rayons et un accumulateur est finalement obtenu en sommant les contributions sur tous les rayons. Leur approche est testée sur 15 images contenant 15 panneaux triangulaires : ils obtiennent un taux de détection de 100% pour 10 faux positifs. Une approche similaire est testée plus lar-

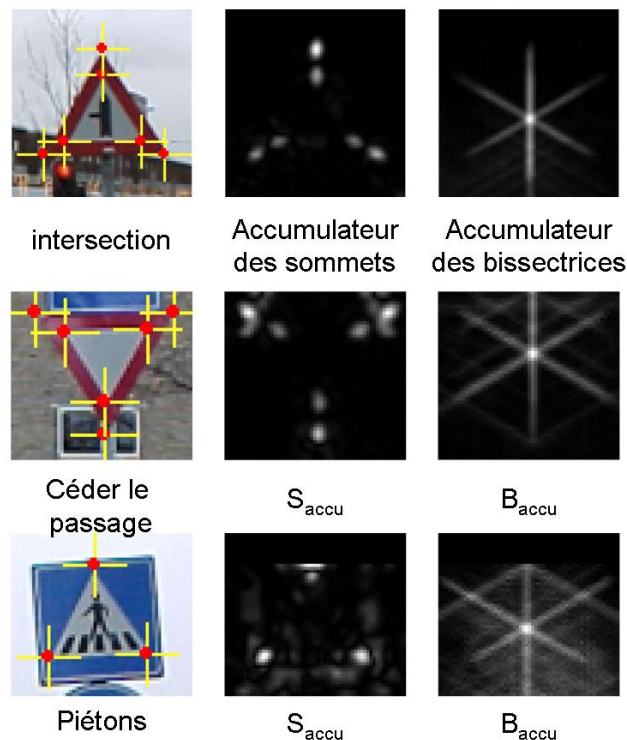


FIG. 2 – Les trois types de formes triangulaires présents dans la base de test utilisée, avec les sommets détectés (croix jaunes) en seuillant l’accumulateur S_{accu} de la TSB. Les panneaux bleus sont constitués d’un triangle équilatéral blanc et de deux triangles bleus adjacents. Ces derniers ne sont pas détectés car ce sont des triangles rectangles avec un seul angle inclus dans l’intervalle $\gamma \in]\pi/6 \pi/2[$ et dont la bissectrice apparaît dans l’accumulateur B_{accu} de la TSB.

gement par Foucher et al. [9] pour une application de pré-détection de panneaux. Une segmentation fondée sur un seuillage colorimétrique produit un ensemble de candidats qui sont validés par une TSR. La TSR pour les triangles peut seulement trouver la taille et la position du triangle, mais pas son orientation. Notre approche est capable d’estimer en plus l’orientation du panneau triangulaire car ses trois sommets sont détectés. De plus, la transformation travaillant sur des couples de points de contours (transformation bivariée), elle est plus sélective et conduit a priori à moins de faux positifs que la TSR qui travaille sur chaque point (transformation monovariée).

L’approche proposée par Cyganek [10] requiert, contrairement à notre méthode, une segmentation s’appuyant sur un seuillage dans le plan H-S de l’espace HSI. Un détecteur de coins, basé sur les caractéristiques locales binaires, traite les composantes connexes trouvées. La dernière étape consiste à sélectionner, parmi tous les triplets de coins, ceux qui vérifient certaines contraintes de taille et d’orientation. Un inconvénient de cette approche est que lorsqu’un sommet de triangle est occulté, il ne peut être

déecté. Notre approche permet d'être robuste aux occultations, comme l'illustre la Fig. 1 : les sommets détectés sont représentés par une croix jaune dessinée sur l'image en intensité. On peut en particulier remarquer la robustesse lorsque les trois sommets sont manquants ou lorsque les trois côtés sont en parties occultés.

Choi et Chien [11] ont proposé la Transformation en Symétrie pour les Coins (TSC) utilisant un modèle paramétrique bivarié de l'orientation du gradient de l'image, inspiré de la Transformation en Symétrie Généralisée (TSG) de Reisfeld et al. [12]. Deux points de contour votent pour leur point milieu, leur contribution dépendant de leur appartenance à un angle donné. Cette fonction d'appartenance est fondée sur la relation entre l'orientation du gradient de ces points (P_i, P_j) : plus la vraisemblance qu'ils appartiennent aux deux côtés d'un angle est grande, plus leur vote pour le milieu $P = (P_i + P_j)/2$ est important. Cette méthode induit un biais dans la localisation du sommet du coin.

Dans notre approche, un modèle de coin différent est proposé : les points sont aussi groupés par paires mais leur vote est accumulé au niveau du sommet de l'angle auquel ils appartiennent. Pour faciliter la détection, la bissectrice de cet angle est aussi accumulée. Ces deux accumulateurs, voir Fig. 2, sont ensuite seuillés et traités afin de permettre la détection de triangles. La transformation proposée, nommée Transformation en Sommet et Bissectrice (TSB), est appliquée à la détection de panneaux de signalisation triangulaires. Plus qu'un détecteur de coins, notre approche est capable de détecter trois sommets et le centre du cercle inscrit au triangle et donc sa taille et son orientation. Le nombre de fausses détections étant réduit, il n'y a pas une première étape de sélection selon la couleur. L'algorithme fonctionne pour des triangles ayant un contraste sombre/clair ou clair/sombre. Elle est assez robuste aux occultations. De plus, elle est invariante aux rotations dans le plan de l'image et robuste aux petites rotations hors du plan de l'image.

La suite de cet article est organisé de la manière suivante : la section 2 rappelle la Transformation en Symétrie Généralisée (TSG), la Transformation en Symétrie de Coins (TSC), et introduit la nouvelle Transformation en Sommet et Bissectrice (TSB). Les résultats expérimentaux, sur des images synthétiques et des images de route en milieu urbain, sont discutés à la section 3. On montre notamment que la TSB n'est pas contrainte par l'orientation des formes, ne dépend pas du contraste clair/sombre ou sombre/clair, et qu'elle est rapide et efficace même sur des scènes complexes de ville.

2 Modèle géométrique de Sommet et de Bissectrice

2.1 De la Transformation en Symétrie Généralisée à la détection de coins

La Transformation en Symétrie Généralisée (TSG) [12] calcule un indice de symétrie entre les orientations des gra-

dients de deux pixels (P_i, P_j) au point milieu P du segment $[P_i P_j]$. Pour chaque point P d'une image, un ensemble de votants est défini par :

$$\Gamma(P) = \{(P_i, P_j) \mid \frac{P_i + P_j}{2} = P\} \quad (1)$$

Chaque pixel P_i a un vecteur gradient \mathbf{n}_i faisant un angle θ_i par rapport à l'horizontale. Chaque paire de vecteurs gradients $(\mathbf{n}_i, \mathbf{n}_j)$ sont plus ou moins proche d'une certaine symétrie axiale et centrale qui dépend des orientations (θ_i, θ_j) . Cette proximité est estimée par une fonction à deux termes explicités dans la Fig. 3 et nommée fonction de phase. Cette fonction est ensuite pondérée par une fonction de la distance $\|P_i P_j\|$, et par la norme des gradients $r_i = \|\mathbf{n}_i\|$ et $r_j = \|\mathbf{n}_j\|$. La fonction $D(i, j)$ utilisée pour la distance permet d'atténuer les votes de paires éloignées. L'indice de symétrie en un point P est la somme sur l'ensemble Γ_P de toutes ces contributions :

$$S(P) = \sum_{(i,j) \in \Gamma_P} \underbrace{D(i,j)}_{\text{distance}} \underbrace{\Theta_{axiale}(i,j)}_{\text{Symétrie axiale}} \underbrace{\Theta_{centrale}(i,j)}_{\text{Symétrie centrale}} \underbrace{r_i r_j}_{\text{Module gradients}} \quad (2)$$

La Transformation en Symétrie de Coins (TSC) introduite dans [11], adapte cette transformation pour modéliser les caractéristiques symétriques d'un angle γ donné. La contribution d'une paire de points (P_i, P_j) à la fonction de phase $\Theta(i, j)$ est constituée de deux termes : le premier modélise la symétrie axiale et le second dépend de l'appartenance à la classe des coins ayant un angle γ . Le vote du couple (P_i, P_j) est aussi accumulé en leur milieu P :

$$\Theta_\gamma(i, j) = \underbrace{\Theta_{axiale}(i, j)}_{\text{Symétrie axiale}} \exp\left(-\frac{(\beta_{ij} (|\theta_i - \theta_j| - \pi| - \gamma))^2}{2\sigma_\gamma}\right) \quad (3)$$

Le terme de symétrie axiale est maximal lorsque les gradients sont symétriques par rapport à la médiatrice du segment $[P_i P_j]$. Le second terme a une valeur maximale lorsque le coin d'angle $|\theta_i - \theta_j| - \pi$ est égal à γ . σ_γ est un paramètre contrôlant la sensibilité du second terme.

$\beta_{ij} = \left[\pi \sqrt{1 - \cos^2(\theta_i - \theta_j)}\right]^{-1}$ est une fonction de rejet assurant que P_i et P_j ne sont pas alignés sur le même contour. Enfin, l'indice de symétrie de la TSC en P pour un angle γ donné est la somme des contributions des paires de points de Γ_P :

$$S_\gamma(P) = \sum_{(i,j) \in \Gamma_P} D(i, j) \Theta_\gamma(i, j) r_i r_j \quad (4)$$

La pertinence du terme de symétrie axiale est discutable : deux points appartenant à des côtés adjacents d'un angle ne vérifient pas nécessairement cette condition de symétrie comme le montre la Fig. 4. En conséquence, notre approche exclut ce critère de symétrie par rapport à la médiatrice. De plus, dans la TSC le vote d'une paire de point est accumulé en leur milieu, ce qui ne met pas en valeur le coin mais un nuage de points situés près du coin : les résultats de la TSC sont donc biaisés.

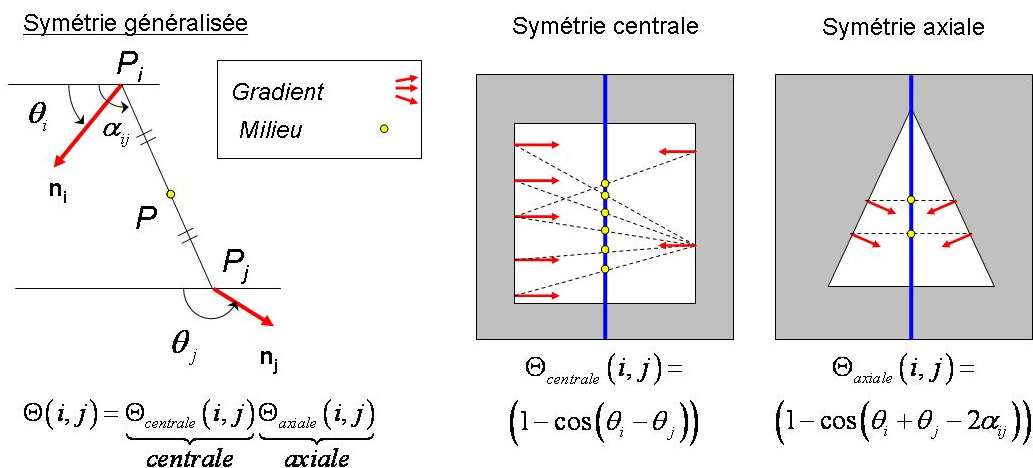


FIG. 3 – La symétrie centrale et symétrie axiale entre deux vecteurs gradient \mathbf{n}_i et \mathbf{n}_j peut être modélisée par les paramètres $(\theta_i, \theta_j, \alpha_{ij})$. Dans la Transformation en Symétrie Généralisée, l'indice de symétrie est le produit de deux termes : $\Theta_{centrale}$ et Θ_{axiale} pour les symétries centrale et axiale respectivement.

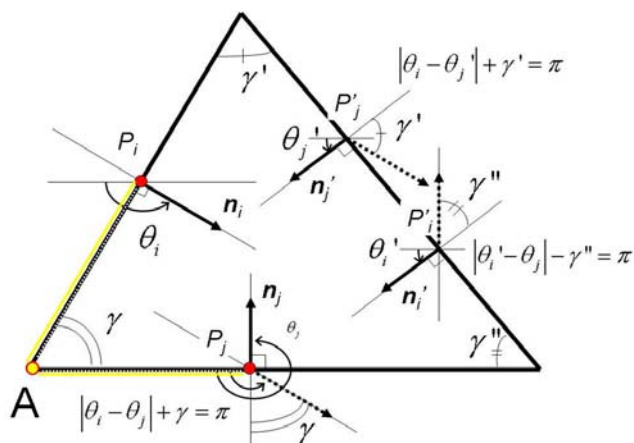


FIG. 4 – Orientation du gradient des côtés d'un triangle. La relation entre les orientations θ_i et θ_j de deux côtés adjacents dépend de l'angle au sommet γ , car chaque vecteur gradient \mathbf{n}_i et \mathbf{n}_j est orthogonal à son côté.

2.2 Transformation en Sommet et Bissectrice (TSB)

Dans notre approche, une paire de points (P_i, P_j) vote pour le sommet du coin A auquel ils appartiennent :

$$\Gamma(A) = \{(P_i, P_j) \mid \mathbf{AP}_i \cdot \mathbf{n}_i = 0, \quad \mathbf{AP}_j \cdot \mathbf{n}_j = 0\} \quad (5)$$

$\mathbf{n}_i = \left[\frac{\partial I}{\partial x} \quad \frac{\partial I}{\partial y} \right]^T$ étant le gradient de l'image I au point $P_i = (x_i, y_i)$, l'équation de la perpendiculaire au gradient en P_i est :

$$y = a_i(x - x_i) + y_i \quad \text{où} \quad a_i = -\frac{\frac{\partial I}{\partial x}}{\frac{\partial I}{\partial y}} \quad (6)$$

En conséquence, le sommet A de l'angle formé par les droites perpendiculaires aux gradients en P_i et P_j a pour coordonnées :

$$\begin{cases} x_A = \frac{1}{a_i - a_j} (y_j - a_j x_j - y_i + a_i x_i) \\ y_A = a_i (x_A - x_i) + y_i \end{cases} \quad (7)$$

On peut alors construire un tableau accumulant la présence d'un sommet en A comme dans le cas de la TSG :

$$S_{accu}(A) = \sum_{(i,j) \in \Gamma(A)} D(i, j) \Theta_\gamma(i, j) r_i r_j \quad (8)$$

avec

$$D(i, j) = W_{L_{max}}(\|\mathbf{P}_i \mathbf{P}_j\|) \quad (9)$$

où $W_{L_{max}}$ est un noyau uniforme de rayon L_{max} : $W_{L_{max}}(x) = 1$ si $\|x\| < L_{max}$, 0 sinon. De cette manière, les pixels trop éloignés ne sont pas appariés. Il est classique de choisir pour r_i et r_j une fonction logarithmique du module du gradient :

$$r_i = \log(1 + \|\mathbf{n}_i\|) \quad (10)$$

Notons, qu'il est aussi possible de ne pas spécifier d'angle γ , la fonction de phase étant alors définie par :

$$\Theta(i, j) = \Theta_{//}(i, j) = 1 - \delta(\cos(\theta_i - \alpha_{ij})) \quad (11)$$

où $\alpha_{ij} = \angle(Ox, \mathbf{P}_i \mathbf{P}_j)$ est l'angle de $\mathbf{P}_i \mathbf{P}_j$ par rapport à l'horizontale (voir Fig. 3), et δ est le symbole de Kronecker. La fonction $\Theta_{//}(i, j)$ rejette les cas où $|\theta_i - \alpha_{ij}| = \pi/2$ modulo π , P_i et P_j étant alors sur des contours parallèles. Les maxima locaux du tableau S_{accu} , après seuillage permettent de détecter les sommets d'angles.

La paire de points (P_i, P_j) vote aussi pour une portion $[AB]$ de la bissectrice de l'angle au sommet A , donc

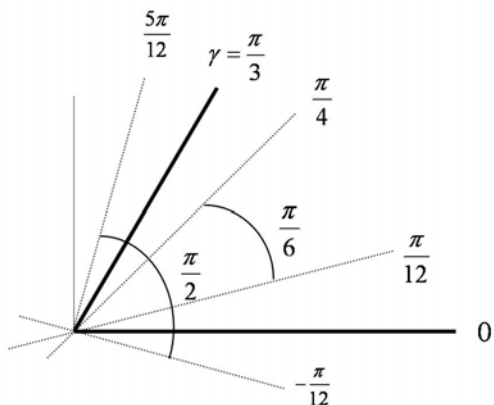


FIG. 5 – Précision de l'estimation de l'orientation du gradient. Un segment de pente $-\pi/12$ fait un angle, par rapport à l'horizontale, égale à 0 après discrétisation. Un segment de pente $5\pi/12 - \epsilon$ est discrétisé à la valeur $\pi/3$. L'angle réel entre ces deux segments est égale à $\pi/2 - \epsilon$ mais après échantillonnage il est égal à $\pi/3$. De même, les segments de pente $\pi/12 - \epsilon$ et $\pi/4$ sont respectivement échantillonnés aux valeurs 0 et $\pi/3$: l'angle réel entre ces deux segments est de $\pi/6$ mais après échantillonnage il est de $\pi/3$.

d'angle $\angle(P_i AB) = \angle(P_i AP_j)/2$:

$$\Gamma(AB) = \{(P_i, P_j) \mid \mathbf{AP}_i \cdot \mathbf{n}_i = 0, \mathbf{AP}_j \cdot \mathbf{n}_j = 0, \angle(P_i AB) = \angle(P_i AP_j)/2\} \quad (12)$$

Le segment $[AB]$ est construit de façon à ce que sa longueur soit la taille maximale L_{max} du triangle à détecter dans l'image. Un indicateur de la localisation des bissectrices est donc simultanément construit en accumulant les votes selon les segments $[AB]$:

$$B_{accu}([AB]) = \sum_{(i,j) \in \Gamma(AB)} D(i, j) \Theta_\gamma(i, j) r_i r_j \quad (13)$$

Par construction, chaque bissectrice d'un angle apparaît sous la forme d'un segment dans l'accumulateur B_{accu} . Si une forme triangulaire est présente dans l'image, son centre est donc un maximum local de B_{accu} du fait que les trois bissectrices se coupent en un même point.

2.3 Détection de Signalisation Triangulaire

Dans le cas de panneaux triangulaires, quelques hypothèses de base nous amènent à définir une fonction de phase plus spécifique $\Theta(i, j)$. Supposons que l'on cherche un triangle équilatéral : l'angle de base est $\gamma = \pi/3$. Par ailleurs, les orientations sont quantifiées pour tenir compte des incertitudes. Si l'orientation du gradient est quantifiée sur $N=12$ valeurs (par exemple), le pas de quantification est $\Delta\theta = 2\pi/N = \pi/6$. L'angle entre deux côtés adjacents est estimé avec cette précision : la valeur de γ échantillonnée correspond en fait à un angle réel $\gamma = \pi/3 \pm \pi/6$ (avant quantification).

Ainsi une valeur $\gamma = \pi/3$ correspond aux angles $\gamma \in]\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}[$, comme le montre la Fig. 5. Par exemple, un segment faisant un angle de $-\pi/12$ avec l'horizontale correspond, après échantillonnage, à un segment horizontal, tandis qu'un côté avec un angle de $5\pi/12 - \epsilon$ est échantillonné avec une pente de $\pi/3$ de sorte que l'angle entre ces deux côtés est échantillonné à $\pi/3$ au lieu de $\pi/2 - \epsilon$.

Maintenant, la projection d'un panneau de signalisation dans le plan image dépend de son orientation dans le repère caméra : c'est généralement un triangle quelconque, mais l'intervalle $\gamma \in]\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}[$ regroupe un large spectre de points de vue de la caméra. On peut envisager un échantillonnage plus fin si on a une connaissance *a priori* des angles à détecter, en prenant une valeur de N plus grande : $\gamma = \gamma \pm \frac{2\pi}{N}$ où $\gamma = \frac{2k\pi}{N}$.

Afin de modéliser plus spécifiquement l'angle $\gamma = \pi/3$, la fonction de phase est conçue pour n'apparier que les points appartenant aux côtés adjacents d'un angle de $\gamma = \pi/3$:

$$\Theta(i, j) = \Theta_{//}(i, j) \left(\underbrace{W_{\frac{2\pi}{N}}(|\theta_i - \theta_j| - \pi - \gamma)}_{\text{angle aigu}} + \underbrace{W_{\frac{2\pi}{N}}(|\theta_i - \theta_j| - \pi + \gamma)}_{\text{angle obtus}} \right) \quad (14)$$

La largeur du noyau $W_{\Delta\theta}$ est $\Delta\theta = \frac{2\pi}{N}$ ce qui assure que $|\theta_i - \theta_j| - \pi = \gamma$ ou $-\gamma$: ces deux cas sont illustrés par la Fig. 4.

On dispose de deux accumulateurs : notre stratégie pour détecter un triangle est de commencer par détecter les centres de triangle en traitant B_{accu} , puis de regrouper les sommets correspondant par triplet en exploitant S_{accu} . Un centre est détecté en recherchant un maximum local de l'accumulateur B_{accu} supérieur à un certain seuil τ_B . Pour chaque détection, on cherche dans S_{accu} les trois maxima locaux les plus proches supérieurs à un seuil τ_S . Si un point de l'accumulateur B_{accu} est associé à trois sommets, ils sont définis respectivement comme centre et sommets d'un triangle.

3 Résultats expérimentaux

3.1 Les bases de test

Les performances de notre algorithme sont mesurées sur 2 bases d'images assez différentes, dans lesquelles les panneaux pris en compte sont ceux dont la taille est comprise entre 32×32 et 70×70 :

- Base *traffic sign image database* [13]. Elle est constituée de 48 images de taille 360×270 pixels contenant 37 panneaux bleus (passage piétons, vélos) et 18 panneaux rouges (intersection, céder le passage). Parmi ces 55 panneaux de la route, 15 sont circulaires et 40 contiennent un triangle. Ces derniers se divisent en trois catégories illustrées par la Fig. 2 :



FIG. 7 – Exemples de détection de panneaux triangulaires de la base de test avec leurs deux accumulateurs S_{accu} et B_{accu} .

- passage piétons : un triangle blanc dans un panneau rectangulaire bleu,
- avertissement intersection : un triangle blanc, contenant un pictogramme, bordé par un triangle rouge, dont un sommet est situé au dessus de la base horizontale,
- avertissement céder le passage : un triangle blanc bordé par un triangle rouge avec un sommet situé en dessous de la base horizontale.
- Base *Stéréopolis* : 847 images de dimensions 960×540 contenant 9 panneaux triangulaires et 17 panneaux circulaires ou rectangulaires.

3.2 Illustration sur des images synthétiques

Nous illustrons tout d'abord les résultats de la transformation TSB sur des images synthétiques en niveaux de gris, avec leur deux accumulateurs et les sommets détectés. Sur la Fig. 6, des triangles blanc sur fond gris ou gris sur fond blanc sont traités. Dans les deux cas, on observe que la TSB est pratiquement invariante aux rotations dans le plan de l'image. La Fig. 1 montre que la transformation est aussi robuste à l'occultation d'un ou plusieurs sommets du tri-

Images	Panneaux (triangles)	Vrais Positifs	Faux Positifs	Cadence
48	40	33 (82.5%)	2	<50 ms/img

TAB. 1 – Performances en détection de panneaux de signalisation routière triangulaires sur la base *traffic sign database* de 48 images 360×270 . Les seuils τ_B et τ_S sur B_{accu} et S_{accu} ont été déterminés expérimentalement sur une autre base d'images : $\tau_B = 1000$, $\tau_S = 20$.

angle, ainsi qu'à la rupture partielle d'un ou plusieurs côtés. En effet, les points votant appartiennent à des côtés adjacents du triangle. Tant qu'une portion consistante de ces contours est visible, ses sommets peuvent être retrouvés même s'ils sont cachés. Des travaux sont en cours pour quantifier la sensibilité aux occultations.

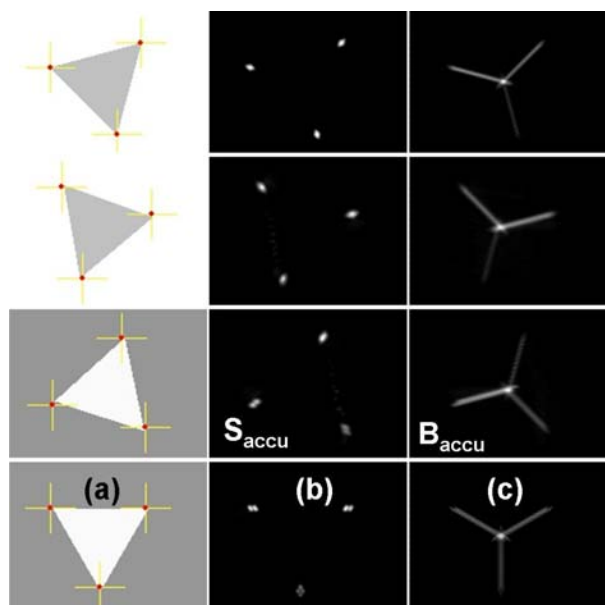


FIG. 6 – Cas de triangles clair/sombre ou sombre/clair avec différentes orientations. Colonne (a) : image source (niveau de gris) avec les sommets détectés en jaune. Colonne (b) : Accumulateur des sommets S_{accu} . Colonne (c) : Accumulateur pour les bissectrices B_{accu} . La TSB est relativement invariante aux rotations dans le plan.

3.3 Détection de panneaux de signalisation routière triangulaires

Notre approche a été testée sur la base *traffic sign image database* [13]. L'algorithme est capable de détecter correctement 33 panneaux sur 40 avec seulement 2 faux positifs en un temps inférieur à 50 ms/image (Tab. 1). Un panneau est détecté si ses trois sommets sont détectés et associés au même centre de B_{accu} .

Quelques exemples sont donnés Fig. 7 : il est intéressant de voir que les sommets intérieurs et extérieurs des triangles, en bordure de panneaux rouges, sont correctement détectés. En effet, un panneau rouge contient un total de six sommets de triangles, tandis que les panneaux bleus contiennent seulement trois sommets.

Les tests sur la base *Stéréopolis* montrent sensibilité du résultat de la TSB par trop important par rapport à la valeur du seuil τ_B . Le tableau 2 donne les résultats obtenus pour deux valeurs de τ_B . Les meilleures performances rapportées dans les Tab. 1 et 2 correspondent à une quantification de l'orientation du gradient sur $N = 24$ valeurs. La Fig. 8 compare les performances obtenues par la TSB pour différentes discrétisations.

Les courbes ROC de la Fig. 8(a) donnent pour ces méthodes le graphique du Taux de Détection Correctes TDC en fonction du Taux de Faux Positifs (TFP). La Fig 8(b) représente le coefficient de Dice pour la TC et la TCB en

Images	Panneaux (triangles)	Vrais Positifs	Faux Positifs	Seuil τ_B
847	9	7 (77.7%)	0	1000
847	9	8 (88.8%)	29	500

TAB. 2 – Performances en détection de panneaux de signalisation routière triangulaires sur la base *Stéréopolis* de 847 images 960×540 contenant 9 panneaux triangulaires. Deux seuils τ_B sur B_{accu} sont proposés, mais $\tau_S = 20$ dans les deux cas.

fonction du seuil sur l'accumulateur B_{accu} avec $\tau_S = 20$:

$$TDC = \frac{VP}{P} \quad TFP = \frac{FP}{NbImg} \quad Dice = \frac{2VP}{VP + FP + P}$$

où VP est le nombre de vrais positifs, FP le nombre de faux positifs, P est le nombre total de panneaux dans la base de test, et $NbImg$ le nombre total d'images.

Pour $N = 12$ orientations possibles, la gamme d'angles détectables est $]\pi/6, \pi/2[$. Pour $N = 24$, cette gamme est $]\pi/4, 5\pi/12[$, et pour $N = 36$, elle est de $]\pi/3, 7\pi/18[$, avec $\gamma = \pi/3$. La TSB avec $N=24$ est plus sélective que dans le cas $N=12$, car la discrétisation est plus faible. Mais lorsque N augmente, les performances baissent parce que la discrétisation est inférieure aux incertitudes dues au bruit. Les performances de la TSB avec $N = 24$ dépassent largement celles des deux autres cas avec un coefficient de Dice maximal à 87,5% contre 61,5% pour les deux autres quantifications.

4 Conclusion et Perspectives

Nous avons présenté une nouvelle transformation pour la détection du sommet d'un angle et de sa bissectrice simultanément, sans utiliser de modèle de couleurs, même en cas d'occultation. Elle peut traiter efficacement une image 360×270 en moins de 50 ms pour détecter des panneaux de signalisation triangulaires. Elle atteint un taux de détection élevé avec 33 panneaux sur 40 correctement détectés pour 2 faux positifs, sur une base de 48 images 360×270 , et 7 panneaux sur 9 sur une base de 847 images 960×540 pour 0 faux positifs. La prochaine étape se concentrera sur la reconnaissance de panneaux en modélisant leurs formes et couleurs. En particulier la stratégie de post-traitement des deux accumulateurs à des fins de détection de triangles peut être améliorée. Enfin, cette approche peut être optimisée pour des applications temps réel de types véhicules intelligents.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence Nationale de la Recherche ANR et Cap Digital pour le financement de ces travaux dans le cadre du projet iTowns-MDCO [14], portail de référencement géographique porté par l'Institut Géographique

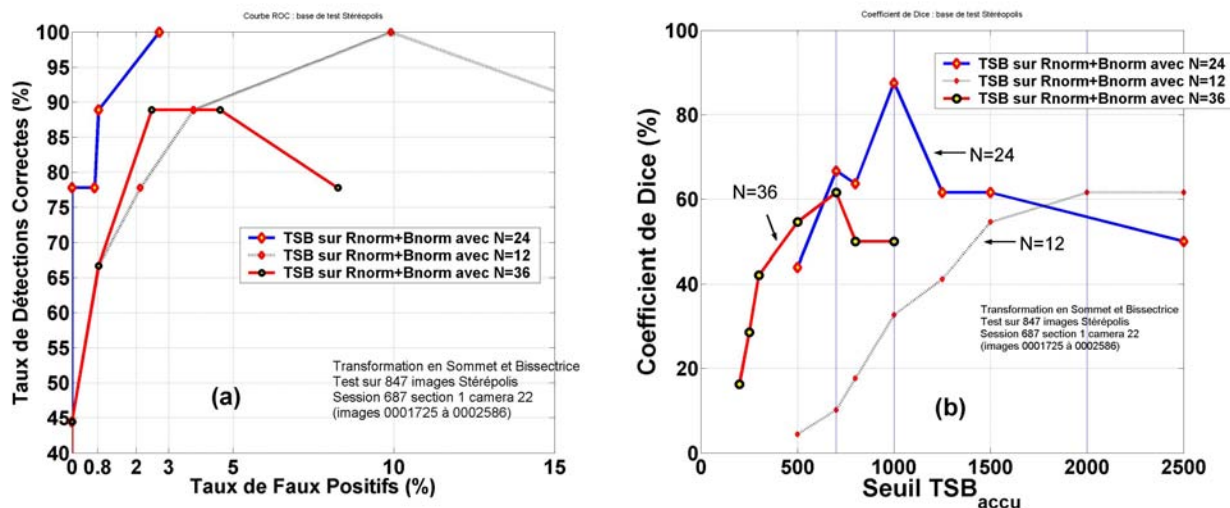


FIG. 8 – Comparaison des performances de la TSB pour différentes valeurs de la discrétisation de l'orientation du gradient : $N = 12, 24$ et 36 . (a) Courbes ROC : Taux de Détection Correctes (%) en fonction du Taux de Faux Positifs (%). (b) Coefficient de Dice (%) en fonction du seuil sur l'accumulateur B_{accu} . La base de test est la base *Stéréopolis* ayant 847 images 960×540 contenant 9 panneaux triangulaires. Le seuil sur l'accumulateur S_{accu} est toujours $\tau_S = 20$ et le seuil τ_B est utilisé pour tracer les courbes ROC.

National.

Références

- [1] R. Belaroussi, J-P. Tarel, *Angle Vertex and Bisector Geometric Model for Triangular Road Sign Detection*, à paraître dans IEEE Workshop on Applications of Computer Vision WACV'09, Snowbird, Utah, USA, décembre 2009.
- [2] A. de la Escalera, J.M. Armingol, M. Mata, *Traffic sign recognition and analysis for intelligent vehicles*, Image and Vision Computing, vol.21 (3), pp.247–258, 2003.
- [3] B. Soheilian, A. Arlicot N., Paparoditis, *Extraction de panneaux de signalisation routière dans des images couleurs*, à paraître dans les Actes du 17 e congrès francophone AFRIF-AFIA - Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle RFIA'10, 2010.
- [4] C. Bahlmann, Y. Zhu, V. Ramesh, M. Pellkofer, T. Koehler, *A system for traffic sign detection, tracking, and recognition using color, shape, and motion information*, In : Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 255–260, 2005.
- [5] N. Barnes, A. Zelinsky, L. Fletcher, *Real-time speed sign detection using the radial symmetry detector*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.9 (2), pp. 322–332, 2008.
- [6] C. Caraffi, E. Cardarelli, P. Medici, P.P. Porta, G. Ghisio, G. Monchiero, *An algorithm for Italian de-restriction signs detection*, Intelligent Vehicles Symposium, 2008.
- [7] G. Piccioli, E. De Micheli, P. Parodi, M. Campani, *Robust method for road sign detection and recognition*, Image Vision Computing, vol.14 (3), pp. 209–223, 1996.
- [8] G. Loy, N. Barnes, *Fast shape-based road sign detection for a driver assistance system*, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS'04, vol.2, pp. 70–75, Sendai, Japan, septembre 2004.
- [9] P. Foucher, P. Charbonnier, H. Kebbous, *Evaluation of a Road Sign Pre-detection System by Image Analysis*, International Conference on Computer Vision Theory and Applications VISAPP'09, (2), pp. 362–367, Lisbonne, Portugal, février 2009.
- [10] B. Cyganek, *Real-Time Detection of the Triangular and Rectangular Shape Road Signs*, Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems ACIVS'07, pp. 744–755, 2007.
- [11] I. Choi, S-I. Chien, *A generalized symmetry transform with selective attention capability for specific corner angles*, IEEE Signal Processing Letters, vol.11 (2) pp. 255–257, 2004.
- [12] D. Reifeld, H. Wolfson, Y. Yeshurun, *Context Free Attentional Operators : the Generalized Symmetry Transform*, Int. J. of Computer Vision, vol. 14 (2), pp. 119–130, 1995.
- [13] C. Grigorescu, N. Petkov, *Distance sets for shape filters and shape recognition*, IEEE Trans. on Image Processing, vol. 12 (10), pp. 1274–1286, 2003.
- [14] Image-based Town On-line Web Navigation and Search engine, <http://www.itowns.eu/>