

Transformée de Hough elliptique floue rapide

C. Leignel¹ O. Bernier¹ D. Collobert¹ R. Segquier²

¹ France Telecom R&D DTL/TIC/TNT

Technopole Anticipa, 2 Av. Pierre Marzin,
22307 LANNION Cedex

² Supélec – Campus de Rennes

Avenue de la Boulaie
BP 81127
35511 CESSON-SEVIGNE

{[christine.leignel](mailto:christine.leignel@francetelecom.com), [olivier.bernier](mailto:olivier.bernier@francetelecom.com), [daniel.collobert](mailto:daniel.collobert@francetelecom.com)}@francetelecom.com
renaud.seguier@supelec.fr

Résumé

Cet article présente une méthode de détection de la tête d'une personne dans une scène, par transformée de Hough elliptique. Pour cela, nous proposons une nouvelle transformée de Hough plus rapide. Plutôt que d'accumuler dans l'espace de Hough entier, l'accumulation se fait dans deux zones rectangulaires de l'espace de Hough, en fonction de la direction des contours donnée par le détecteur de Shen-Castan. En outre, sur une image, l'équation exacte d'une ellipse est rarement vérifiée, d'où la nécessité d'une transformée de Hough floue. Nous choisissons une fonction floue quadratique afin d'éviter les recouvrements trop importants des fonctions gaussiennes.

Mots clefs

Détection de visage; Transformée de Hough floue; Distance elliptique; Temps réel.

1 Introduction

L'objectif de cet article est la détection de la tête d'une personne en temps réel. Nous supposons le modèle de la tête elliptique, et proposons de combiner au filtrage des pixels qui ne sont pas de teinte chair ou qui sont dans le fond, une détection d'ellipse par transformée de Hough elliptique floue rapide. Les pixels du fond sont éliminés par soustraction de l'image courante à la première image. Parmi les pixels de non-fond restants, seuls sont conservés les pixels de teinte chair, obtenus par comparaison avec une table de teinte chair. Une zone d'intérêt est découpée autour des pixels filtrés par le masque de teinte chair et le

masque de non fond. L'ellipse est recherchée dans cette zone.

2 La transformée de Hough floue rapide

L'espace initial est l'espace de l'image (x, y) . Dans cet espace, la tête est modélisée par une ellipse.

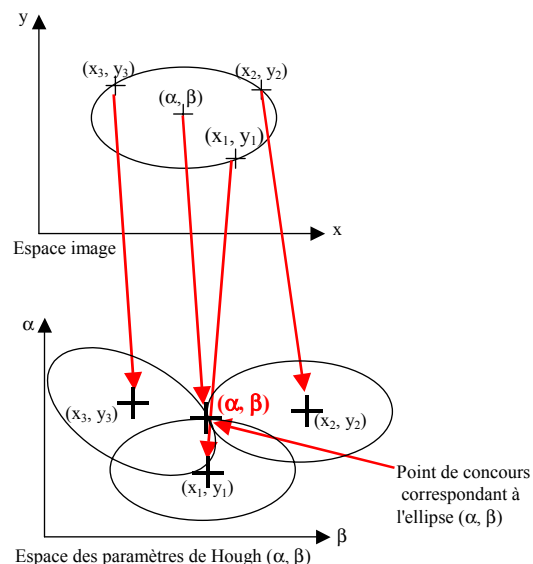


Figure 1 – Transformée de Hough d'une ellipse

L'équation d'une ellipse de centre (α, β) , de demi petit-axe a, de demi grand-axe b, est :

$$\frac{(x-\alpha)^2}{a^2} + \frac{(y-\beta)^2}{b^2} = 1$$

Dans l'espace des paramètres de Hough (α, β) , chaque point de l'ellipse (x, y) de l'espace de l'image est transformé en une ellipse de centre (x, y) .

La transformée de Hough elliptique d'un point est une ellipse; la transformée de Hough elliptique d'une ellipse est un point. C'est le point de concours de toutes les ellipses dans l'espace de Hough qui permet de reconstruire l'ellipse dans l'espace image (figure 1).

Les points de contours dans l'espace image sont extraits grâce au détecteur de contours de Shen-Castan [10]. Chacun de ces points de contours incrémente une ellipse dans l'accumulateur. Le maximum obtenu dans celui-ci correspond aux paramètres (α, β) de l'ellipse recherchée.

C'est l'indice du maximum qui devrait correspondre théoriquement au centre de la tête.

Cinq tailles de tête sont prises en compte, pour une distance à la caméra comprise entre 1 m et 2,50 m. Il y a un accumulateur par taille de tête, donc cinq accumulateurs sont mis en compétition dans notre protocole. Ces cinq accumulateurs se recouvrent en partie afin de prendre en compte toutes les tailles de tête intermédiaires. Nous restreignons volontairement le nombre de tailles à cinq afin de limiter le temps de calcul.

La transformée de Hough elliptique floue est basée sur la transformée de Hough elliptique classique [7], à ceci près que l'incrémentation de l'accumulateur est non plus binaire mais floue. En effet sur une image, l'équation exacte d'une ellipse est rarement vérifiée : il y a rarement le nombre exact de points de contours d'une ellipse parfaite, et la tête n'est pas exactement une ellipse. D'où la nécessité d'une transformée de Hough floue [8] : l'accumulateur est incrémenté de 1 s'il y a le nombre de points de contours requis et la taille exacte correspondant à cet accumulateur, sinon il est plus faiblement incrémenté en fonction de la distance à la taille exacte. Le contour flou de l'ellipse est représenté par une valeur d'appartenance de 1 sur le contour et inférieure à 1 quand on s'en éloigne. La distance d'un point de contour au centre de l'ellipse est une distance elliptique, et cette valeur d'appartenance est calculée par la distance elliptique quadratique suivante :

$$\exp \frac{-1}{2\sigma^4} \left[\left(\frac{x-\alpha}{a} \right)^2 + \left(\frac{y-\beta}{b} \right)^2 - 1 \right]^4$$

(α, β) étant le centre de l'ellipse, (a, b) le demi-petit axe et le demi-grand axe de l'ellipse, σ la variance de la fonction quadratique.

Dans une seule dimension, l'équation se réduit à :

$$\exp \frac{-1}{2\sigma^4} \left[\left(\frac{x-\alpha}{a} \right) - 1 \right]^4 = \exp \frac{-1}{2\sigma^4 a^4} [x - (\alpha+a)]^4$$

Nous supposons l'écart λ_x fixe entre les demi petit-axes des ellipses concordant avec chacune des cinq tailles de tête :

$$\lambda_x = \frac{(\Delta x_4 - \Delta x_0) / 2}{(\text{nombre_de_têtes} - 1) * 2}$$

Δx_0 = demi petit-axe de l'ellipse correspondant à la plus petite taille de tête choisie,

Δx_4 = demi grand-axe de l'ellipse correspondant à la plus grande taille.

Nous avons opté pour un recouvrement entre les fonctions d'appartenance floue des cinq tailles de têtes de 0,9 :

$$\exp \frac{-1}{2\sigma^4 a^4} \lambda_x^4 = 0,9$$

D'autre part le paramètre largeur de la fonction floue σ_x dépend de la taille de la tête. Pour la plus petite taille de tête :

$$\sigma_x = \sigma \cdot \frac{\Delta x_0}{2}$$

A l'inverse, le paramètre de largeur relative est constant quelque soit la taille de la tête :

$$\sigma = \frac{\sqrt[4]{8} \cdot \lambda_x}{\Delta x_0 \sqrt{-\log(0,9)}}$$

Nous avons choisi des fonctions quadratiques car elles évitent les recouvrements trop importants des fonctions gaussiennes, et donc le risque de perte de précision due à un affaiblissement du maximum de l'accumulateur. C'est la raison pour laquelle le taux de recouvrement de 0,9 choisi est plus élevé que dans le cas d'une fonction gaussienne. De plus, la largeur de la fonction de flou augmente avec la distance au centre, c'est-à-dire avec la taille de la tête : la largeur est d'autant plus grande que la taille de la tête est grande. Plus on s'éloigne du centre, plus la fonction est étalée, et plus les gaussiennes s'interpénètrent (figure 2). Or, pour obtenir un recouvrement identique pour toutes les ellipses de façon à ce que les tailles contribuent toutes de la même façon, il faut changer les centres des ellipses en déplaçant les fonctions quadratiques (en modifiant la largeur correspondante due à chaque changement, chacun d'eux provoquant une augmentation de celle-ci), tout en repositionnant le tout dans les bornes initiales (figure 3).

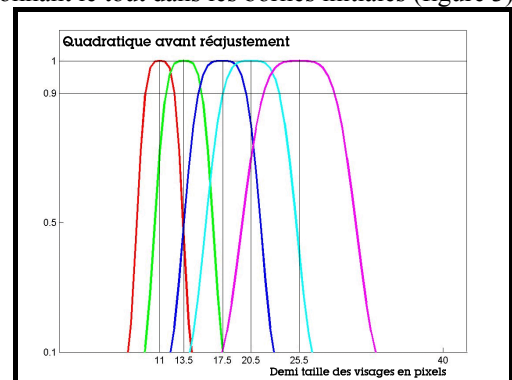


Figure 2 – Recouvrement des quadratiques avant ajustement

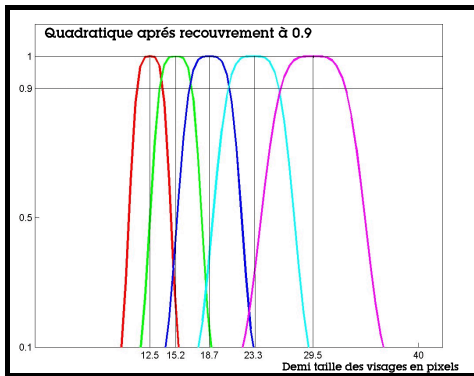


Figure 3 – Recouvrement des quadratiques après ajustement

L'algorithme de Shen-Castan est utilisé pour détecter les contours et leur direction, ce qui nous permet d'incrémenter l'accumulateur par zones [9], et ainsi d'accélérer les calculs. Par exemple, un contour vertical ne contribue qu'à deux rectangles verticaux, à droite et à gauche du contour. Il en va de même pour un contour horizontal, un contour SW/NE, et un contour SE/NW (figures 4, 5, 6, 7).

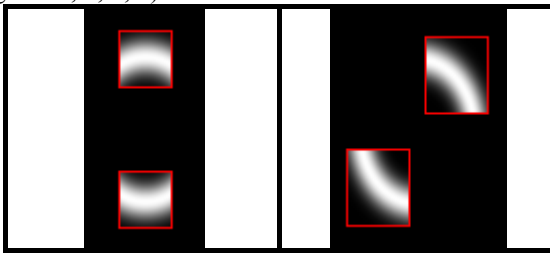


Figure 4 – Contour horizontal Figure 5 – Contour NW/SE

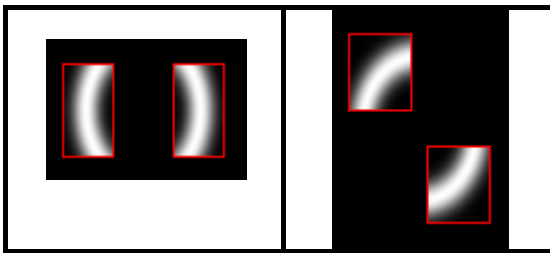


Figure 6 – Contour vertical Figure 7 – Contour SE/NW

Donc pour chaque point de contour détecté, seuls deux rectangles, correspondant à la direction du contour, sont pris en compte dans l'accumulateur.

Quatre zones sont découpées dans l'accumulateur avec deux rectangles par zones, ce qui fait un total de huit zones dans l'accumulateur.

Le taux de recouvrement donne le minimum de contribution à au moins une taille de tête : un taux de 0,9 par exemple signifie qu'un point de contour participe à hauteur de 90% s'il se trouve exactement entre les deux tailles de têtes, sinon il contribue à plus de 90% pour une des deux tailles et moins de 90% pour l'autre taille. Au-dessus de ce seuil de recouvrement, coexistent des ellipses

parfaites, c'est-à-dire contenant tous les points de contours théoriques, et des ellipses imparfaites. En dessous de ce seuil, nous avons uniquement des ellipses imparfaites. Augmenter le seuil de recouvrement revient à avoir plus de tailles de tête, donc plus de précision, mais au détriment du temps de calcul. A la limite, le nombre de taille de tête serait infini, ce qui correspondrait à tous les intermédiaires choisis dans l'intervalle sur lequel nous travaillons, entre 1m et 2,50 m dans notre protocole. A l'inverse, diminuer le seuil de recouvrement est équivalent à moins de précision sur les tailles, et donc à détecter à tort des ellipses qui n'en sont pas. Chacun des cinq accumulateurs est normalisé par le nombre de points de contours théorique (sur une image numérique) de l'ellipse parfaite par taille de tête, afin de comparer entre eux les différents accumulateurs et sélectionner celui qui présente le maximum absolu. L'accumulateur normalisé est également seuillé. Si le seuil de détection est trop élevé, aucune ellipse n'est détectée, dans le cas contraire, trop d'ellipses sont détectées, le risque étant de détecter des formes qui ne sont pas des ellipses. Le seuil de détection doit être impérativement inférieur au seuil de recouvrement, et donc plus le seuil de recouvrement est bas, plus le seuil de détection l'est également. Entre les seuils de recouvrement et de détection, cohabitent les ellipses imparfaites (points manquants) et les ellipses déformées que l'on veut bien détecter. De plus, le détecteur de Shen-Castan possède un seuil afin de ne pas prendre en compte tous les contours, et donc des contours faibles appartenant à la tête peuvent être éliminés et conduire à des ellipses imparfaites qu'il faudra bien détecter. Le maximum de chaque accumulateur est donc intrinsèquement comparé à un seuil de détection et s'il est inférieur à ce seuil, il n'y a pas de détection. Par exemple, pour un taux de recouvrement de 0,9, on se fixe un seuil de 0,7 qui signifie que seules les ellipses ayant au moins 70% des contours présents seront détectés. Enfin, l'accumulateur qui contient la plus grande valeur est sélectionné, il correspond à la taille de la tête recherchée (figure 8 et 9).



Figure 8 – Image d'origine et ellipse reconstruite après traitement

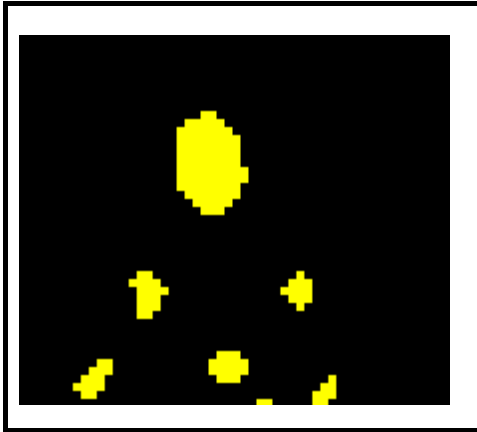


Figure 9 – Masque du produit Teinte chait et Non-fond

3 Conclusion

La transformée de Hough floue rapide fonctionne en temps réel lorsque la personne face à la caméra ne présente pas de vêtements de teinte chair. Cela permet de s'affranchir de la recherche d'une ellipse dans une zone du masque tel que le vêtement. Dans le cas contraire, les calculs seraient ralentis et les risques de fausses détections augmentés. Entre outre, la méthode permet de prendre en compte les tailles de tête intermédiaires, et une bonne précision est obtenue grâce à la fonction de floue quadratique. Enfin, le découpage de l'accumulateur en quatre zones permet de ne plus l'incrémenter en totalité, mais de choisir la zone pertinente en fonction de la direction des contours donnée par le détecteur de Shen-Castan. Ce nouveau découpage est à l'origine de la rapidité de l'algorithme. Dans le cas de vêtements de teinte chair, nous pensons optimiser le code pour accélérer les calculs, et atteindre le temps réel, y compris pour les cas les plus critiques.

Références

- [1] D.H. Ballard. Generalizing the Hough Transform to detect arbitrary shapes. *Pattern Recognition*, 13(2) : 111-112, 1981.
- [2] R.O. Duda and P.E.Hart. Using the Hough transforms to detect lines and curves in pictures. *Comm. Of the ACM*, 15(1) : 11-15, 1972.
- [3] R. Feraud, O.Bernier, et D.Collobert. A constrained generative model applied to face detection. *Neural Processing letters*, 5(2) : 227-233, 1997.
- [4] Hough. Method and means for recognizing complex pattern. *PVC, US Patent*, 1962.
- [5] J. Illingworth and J.Kittler. A Survey of the Hough Transform. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 44 : 87-116, 1988.
- [6] V.F. Leavers. *Shape Detection in Computer Vision Using the Hough Transform*. Springer-Verlag, 1992.

- [7] V.F. Leavers. Survey, which hough transform? *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1993.
- [8] R. Séguier, Annick Le Glaunec et Bernard Loriferne. Human faces detection and tracking in video sequence. *7th Portuguese Conference on Pattern Recognition*, March 1995.
- [9] R. Séguier. *Real Time Face Detection and Tracking on Personal Computer*. Rapport Technique, Supélec Rennes, 2001.
- [10] J. Shen and S. Castan. An optimal linear operator for edge detection. *IVC*, 1986.
- [11] B. Solaiman, B. Burdsall and Ch. Roux. Hough transform and uncertainty handling. *IEEE Transaction computer* 27(8) : 777-781, 1997.
- [12] T. Sors et J-E. Viallet. Intégration de techniques de détection d'ovales au système MULTRAK. *Rapport de Stage, FTR&D Lannion*.