

PROCEDE DE RECHERCHE DE CONTOURS PARAMETRÉS POUR LA COMPARAISON D'IRIS

5 L'invention concerne un procédé de recherche de contours paramétrés pour la comparaison d'iris et s'applique notamment au domaine de la biométrie et plus particulièrement de la comparaison d'iris.

Les techniques de biométrie ont pour objectifs l'identification d'êtres vivants. Ces techniques peuvent être utilisées dans le cadre
10 d'applications requérant un certain niveau de sécurité, comme par exemple le contrôle d'accès à des sites sensibles.

Pour cela, une analyse morphologique appliquées aux individus est mise en œuvre dans le but d'identifier les caractéristiques physiques leurs étant propres. Cette analyse s'appuie par exemple sur l'iris ou les
15 empreintes digitales.

Pour ce qui est de l'analyse de l'iris, un exemple de méthode d'analyse existante est la méthode dite de Daugman, décrite dans le brevet US5291560. Cette méthode permet la comparaison entre plusieurs échantillons numériques représentatifs d'iris et permet de déterminer ensuite
20 si ces échantillons correspondent à un même individu. Pour cela, une première étape a pour objectif de segmenter et de normaliser les iris puis une étape vise à en extraire un code binaire pour le comparer à une référence. L'extraction du code binaire est réalisée en appliquant une démodulation de phase autour de points d'application pour transformer la
25 texture de l'iris en un code binaire.

Lors de la segmentation mise en œuvre pour les méthodes d'analyse, les contours de l'iris sont habituellement considérés comme circulaires. Ainsi, des cercles délimitant les contours de l'iris sont recherchés. Cette recherche de contours est un traitement critique du processus de
30 reconnaissance car une erreur de quelques pixels sur l'estimation du centre ou du rayon des cercles fait nettement diminuer les performances du système et dégrade la fiabilité de la reconnaissance. Deux méthodes sont habituellement utilisées pour trouver ces cercles.

Dans le cadre de la méthode de Daugman, un opérateur intégral différentiel de détection de cercles est utilisé. Cet opérateur dépend de trois
35 paramètres (x_c, y_c, r) correspondant aux coordonnées du centre du cercle et

à son rayon, et est évalué sur toute l'image numérique de l'œil pour une plage importante de rayons. Suite à l'application de l'opérateur à l'image, deux jeux de trois paramètres (x_c, y_c, r) sont retenus, ces deux jeux correspondant respectivement aux contours intérieur et extérieur de l'iris.

5 Le principal inconvénient de cette méthode est que l'opérateur intégral-différentiel doit être calculé sur une portion importante de l'image et sur une grille discrète limitant la précision que l'on peut atteindre pour la description du contour. De plus, cet opérateur est sensible aux minima locaux, lesdits minima étant introduits par exemple par les artefacts tels que
10 des portions de paupière.

Une deuxième méthode pour trouver les cercles délimitant l'iris est la méthode de Wildes. Dans un premier temps, un filtre est appliqué à l'image numérique de l'œil pour mettre en œuvre une détection de bords. Pour cela, un filtre de Canny peut être utilisé. Une transformée de Hough
15 circulaire est ensuite appliquée à l'image résultant de la détection de bords pour trouver les cercles à partir des bords détectés. Le principal inconvénient de cette méthode est qu'elle dépend fortement de la méthode de détection de bords utilisée. De plus, la transformée de Hough circulaire est une opération très coûteuse en temps de calcul.

20 Ces deux méthodes de détection de contours ont également été étendues pour des types de contours plus complexes que les cercles pour pouvoir prendre en compte par exemple les contours de forme elliptiques. Cependant dans le cas des ellipses l'opérateur de Daugman et la transformée de Hough elliptique augmentent de manière significative la
25 complexité de calcul. Ainsi, la méthode des moindres carrés est habituellement utilisée dans la pratique car celle-ci est moins coûteuse en puissance de calcul, même si celle-ci est moins robuste.

Un but de l'invention est notamment de pallier les inconvénients
30 précités.

A cet effet l'invention a pour objet un procédé de détection de contours pour la comparaison d'iris Il comprend une étape de sélection de N contours candidats de forme circulaire par application d'une technique de recherche de cercle sur une image de bords d'un iris . Il comprend aussi une
35 étape d'optimisation de la forme et de la position des N contours candidats,

les contours candidats optimisés étant déterminés en utilisant des modèles paramétriques, un jeu de paramètres étant déterminé par contour candidat en minimisant une quantité d'énergie $E(C)$. Il comprend en outre une étape de sélection du meilleur contour candidat optimisé.

5 Selon un aspect de l'invention, la technique de recherche de cercle utilisée pour la sélection de N contours candidats de forme circulaire est une transformée de Hough circulaire.

Alternativement, la technique de recherche de cercle utilisée pour la sélection de N contours candidats de forme circulaire peut être la méthode
10 RANSAC, acronyme venant de l'expression anglo-saxonne « RANdom SAMple Consensus ».

La quantité d'énergie $E(C)$ est minimisée en utilisant par exemple la méthode de descente de gradient.

Selon un aspect de l'invention, la quantité d'énergie $E(C)$
15 associée à un contour candidat C est égale à la somme de l'énergie de bord $E_{edge}(C)$ et de l'énergie de région $E_{region}(C)$ dudit contour.

L'énergie de bords est déterminée en utilisant par exemple l'expression suivante :

$$20 \quad E_{edge}(C) = \int_0^{2\pi} \vec{\nabla} [I(\vec{X}_p(\theta))] \cdot \vec{n}_\theta d\theta$$

dans laquelle :

$\vec{n}_\theta$ représente le vecteur unitaire normal sortant au point de paramètre angulaire θ ;

$\vec{\nabla} []$ représente la fonction gradient ;

25 $\vec{X}_p(\theta)$ représente un vecteur colonne dont les éléments sont les coordonnées $x(\theta), y(\theta)$ d'un point de l'image ;

$I(\vec{X}_p(\theta))$ représente l'intensité de l'image au point associé au vecteur $\vec{X}_p(\theta)$.

L'énergie de région $E_{region}(C)$ est déterminée en utilisant, par
30 exemple, l'expression suivante :

$$E_{region}(C) = - \int_{Rin} \log P_{in}(I(X)) dX - \int_{Rout} \log P_{out}(I(X)) dX$$

dans laquelle :

R_{in} représente la région de l'image numérique de l'œil intérieure au contour ;

R_{out} représente la région de l'image numérique de l'œil extérieure au contour

;

- 5 $P_{in}()$ et $P_{out}()$ correspondent aux probabilités pour un pixel d'intensité $I(X)$ de l'image de se trouver à l'intérieur ou à l'extérieur du contour.

Le modèle paramétrique est par exemple un modèle de cercle, le jeu de paramètres associé à ce modèle paramétrique comprenant alors 3
10 paramètres.

De manière alternative, le modèle paramétrique est un modèle d'ellipse, le jeu de paramètres associé à ce modèle paramétrique comprenant alors 5 paramètres.

Le meilleur contour parmi les N contours candidats optimisés est,
15 par exemple, celui pour lequel l'énergie $E(C)$ a la valeur la plus faible.

L'invention a aussi pour objet un procédé de détection des contours intérieurs et extérieurs de l'iris d'un œil. Pour cela, le procédé décrit précédemment est appliqué une première fois pour la détection du contour intérieur et une seconde fois pour la détection du contour extérieur.

20 L'invention a notamment comme avantage de permettre l'utilisation de la transformée de Hough avec une faible résolution ce qui diminue la complexité des calculs. De plus, la mise en œuvre d'une optimisation locale limite l'impact de la détection de bords puisque l'on
25 travaille directement sur l'image.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit donnée à titre illustratif et non limitatif, faite en regard des dessins annexés parmi lesquels :

- 30
- la figure 1 montre un œil ainsi que la zone habituellement utilisée pour la comparaison d'iris ;
 - la figure 2 présente un diagramme illustrant le fonctionnement de la méthode Daugman de comparaison d'iris ;

- la figure 3 illustre de schématiquement les étapes du procédé selon l'invention ;
- la figure 4 illustre l'étape de sélection de N contours candidats de forme circulaire ;
- 5 - la figure 5 illustre l'étape d'optimisation locale ;
- la figure 6 illustre l'étape de sélection du meilleur contour du après optimisation locale.

La figure 1 montre un œil ainsi que la zone habituellement utilisée
10 pour la comparaison d'iris. Sur l'œil 100 donné en exemple, on distingue l'iris 101 et la pupille 102. Une zone définie par la surface entre deux contours 103, 104 comprenant la partie visible de l'iris permet de segmenter l'iris, c'est-à-dire de l'isoler du blanc de l'œil 105 et de la pupille 102.

15 La figure 2 présente un diagramme illustrant le fonctionnement de la méthode Daugman de comparaison d'iris.

Cette méthode a pour objectif de déterminer si deux images d'iris appartiennent à la même personne. Ainsi, une image d'iris de test 201 est comparée à une image d'iris de référence 200. Une première étape a pour
20 but de segmenter 202 les iris de ces deux images, c'est-à-dire d'isoler chaque iris du blanc de l'œil et de la pupille. L'étape de segmentation 202 permet de distinguer dans l'image les pixels appartenant à l'iris ce qui permet de générer un masque de segmentation. Ce masque peut être utilisé pour trouver les bords de l'iris sur l'image numérique de l'œil et il est ensuite
25 possible de chercher la description paramétrique des contours intérieurs et extérieurs de l'iris en vu d'effectuer la normalisation.

Les images de référence et de test après segmentation 203, 204 sont ensuite normalisées 205. L'étape de normalisation 205 consiste à dérouler l'iris de façon à obtenir une bande qui contient la texture de l'iris et
30 dont la forme est indépendante la dilatation de la pupille.

Une étape d'encodage 208 permet d'obtenir un code de référence 209 pour l'image de référence et un code de test 210 pour l'image de test.

Ces codes sont ensuite comparés en calculant, par exemple, leur distance de Hamming 211. Le résultat de cette comparaison est appelé
35 score de similarité 212 et permet de décider si l'iris de test correspond à l'iris

de référence, la correspondance étant établie si le score de similarité dépasse une valeur prédéterminée.

La figure 3 illustre de schématiquement les étapes du procédé selon l'invention. Ce procédé permet de déterminer de manière précise, rapide et peu complexe les contours intérieurs et extérieurs de l'iris par la mise en œuvre d'une optimisation de modèle paramétré, c'est-à-dire une optimisation à partir d'une courbe générée par un jeu de paramètres. Cette détection de contours d'iris peut ainsi être mise en œuvre en deux temps, un premier temps pour la détection du contour intérieur, c'est-à-dire la séparation entre pupille et iris et un second temps pour la détection du contour extérieur, c'est-à-dire la séparation entre iris et blanc de l'œil.

Ce traitement s'applique après l'obtention d'un masque de segmentation identifiant la région de l'iris et permettant d'obtenir une première estimation des contours intérieur et extérieur. Ce masque de segmentation est obtenu par les méthodes classiques de segmentation utilisées en reconnaissance d'iris. Ainsi, le procédé selon l'invention correspond à un traitement intermédiaire entre la segmentation et la normalisation de l'iris numérisé.

La première étape 301 du procédé consiste à déterminer un ensemble de N contours candidats. Pour cela, une image de bords de l'iris 300 est utilisée. Une transformée de Hough circulaire 301 est par exemple appliquée à cette image afin de trouver les paramètres représentatifs des N contours candidats de forme circulaire.

Une deuxième étape 302 a pour objectif d'optimiser localement la forme et la position des contours candidats. Suite à cette optimisation, une troisième étape 303 sélectionne le cercle à retenir en tant que contours intérieur ou extérieur.

La figure 4 illustre l'étape de sélection de N contours candidats de forme circulaire. Pour cela, une transformée de Hough circulaire 401 peut être appliquée au masque de segmentation 400. Les N meilleurs cercles 403, 404, 405, 406 au sens de cette transformée, c'est-à-dire les cercles de poids plus important sont ensuite sélectionnés et mémorisés. De manière alternative à la transformée de Hough, une autre technique de recherche de

cercle, technique dite de « circle fitting » en anglais, peut être utilisée, comme par exemple la méthode RANSAC, acronyme venant de l'expression anglo-saxonne « RANdom SAmple Consensus ». Dans l'exemple de la figure, quatre cercles sont sélectionnés.

5

La figure 5 illustre l'étape d'optimisation locale du procédé selon l'invention. Une optimisation locale 504, 505, 506, 507 est effectuée sur chacun des N cercles 500, 501, 502, 503 retenus suite à l'application de la transformée de Hough circulaire.

10

L'optimisation locale des contours sélectionnés consiste à faire évoluer les contours candidats de façon à ce qu'ils minimisent une quantité d'énergie $E(C)$ définie le long de ces contours, lesdits contours étant définis par des modèles paramétriques.

Afin de minimiser l'énergie $E(C)$, la méthode classique de descente en gradient peut être utilisée pour un modèle paramétrique donné. Ainsi, un jeu de paramètres associé à un modèle de paramètres minimisant l'énergie $E(C)$ sera alors déterminé pour chaque contour candidat. A titre d'exemples, un jeu de trois paramètres (x_c, y_c, r) sera déterminé si un modèle paramétrique de cercle est utilisé et un jeu de cinq paramètres (x_e, y_e, a, b, ϕ) sera déterminé si un modèle paramétrique d'ellipse est utilisé.

20

Dans le cas du cercle, le modèle paramétrique est par exemple le suivant :

$$\begin{aligned} x(\theta) &= x_c + r \cos(\theta) \\ y(\theta) &= y_c + r \sin(\theta) \end{aligned} \tag{1}$$

25

dans lequel :

$x(\theta), y(\theta)$ représentent les coordonnées des points composants le cercle pour les angles θ ;

x_c, y_c représentent les coordonnées du centre du cercle ;

30

r représente le rayon du cercle.

Pour ce qui est des ellipses, le modèle paramétrique suivant peut être utilisé :

$$\begin{aligned} x(\theta) &= x_e + a \cos(\theta) \cos(\phi) - b \sin(\theta) \sin(\phi) \\ y(\theta) &= y_e + a \cos(\theta) \sin(\phi) + b \sin(\theta) \cos(\phi) \end{aligned} \quad (2)$$

dans lequel :

- 5 $x(\theta), y(\theta)$ représentent les coordonnées des points composants les ellipses pour l'angle $\theta \in [0, 2\pi]$;
 x_e, y_e représentent les coordonnées du centre de l'ellipse ;
 a, b représentent les paramètres de grand axe et du petit axe de l'ellipse ;
 ϕ représente le paramètre de rotation.

- 10 A titre d'exemple, l'énergie $E(C)$ peut être déterminée en combinant deux types d'énergie associés aux contours actifs. Le premier type est l'énergie de bord $E_{edge}(C)$ et le second type est une énergie de région $E_{region}(C)$. Ainsi, la quantité d'énergie $E(C)$ à minimiser peut être déterminée en utilisant l'expression suivante :

$$15 \quad E(C) = E_{edge}(C) + E_{region}(C) \quad (3)$$

- L'énergie de bords va permettre de privilégier les zones à forts gradients. En d'autres termes, la contribution de l'énergie de bords $E_{edge}(C)$ à
 20 $E(C)$ va permettre de guider les contours candidats vers les zones de forts gradients.

L'énergie de bords peut être exprimée en utilisant l'expression suivante :

$$E_{edge}(C) = \int_0^{2\pi} \vec{\nabla} [I(\vec{X}_p(\theta))] \cdot \vec{n}_\theta d\theta \quad (4)$$

- 25 dans laquelle :
 $\vec{n}_\theta$ représente le vecteur unitaire normal sortant au point de paramètre angulaire θ .
 $\vec{\nabla} []$ représente la fonction gradient ;
 $\vec{X}_p(\theta)$ représente un vecteur colonne dont les éléments sont les
 30 coordonnées $x(\theta), y(\theta)$ d'un point de l'image.
 $I(\vec{X}_p(\theta))$ représente l'intensité de l'image au point associé au vecteur $\vec{X}_p(\theta)$.

L'énergie de bords $E_{edge}(C)$ peut être déterminée simplement à partir des paramètres du contour.

Le calcul de l'énergie de région $E_{region}(C)$ va permettre d'adapter le contour en maximisant les disparités entre les régions intérieures et extérieures au contour. En d'autres termes, la contribution de l'énergie de bords $E_{region}(C)$ à $E(C)$ va contribuer à guider le contour vers l'extérieur si l'on est à l'intérieur de l'iris vers l'intérieur si l'on est à l'extérieur de l'iris. On parle alors habituellement de méthode de compétition de région.

L'énergie $E_{region}(C)$ peut être déterminée en utilisant l'expression suivante :

$$E_{region}(C) = - \int_{R_{in}} \log P_{in}(I(X)) dX - \int_{R_{out}} \log P_{out}(I(X)) dX \quad (5)$$

dans laquelle :

R_{in} représente la région de l'image numérique de l'œil intérieure au contour ;
 R_{out} représente la région de l'image numérique de l'œil extérieure au contour ;
 $P_{in}()$ et $P_{out}()$ correspondent aux probabilités pour un pixel d'intensité $I(X)$ de l'image de se trouver à l'intérieur ou à l'extérieur du contour. Ces termes peuvent être estimés au préalable et/ou mis à jours au cours de la descente en gradient.

Les détails pour dériver l'énergie de région $E_{region}(C)$ peuvent être trouvés dans la littérature, notamment dans l'article de S. C. Zhu et A. Yuille intitulé *Region Competition : Unifying Snakes, Region Growing, and Bayes/MDL for Multiband Image Segmentation*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996.

Avantageusement, l'optimisation locale fait que l'on n'a pas à utiliser de grille de pas fixé et qu'une bonne résolution est obtenue. De plus, le fait d'utiliser plusieurs contours candidats circulaires en entrée de l'optimisation locale permet de se prémunir des minima locaux qui sont le principal inconvénient des méthodes variationnelles employées habituellement.

La figure 6 illustre une étape de sélection du meilleur contour du après optimisation locale.

- De par les optimisations locales décrites précédemment et conduites sur les N contours candidats sélectionnés, les contours ont été
- 5 déplacés et transformés pour s'adapter aux contours réellement présents dans l'image. Il reste ensuite à identifier 604 quel est le meilleur contour parmi les N contours candidats optimisés 600, 601, 602, 603. Plusieurs méthodes de sélection peuvent être mises en œuvre. Une première possibilité est de prendre le contour qui a la valeur optimale d'énergie $E(C)$.
- 10 Une alternative est d'appliquer l'opérateur de Daugman pour chacun de ces contours et de sélectionner le meilleur au sens de cet opérateur.

REVENDICATIONS

- 1- Procédé de détection de contours pour la comparaison d'iris caractérisé en ce qu'il comprend :
 - 5 - une étape de sélection (301, 401, 402) de N contours candidats de forme circulaire (403, 404, 405, 406) par application d'une technique de recherche de cercle sur une image de bords d'un iris (300),
 - 10 - une étape d'optimisation (302, 504, 505, 506, 507) de la forme et de la position des N contours candidats, les contours candidats optimisés étant déterminés en utilisant des modèles paramétriques, un jeu de paramètres étant déterminé par contour candidat en minimisant une quantité d'énergie $E(C)$,
 - 15 - une étape de sélection (303, 604) du meilleur contour candidat optimisé (605).
- 2- Procédé de détection de contours selon la revendication 1 dans lequel la technique de recherche de cercle utilisée pour la sélection (301) de
20 N contours candidats de forme circulaire est une transformée de Hough circulaire (401).
- 3- Procédé de détection de contours selon la revendication 1 dans lequel dans lequel la technique de recherche de cercle utilisée pour la
25 sélection de N contours candidats de forme circulaire (301) est la méthode RANSAC.
- 4- Procédé de détection de contours selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la quantité d'énergie $E(C)$ est
30 minimisée en utilisant la méthode de descente de gradient.
- 5- Procédé de détection de contours selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la quantité d'énergie $E(C)$
35 associée à un contour candidat C est égale à la somme de l'énergie de bord $E_{edge}(C)$ et de l'énergie de région $E_{region}(C)$ dudit contour.

- 6- Procédé de détection de contours selon la revendication 5 dans lequel l'énergie de bords est déterminée en utilisant l'expression suivante :

$$E_{edge}(C) = \int_0^{2\pi} \vec{\nabla} [I(\vec{X}_p(\theta))] \cdot \vec{n}_\theta d\theta$$

dans laquelle :

$\vec{n}_\theta$ représente le vecteur unitaire normal sortant au point de paramètre angulaire θ ;

$\vec{\nabla} []$ représente la fonction gradient ;

$\vec{X}_p(\theta)$ représente un vecteur colonne dont les éléments sont les coordonnées $x(\theta)$, $y(\theta)$ d'un point de l'image ;

$I(\vec{X}_p(\theta))$ représente l'intensité de l'image au point associé au vecteur $\vec{X}_p(\theta)$.

- 7- Procédé de détection de contours selon l'une des revendications 5 ou 6 dans lequel l'énergie de région $E_{region}(C)$ est déterminée en utilisant l'expression suivante :

$$E_{region}(C) = - \int_{R_{in}} \log P_{in}(I(X)) dX - \int_{R_{out}} \log P_{out}(I(X)) dX$$

dans laquelle :

R_{in} représente la région de l'image numérique de l'œil intérieure au contour ;

R_{out} représente la région de l'image numérique de l'œil extérieure au contour ;

$P_{in}()$ et $P_{out}()$ correspondent aux probabilités pour un pixel d'intensité $I(X)$ de l'image de se trouver à l'intérieur ou à l'extérieur du contour.

- 8- Procédé de détection de contours selon la revendication 6 dans lequel le modèle paramétrique est un modèle de cercle, le jeu de paramètres associé à ce modèle paramétrique comprenant alors 3 paramètres.

- 9- Procédé de détection de contours selon la revendication 6 dans lequel le modèle paramétrique est un modèle d'ellipse, le jeu de paramètres associé à ce modèle paramétrique comprenant alors 5 paramètres.
- 5 10- Procédé de détection de contours selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel le meilleur contour (604) parmi les N contours candidats optimisés (600, 601, 602, 603) est celui pour lequel l'énergie $E(C)$ a la valeur la plus faible.
- 10 11- Procédé de détection des contours intérieurs et extérieurs de l'iris d'un œil caractérisé en ce que le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes est appliqué une première fois pour la détection du contour intérieur et une seconde fois pour la détection du contour extérieur.