

Une approche par traitement statistique d'images du comptage de poils de brosses à mascara

ALEXANDRE GIRARD¹, BRUNO CHARBONNIER¹, GUY D'URSO¹

¹ EDF R&D

6 quai Watier, 78401 Chatou Cedex, France

alexandre.girard@edf.fr, bruno.charbonnier@edf.fr, guy.durso@edf.fr

Résumé – EDF R&D a développé, pour le compte de L'Oréal, une méthode automatique de comptage de poils de brosses de mascara. Cette méthode se fonde sur du traitement d'images suivi de l'exploitation statistique des propriétés des objets détectés. Une phase d'optimisation par base d'apprentissage permet au final d'obtenir de très bons résultats : moins de 5 % d'erreur maximale par rapport à la référence par comptage manuel.

Abstract – EDF R&D has developed for L'Oréal an automatic method for mascara brush bristles counting. This method is founded on image processing followed by the use of statistical characteristics of the detected objects. Finally, an optimization phase through a learning base leads to very good results : maximal error of less than 5 %.

1 Présentation du problème

1.1 Contexte

Electricité de France (EDF) offre la possibilité à ses clients grands comptes de bénéficier de sa R&D. Dans ce cadre, L'Oréal a posé le problème suivant : la société de cosmétiques contrôle le nombre de poils sur les brosses à mascara fabriquées par ses fournisseurs. Pour cela, des brosses sélectionnées aléatoirement sont détorsadées, puis les poils sont étalés sur une feuille de papier et un opérateur les compte manuellement. Il a été demandé à EDF R&D d'automatiser la procédure de comptage des poils disposés sur cette feuille de papier.

1.2 Difficultés liées au comptage

La méthode de comptage à proposer devait prendre en compte les problèmes suivants :

- Le nombre de poils est important (de l'ordre de plusieurs centaines) avec un nombre moyen de poils très variable suivant les brosses.
- Un poil est flexible, ce qui rend la caractérisation géométrique difficile.
- Les poils peuvent être regroupés en amas, ce qui fait sortir du cadre du simple comptage d'objets dans une image.
- La méthode doit être efficace pour tous les types de brosses de L'Oréal.
- Le traitement doit pouvoir être effectué sur des PC standards.

L'erreur de comptage doit de plus ne pas dépasser 5 % par rapport à la référence du comptage manuel, ce qui est assez sévère par rapport aux performances de l'état de l'art [1]. Tout ceci a conduit à la mise en œuvre d'une méthode spécifique.

1.3 Etat de l'art

Dans un premier temps, diverses techniques ayant pu donner des résultats intéressants sur des problématiques

similaires, notamment pour le comptage du nombre de poils dans les amas, ont été testées :

- détection des ruptures dans la direction du gradient pour détecter les croisements de poils ;
- détection des lignes dans les amas par transformée de Hough ;
- squelettisation [3].

Ces techniques, tout comme celle décrite dans [2] ne s'appliquaient pas correctement aux caractéristiques des poils, par exemple du fait de l'absence de contraste en niveaux de gris sur un poil. [4] décrit une démarche proche de celle présentée pour les poils seuls mais qui ne gère pas la question des amas d'objets.

2 Comptage statistique sur une image

Cette section va présenter la méthode de comptage unitaire sur une image qui constitue la première étape de la méthode. Tous les traitements ont été réalisés avec MATLAB[®] et en particulier l'*Image Processing Toolbox*. Les photos utilisées pour cette étude ont été prises avec un appareil photo numérique compact 5 Mpixels du commerce.

2.1 Pré-traitement de l'image

Le premier objectif est de pouvoir aboutir à une labélisation des zones « poils seuls » et « amas de poils ». Pour cela, les étapes suivantes sont réalisées :

- les images sont converties en niveaux de gris,
- le fond de l'image est éliminé en soustrayant à l'image d'origine l'image obtenue en réalisant une fermeture avec un disque de rayon 15 pixels permettant d'être sûr de s'affranchir des poils,
- l'image ainsi obtenue est ensuite binarisée : le seuil de binarisation a été déterminé en prenant dans l'histogramme des niveaux de gris la valeur qui correspond à la moyenne plus deux écarts-types, en considérant que les poils représentent une très faible quantité de pixels dans l'image,

- il est alors possible de labéliser les objets en utilisant la connectivité à huit voisins. Les propriétés géométriques suivantes de chaque objet sont alors calculées : les longueurs des axes principaux (L) et secondaires (l), le périmètre (p) et l'aire (a).



Figure 1 : Exemple d'image utilisée pour le comptage

2.2 Algorithme de comptage

Le comptage va comporter deux grandes étapes :

- déterminer les objets correspondant à des poils seuls selon des critères assez stricts,
- déterminer le nombre de poils dans les objets détectés comme des amas en s'appuyant sur la première étape.

2.2.1 Détermination des poils seuls

La première étape est de pouvoir identifier les objets qui sont de façon sûre des poils seuls. Pour cela, le plan ($p/L, a$) est utilisé. En effet, p/L permet de caractériser le caractère oblong d'un objet en comparaison avec l'aire de l'objet : pour une même aire, un p/L faible montre qu'un poil seul est plus probable et pour un p/L donné, une aire grande doit montrer un alignement de plusieurs poils et une aire petite des brisures de poil. Chaque axe est normalisé par la valeur la plus présente, supposée représenter le « poil moyen ». En repérant sur l'histogramme des distances d entre les points correspondant aux objets et le point (1,1) le premier minimum, une distance d^* a été déterminée qui garantit que les points dont la distance d est inférieure à d^* proviennent bien de poils seuls.

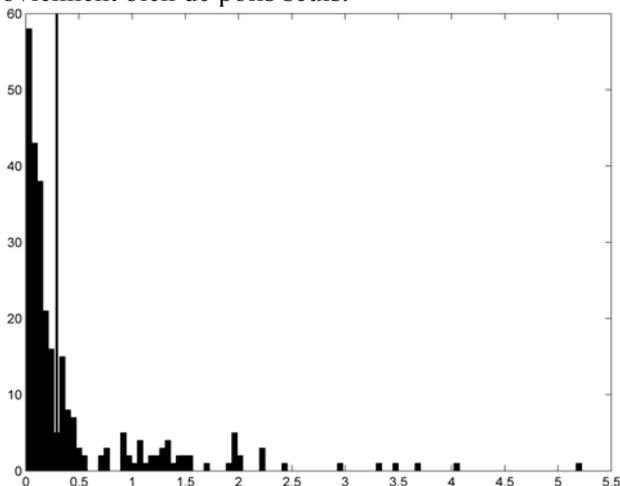


Figure 2 : détermination de la distance d^*

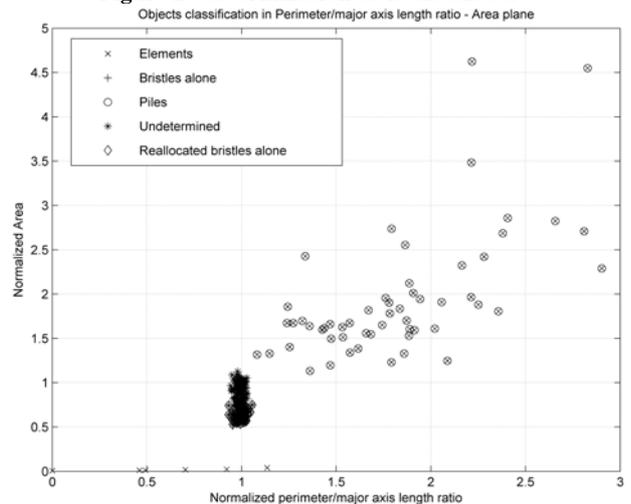


Figure 3 : répartition des objets dans le plan ($p/L, a$)

Les objets sont alors répartis en quatre catégories : les poils seuls, les objets indéterminés, les amas et les objets éliminés car trop petits. Les objets indéterminés qui possèdent un rapport (L/l) et une aire a suffisamment grands sont réaffectés dans la catégorie des poils seuls.

2.2.2 Détermination du nombre de poils dans les amas et résultats sur un ensemble d'images

L'étape précédente a permis de déterminer les objets correspondant à des poils seuls. Il est alors possible d'en déduire une estimation de l'aire d'un poil seul comme la médiane des aires des objets considérés comme poils seuls. L'estimation du nombre de poils dans un amas par cette méthode se fait alors en prenant l'entier le plus proche du rapport « aire d'un amas » sur « aire estimée d'un poil seul ».

Sur les 65 images à disposition pour tester la méthode, l'erreur moyenne obtenue est de 1,4 % avec un écart-type de 2,4 %. Si ces résultats sont déjà bons pour une méthode ne s'appuyant que sur l'image seule, elle n'est pas suffisante pour atteindre l'objectif des 5 % d'erreur maximale.

3 Sensibilité de la méthode

3.1 Sensibilité à l'éclairage

L'éclairage peut changer dans une image. L'élimination du fond est l'étape qui prend en compte ce changement et rend la méthode indépendante de l'éclairage.

3.2 Sensibilité à l'échelle de niveaux de gris

Selon la prise de vue, l'image à traiter peut être sombre ou brillante. Cela implique des changements dans l'échelle de niveaux de gris d'une image à l'autre. La différence de luminosité entre les différentes images de la base de données disponible montre que la méthode est robuste à ce facteur.

3.3 Sensibilité aux paramètres de filtrage morphologique

Une étude de sensibilité à la forme et à la taille du filtre morphologique permettant la détermination du fond a été menée. Avec des éléments structurants comme un cercle de rayon 100 pixels, un cercle de rayon 5 pixels ou encore un carré de 15 pixels de côtés, la différence de comptage par rapport à l'utilisation du cercle de rayon 15 pixels est très faible, de l'ordre de 1 %.

3.4 Sensibilité au bruit

Afin d'étudier la sensibilité au bruit, un bruit gaussien de variance 0,001 correspondant à un rapport signal/bruit de 10 dB a été ajouté à une image brute issue de la prise de vue.



Figure 4 : image bruitée (bruit gaussien, $\sigma^2=0.001$)

Ce bruit a pour effet de perturber la labélisation avec la création de nombreux objets-artefacts. Cependant ces objets trop petits pour être des poils sont facilement supprimés par seuillage sur la taille. Le résultat sur le comptage final est négligeable : moins de 1 % d'erreur.

4 Optimisation par base d'apprentissage

L'idée pour améliorer le comptage a été de s'appuyer sur la base des 65 images pour pouvoir améliorer l'exploitation du rapport « aire d'un amas » sur « aire estimée d'un poil seul » qui sera appelé indice caractéristique de l'amas dans la suite et sera noté ρ_a . L'objectif va alors être de déterminer des seuils optimaux, notés (σ_j) , entre lesquels le nombre de poils équivalent x_j est pris constant selon une valeur elle aussi à déterminer.

Les amas de chaque image vont être classés en fonction de leur valeur de ρ_a . Pour une suite de seuils (σ_j) donnée, les ensembles (Π_j) contiennent ainsi les amas dont les indices caractéristiques sont compris entre σ_j et σ_{j+1} . Le nombre total de poils est alors calculé de la façon suivante :

$$N_{poils} = N_{poils\ seuls} + \sum_j x_j \text{card}(\Pi_j)$$

où $N_{poils\ seuls}$ est le nombre de poils seuls déterminé par la première étape de comptage.

Le problème d'optimisation consiste alors à déterminer la suite (σ_j) et les nombres de poils (x_j) qui minimisent l'erreur relative maximale entre le nombre

total de poils calculé (noté \hat{N}_k pour l'image k) et celui déterminé manuellement (noté N_k) :

$$J((\sigma_j)) = \max_k \left(\text{abs} \left(\frac{\hat{N}_k - N_k}{N_k} \right) \right)$$

Ce problème n'est pas directement soluble par des algorithmes déterministes, il a donc fallu utiliser un algorithme proche des algorithmes génétiques selon la procédure suivante :

- une suite de seuils (σ_j) est déterminée aléatoirement de façon uniforme dans un intervalle $[-2,2]$ autour du seuil initial $j-1/2$, cette suite de seuils devant être positive et croissante,
- pour cette suite, les (x_j) correspondant sont calculés par une méthode de moindres carrés et l'erreur relative maximale est stockée,
- les erreurs relatives maximales sont alors classées : les meilleures séquences sont conservées et les autres sont modifiées.

Pour la deuxième étape, il faut contraindre les (x_j) à être croissants : l'algorithme utilisé est alors celui des moindres carrés à contrainte de positivité en prenant comme variables les variations $(x_j - x_{j-1})$ avec $x_0 = 0$. Le nombre total estimé de poils est alors réécrit :

$$N_{poils} = N_{poils\ seuls} + \sum_j \left(\sum_{i=j}^J \text{card}(\Pi_i) \right) (x_j - x_{j-1})$$

Pour la troisième étape, 500 tirages sont effectués : les dix meilleurs sont conservés, les quarante suivants sont mélangés aléatoirement pour en générer quarante nouveaux et 450 nouvelles suites sont tirées. Cette procédure est répétée cent fois.

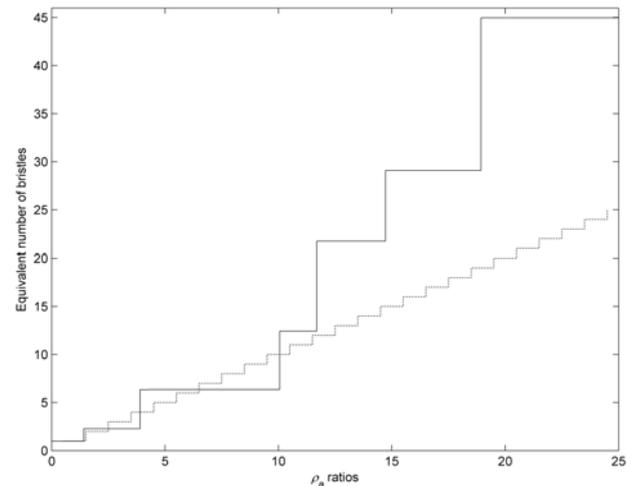


Figure 5 : seuils et nombres de poils équivalents obtenus par optimisation

Au final, sur la base de 65 images, une erreur relative moyenne de 0,4 % avec un écart-type de 2 % est obtenu. Cela permet d'obtenir les 5 % d'erreur maximale demandée.

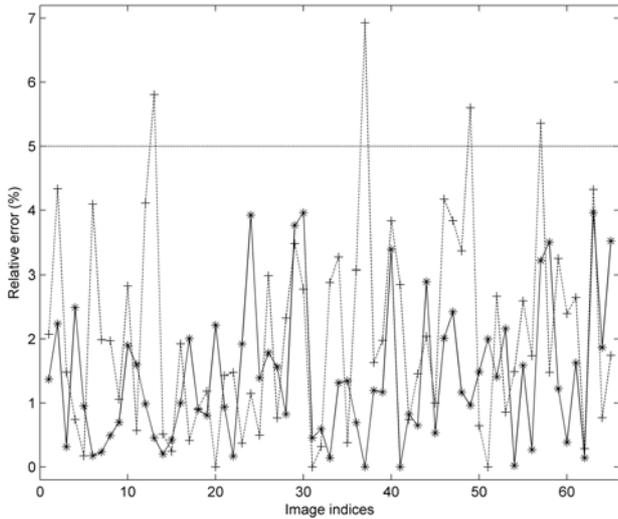


Figure 6 : résultats avant (+) et après (x) optimisation

5 Compléments de traitement statistique des objets

Sur un deuxième ensemble d'images pour validation, il est apparu que :

- quand deux poils sont collés, l'algorithme les compte comme un poil seul,
- deux poils peuvent être croisés de telle sorte que l'algorithme les voit comme un poil seul.



Figure 7 : exemples de poils collés (en haut à gauche) et de poils croisés (à droite) comptés comme des poils seuls

Le premier problème a été résolu en utilisant les rapports aire sur périmètre (a/p) des poils seuls et en détectant quels objets possèdent un rapport (a/p) dépassant le seuil (λ) défini par :

$$\lambda = m\left(\frac{a}{p}\right) + 2\sigma\left(\frac{a}{p}\right) + m\left(\left(\frac{a}{p} - m\left(\frac{a}{p}\right)\right)^3\right)^{1/3}$$

où $m(x)$ et $\sigma(x)$ sont respectivement la moyenne et l'écart-type de x . Ce seuil vient de l'idée intuitive que l'aire d'un poil seul doit être plus importante pour des poils collés que pour un poil seul à périmètre comparable.

Le deuxième cas a été solutionné en considérant le rapport entre l'aire et l'aire convexe (a_c) des objets. Le seuil de détection (ν) a alors été défini comme suit :

$$\nu = m\left(\frac{a_c}{a}\right) + 4\sigma\left(\frac{a_c}{a}\right) + m\left(\left(\frac{a_c}{a} - m\left(\frac{a_c}{a}\right)\right)^3\right)^{1/3}$$

Ce deuxième seuil vient de l'idée que, avec des poils croisés, l'aire convexe doit être plus importante qu'avec un poil seul.

6 Interface d'utilisation

Une interface homme-machine a été développée en complément pour pouvoir traiter automatiquement les images. Cette interface a été mise en œuvre industriellement sur les sites de production de L'Oréal.

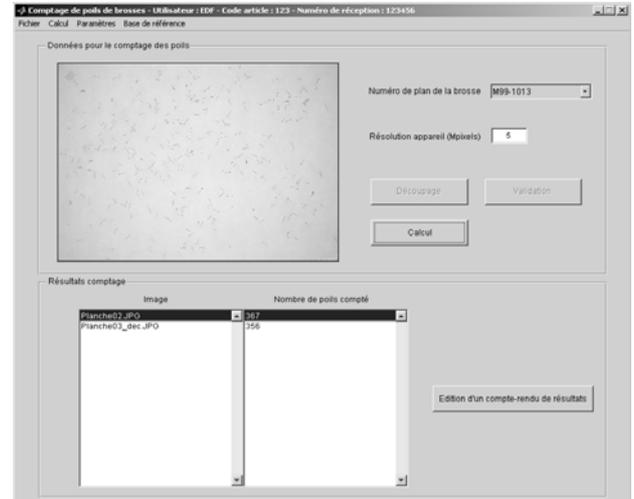


Figure 8 : interface d'utilisation

7 Conclusion

EDF R&D a développé une méthode originale de comptage d'objets oblongs, flexibles et pouvant se chevaucher sur une image avec ou sans base d'apprentissage, celle-ci améliorant naturellement la précision du résultat. Cette méthode utilise une combinaison de traitement d'images par filtrage morphologique, de statistiques et d'optimisation non-convexe.

Cette méthode a conduit à la mise en place d'une version industrialisée dans le cadre d'une interface homme-machine.

8 Bibliographie

- [1] Automated body hair counting and length measurement - P. Vallotton and N. Thomas - Skin Research and Technology, Volume 14, Issue 4 – 2008
- [2] Automated tool for the detection of cell nuclei in digital microscopic images: Application to retinal images - Jiyun Byun, Mark R. Verardo, Baris Sumengen, Geoffrey P. Lewis, B. S. Manjunath, Steven K. Fisher - Molecular Vision – 2006
- [3] Object Counting without Conglomerate Separation - Humberto Sossa, Giovanni Guzm, Oleksiy Pogrebnyak, Francisco Cuevas - Fourth Mexican International Conference on Computer Science – 2003
- [4] An Image-Processing Strategy for the Segmentation and Quantification of Microaneurysms in Fluorescein Angiograms of the Ocular Fundus - Timothy Spencer, John A. Olson, Kenneth C. Mchardy, Peter F. Sharp, And John V. Forrester - Computers and Biomedical Research 29 - 1996