

Reconnaissance automatique des empreintes digitales.

Computer Vision



MASTER IPS

Réalisé par :

MOUTAOUAKIL Kaoutar

MOUTTAKI ALLAH Oumayma



جامعة محمد الخامس بالرباط
Université Mohammed V de Rabat

Introduction.....	3
Définition.....	3
Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?.....	3
Qu'est-ce que la reconnaissance automatique des empreintes digitales ?	4
Caractéristiques d'empreinte digitale.....	5
Techniques de Correspondance d'empreintes digitales	7
Correlation-based matching	7
Minutiae-based matching.....	7
Pattern-based (or image-based) matching.....	8
Théorie et informations sur l'implémentation	8
Ridge Orientation.....	8
Image Enhancement.....	10
Normalization	11
Image Binarization	11
Filtering.....	12
Thinning.....	14
Minutiae Extraction.....	16
Minutiae Matching.....	17
Résumé des résultats de chaque étape.....	19
Références	20

Introduction

Le processus automatisé permettant de déterminer si deux empreintes digitales humaines correspondent est connu sous le nom de reconnaissance d'empreintes digitales. L'empreinte digitale est l'un des différents types de données biométriques utilisées pour identifier les personnes et confirmer leur identité. Les empreintes digitales sont utilisées depuis plus d'un siècle en raison de leur individualité et de leur constance dans le temps ; plus récemment, l'automatisation a été rendue possible par les progrès de la puissance de calcul. La simplicité avec laquelle ils peuvent être obtenus naturellement, le grand nombre de sources (dix doigts) accessibles pour la collecte, et le fait que les forces de l'ordre et l'immigration les utilisent et les collectent depuis longtemps rendent l'identification par empreintes digitales populaire.

Le traitement d'image numérique est un processus de manipulation d'images dans un ordinateur numérique. Le traitement de ces photos peut être accompli en créant un algorithme informatique. Il s'agit d'une technique fréquemment utilisée pour des tâches telles que l'extraction de caractéristiques, l'identification de motifs, la segmentation et la morphologie dans les images numériques.

Définition

Qu'est-ce qu'une empreinte digitale ?

Le motif caractéristique sur un doigt crée une empreinte digitale. C'est une impression créée par des crêtes de frottement sur les pouces et la peau. Ils ont été utilisés pour l'identification pendant très longtemps en raison de leur immuabilité et de leur unicité. Le terme "immutabilité" décrit le motif sur chaque doigt comme étant constant et immuable. L'individualité d'une empreinte digitale peut être identifiée par son motif de crêtes et de sillons ainsi que par des traits appelés minuties, qui sont certains endroits aberrants sur les crêtes. L'individualité est définie comme le caractère unique des détails de la crête d'une personne à l'autre. Cependant, une étude approfondie sur l'identification des empreintes digitales a démontré que les points de minuties plutôt que les crêtes sont ce qui sépare les empreintes digitales.

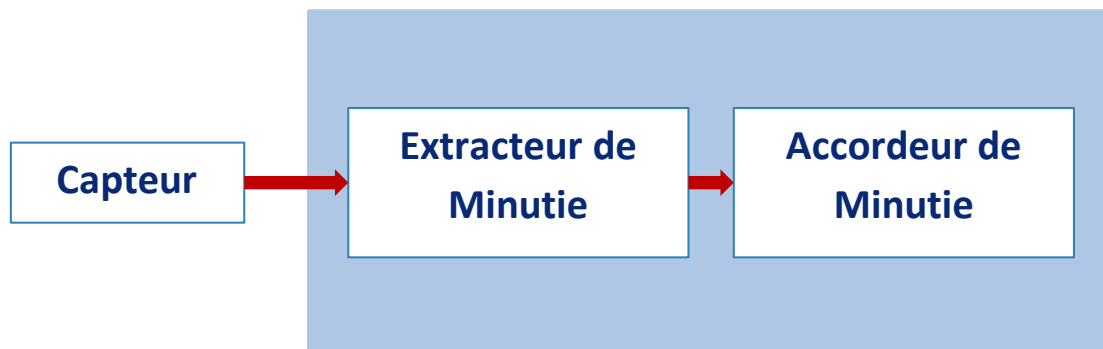


Qu'est-ce que la reconnaissance automatique des empreintes digitales ?

Le processus automatisé de vérification ou d'identification d'un individu basé sur la comparaison de deux empreintes digitales est connu sous le nom de reconnaissance d'empreintes digitales. C'est l'une des méthodes biométriques les plus connues, et c'est de loin la méthode biométrique la plus utilisée pour l'identification du système. Par rapport à d'autres données biométriques, la reconnaissance des empreintes digitales a une utilisation et une acceptabilité plus établies, est plus simple à obtenir et a plusieurs sources sur chaque personne. Tous ces facteurs contribuent à sa popularité.

La reconnaissance d'empreintes digitales fonctionne en examinant un doigt appuyé contre une surface lisse. Les crêtes (ou stries, ce sont les lignes en contact avec une surface au toucher) et les vallées du doigt sont scannées, et une collection d'emplacements uniques où les crêtes et les vallées se rencontrent ou se séparent sont appelées minuties. Ces petits détails sont ce que compare le système de

reconnaissance d'empreintes digitales. Les creux (minuties) et les crêtes sur les pointes de surface d'un doigt humain sont utilisés pour identifier une personne.

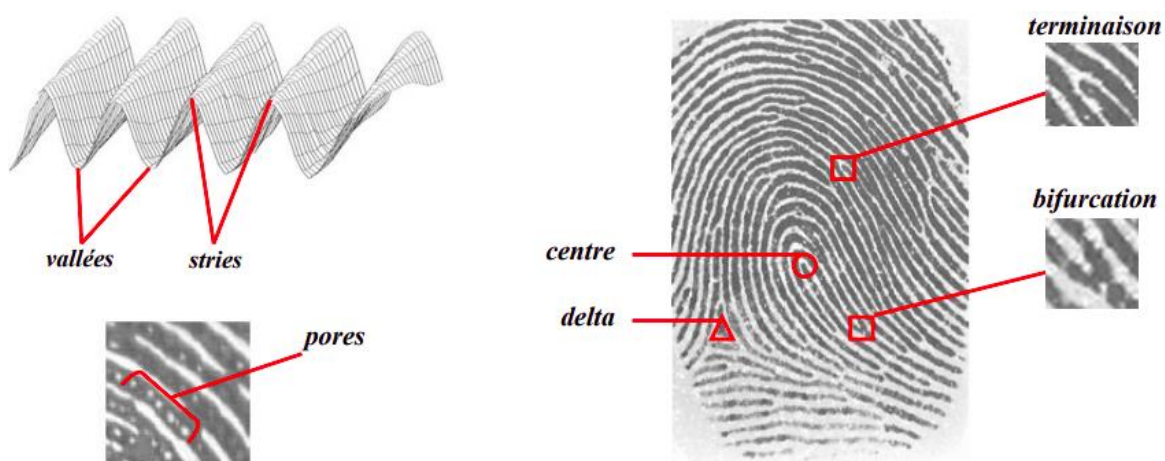


Caractéristiques d'empreinte digitale

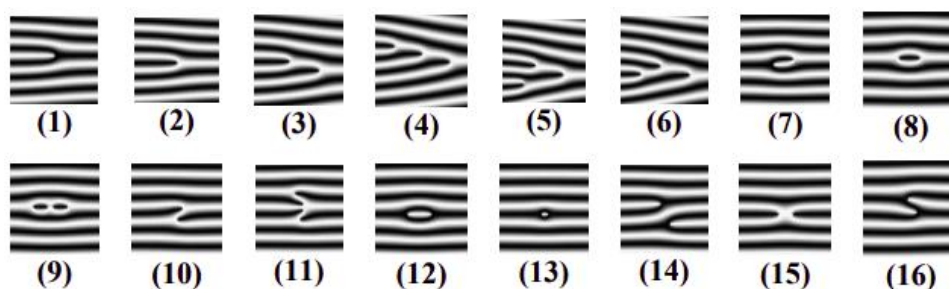
Une empreinte digitale est constituée d'un ensemble de lignes localement parallèles formant un motif unique pour chaque individu.

Chaque empreinte possède un ensemble des éléments qui permettent de différencier deux empreintes digitales ayant le même motif :

- Noyau ou centre : lieu de convergences des stries.
- Delta : lieu de divergences des stries.
- Minuties : points d'irrégularité se trouvant sur les lignes capillaires.

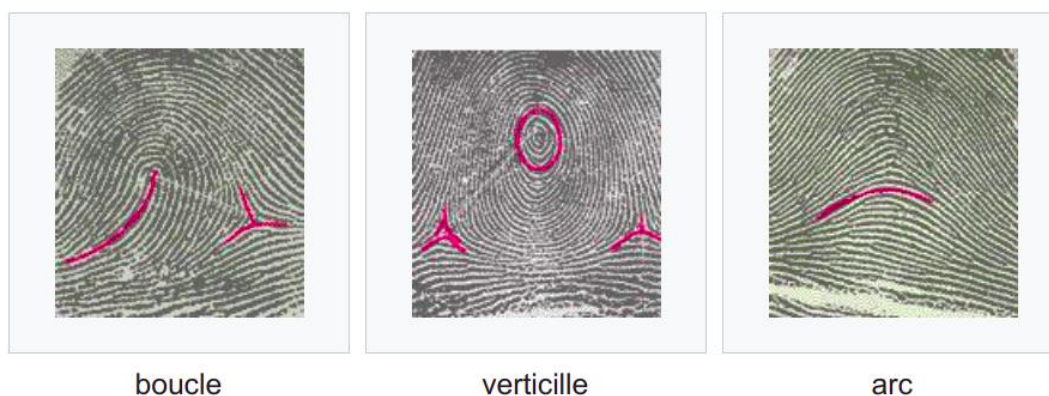


Une étude a montré l'existence de seize types de minuties différentes mais en général les algorithmes ne s'intéressent qu'aux bifurcations et terminaisons



1	termination	9	boucle double
2	bifurcation simple	10	pont simple
3	bifurcation double	11	pont jumeau
4	bifurcation triple I	12	intervalle
5	bifurcation triple II	13	point isolé
6	bifurcation triple III	14	traversée
7	crochet	15	croisement
8	boucle simple	16	tête bêche

La position et le nombre de centres et de deltas permettent de classer les empreintes en catégories selon leur motif général. On peut répertorier trois grandes familles d'empreintes : arches ou tentes, boucles à droite ou boucles à gauche, spires ou verticilles ou tourbillons.



En effet, il a été démontré que l'empreinte digitale se forme au cours du troisième mois de vie fœtale ; le schéma général est influencé par des gènes héréditaires, mais l'apparition de détails (minuties) est accidentellement créée par des pressions variables aléatoires sur les surfaces tactiles. L'ensemble formé par l'agencement des points singuliers constitue un motif unique pour chaque individu. Pour cette raison, chaque personne a une empreinte digitale unique. De plus, une fois créées, les empreintes digitales restent constantes tout au long de la vie d'une personne ; ces

deux caractéristiques se combinent pour faire des empreintes digitales une méthode d'identification très efficace.

Techniques de Correspondance d'empreintes digitales

Les nombreuses méthodes de correspondance d'empreintes digitales peuvent être grossièrement divisées en trois types.

Correlation-based matching

C'est une mesure de similarité d'image. Afin de compenser les variations de luminosité, de contraste, d'épaisseur de crête, etc.

Deux images d'empreintes digitales sont superposées et la corrélation entre les pixels correspondants est calculée pour différents alignements (divers déplacements et rotations).

La corrélation croisée normalisée à moyenne nulle (Zero Mean Normalized Cross Correlation - ZNCC) peut être utilisée, qui est un nombre entier que vous pouvez obtenir lorsque vous comparez deux images en niveaux de gris (grayscale).

Minutiae-based matching

La méthode la plus courante et la plus couramment appliquée, elle sert de base aux comparaisons d'empreintes digitales des examinateurs d'empreintes digitales.

Les détails des deux empreintes digitales sont séparés et enregistrés sous forme d'ensembles de points dans un plan bidimensionnel.

Trouver l'alignement entre le modèle et les ensembles de minuties d'entrée qui produit le plus d'appariements de minuties est l'essence même de la correspondance basée sur les minuties.

Pattern-based (or image-based) matching

Les algorithmes basés sur des modèles comparent les trois modèles d'empreintes digitales fondamentaux (arche, verticille et boucle) entre une empreinte digitale candidate et un modèle précédemment stocké. Les photos doivent être orientées dans le même sens pour que cela fonctionne. Pour ce faire, l'algorithme se concentre sur un point particulier de l'image de l'empreinte digitale. Le type, la taille et l'orientation des motifs à l'intérieur de l'image d'empreinte digitale alignée sont contenus dans le modèle dans un procédé basé sur des motifs. Pour évaluer leur correspondance, la photo d'empreinte digitale du candidat est visuellement comparée au modèle.

Nous avons utilisé une approche d'appariement basée sur les détails dans notre projet. Cette stratégie a fait l'objet de recherches approfondies et sert de cadre aux solutions de reconnaissance d'empreintes digitales qui sont maintenant sur le marché.

Théorie et informations sur l'implémentation

Ridge Orientation

La technique de détermination de l'angle des crêtes sur toute l'image est connue sous le nom d'orientation des crêtes. Pour un bloc $W \times W$, les orientations des crêtes sont calculées par bloc. W est généralement égal à 16.

Le calcul des gradients à chaque pixel de l'image est la première étape de l'orientation des crêtes. À l'aide de l'opérateur de Sobel, les gradients $G_x(i,j)$ et $G_y(i,j)$ sont déterminés. Voici l'opérateur de Sobel :

$$G_x(i,j) = ((A_2 + K A_3 + A_4) - (A_0 + K A_7 + A_6)) / (K+2)$$

$$G_y(i,j) = ((A_0 + K A_1 + A_2) - (A_6 + K A_5 + A_4)) / (K+2)$$

Où $K=2$ pour l'opérateur de Sobel. Les significations des pixels A_i sont données comme suit :

A_0	A_1	A_2
A_7	$F(j,k)$	A_3
A_6	A_5	A_4

L'étape suivante dans l'orientation de crête consiste à calculer l'angle de crête pour un bloc $W \times W$ en utilisant les valeurs de gradient de chacun de ces pixels comme suit :

$$\theta_o = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^W 2G_x(i,j)G_y(i,j)}{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^W (G_x^2(i,j) - G_y^2(i,j))} \right)$$

En raison de la présence de bruit, de structures de crêtes et de vallées corrompues etc. dans l'image d'entrée, l'orientation de crête locale estimée $q(i, j)$, peut ne pas toujours être correcte. Étant donné que l'orientation locale de la crête varie lentement dans un voisinage local où aucun point singulier n'apparaît, un filtre passe-bas peut être utilisé pour modifier l'orientation incorrecte de la crête locale. Afin d'effectuer le filtrage passe-bas, l'image d'orientation doit être convertie en un champ vectoriel continu, qui est défini comme suit :

$$\Phi_x(i, j) = \cos(2\theta(i, j)),$$

$$\Phi_y(i, j) = \sin(2\theta(i, j)),$$

Ce champ vectoriel continu est passé à travers un filtre passe-bas de type gaussien afin d'obtenir l'image d'orientation améliorée. Enfin, l'orientation locale est calculée à partir du champ vectoriel filtré en utilisant la formule suivante :

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\Phi'_y(i, j)}{\Phi'_x(i, j)} \right)$$

Image Enhancement

Implications d'une mauvaise qualité d'image :

- Un nombre important de minuties fictives peut être généré.
- Un grand pourcentage de minuties réelles peut être ignoré.
- Des inexactitudes importantes dans leur localisation (position et orientation) peuvent survenir.

L'algorithme d'amélioration améliore la visibilité des caractéristiques de la crête et de la vallée dans les images d'empreintes digitales. L'algorithme d'amélioration comprend les étapes suivantes :

- **Normalisation** : Une image normalisée est une image dans laquelle les pics et les vallées sont clairement distinguables.
- **Estimation de l'orientation locale** : L'orientation des crêtes dans chaque bloc de la taille spécifiée est estimée à l'aide de l'image d'empreinte digitale normalisée.
- **Estimation de la fréquence** : La fréquence dans chacun des blocs de l'image est déterminée à l'aide de l'image normalisée et de l'image d'orientation.

- **Filtrage** : Pour distinguer clairement les crêtes et les vallées, une banque de filtres Gabor réglés sur l'orientation et la fréquence locales de la crête est utilisée pour filtrer l'image, réduisant ainsi la possibilité de fausses minuties.

Normalization

Nous avons utilisé l'égalisation d'histogramme de base pour la normalisation, ce qui améliore le contraste de l'image en modifiant les valeurs de l'image d'empreinte digitale.

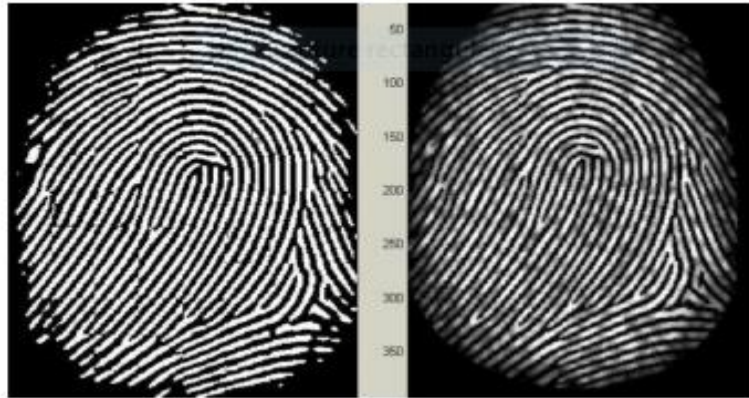


Image Binarization

La binarisation d'image est le processus de conversion d'une image grise 8 bits en une image 1 bit avec des crêtes à 0 valeur et des sillons à 1 valeur. Après la chirurgie, les crêtes de l'empreinte digitale sont soulignées en noir, tandis que les sillons sont surlignés en blanc.

Pour binariser l'image d'empreinte digitale, une approche de binarisation localement adaptative est utilisée.

L'image est divisée en morceaux de 16×16 pixels en utilisant cette approche. Si la valeur d'un pixel est supérieure à la valeur d'intensité moyenne du bloc actuel auquel le pixel appartient, elle est définie sur 1.



Filtering

Les vagues de forme sinusoïdale des crêtes et des vallées varient lentement dans une orientation constante locale. Par conséquent, un filtre passe-bande qui est accordé à la fréquence correspondante et l'orientation peut éliminer efficacement le bruit indésirable et préserver la véritable crête et structures de vallée.

Les filtres Gabor ont à la fois une sélectivité de fréquence et d'orientation, ainsi qu'une excellente résolution conjointe dans les domaines spatial et fréquentiel. En conséquence, les filtres Gabor peuvent être utilisés comme filtres passe-bande pour réduire le bruit tout en préservant les caractéristiques réelles de la crête/vallée.



La structure des filtres Gabor est la suivante :

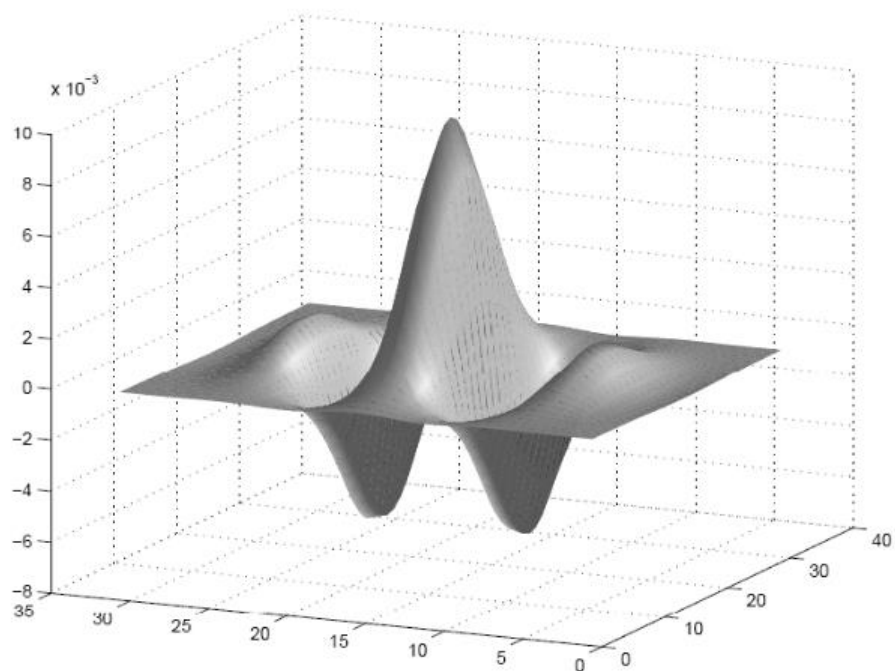
$$G(x, y, \theta, f) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2} \right)} \cos(2\pi f x_{\theta})$$

$$\text{avec } x_{\theta} = x \cos \theta + y \sin \theta$$

$$\text{et } y_{\theta} = y \cos \theta - x \sin \theta$$

La fréquence f requise par le filtre Gabor est considérée comme constante dans notre implémentation, et les entrées angulaires sont données par la carte d'orientation. C'est à ce moment-là que la carte d'orientation est utile. Une valeur de fréquence de $1/7$ a donné de bons résultats.

Le filtre Gabor ressemble à ceci dans le domaine spatial :



La binarisation de l'image est nécessaire pour obtenir l'image de sortie vue dans l'image améliorée ci-dessus. Pour ce faire, utilisez la fonction MATLAB intégrée `im2bw` et définissez le seuil sur 0,3. Cette valeur a été découverte par essais et erreurs.

Thinning

Les algorithmes d'amincissement parallèle sont le deuxième type d'algorithmes d'amincissement séquentiel. Le choix de chaque suppression de pixel dans les algorithmes d'amincissement parallèle dépend des résultats de l'itération précédente.

L'amincissement parallèle, comme les méthodes séquentielles, considère généralement une région 3×3 entourant le pixel actuel. Sur la base des pixels dans le voisinage, un ensemble de critères de suppression est implémenté. Étant donné que les algorithmes entièrement parallèles ont du mal à préserver la connectivité, ils sont souvent divisés en sous-itérations dans lesquelles seules des parties des pixels sont évaluées. En conséquence, ils sont souvent divisés en sous-itérations dans lesquelles seuls des sous-ensembles de pixels sont examinés pour suppression. Les méthodes d'amincissement non itératives ne regardent pas les pixels individuels.

Les approches non pixellisées qui sont courantes incluent les transformations d'axe médian, les transformations de distance et le suivi de ligne pour déterminer les lignes d'axe.

Les méthodes de suivi de ligne trouvent les points médians des espaces noirs dans une image, puis les lient pour construire un squelette. Ceci est rapide à calculer mais produit des squelettes bruyants. Il a été proposé que les humains entreprennent naturellement l'amincissement d'une manière similaire.

Une autre méthode de détermination de l'axe consiste à suivre les contours des objets, en suivant simultanément les contours de chaque côté de l'objet, un axe continu peut être calculé.

Le squelette de l'image est formé à partir de ces lignes médianes connectées.

Les transformations d'axe médial utilisent souvent des images de niveau gris où l'intensité en pixels représente la distance à la limite de l'objet. Les intensités de pixels sont calculées en utilisant la distance.

Dans la figure ci-dessous, l'intensité maximale des pixels augmenterait vers l'obscurité lignes au centre des cercles. Notez qu'il existe d'autres méthodes de calcul médial des transformations d'axe.

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

➡

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	2	2	2	2	1	0
0	1	2	3	3	2	1	0
0	1	2	2	2	2	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Pour mieux comprendre la méthode d'amincissement utilisée, nous la décrirons étape par étape.

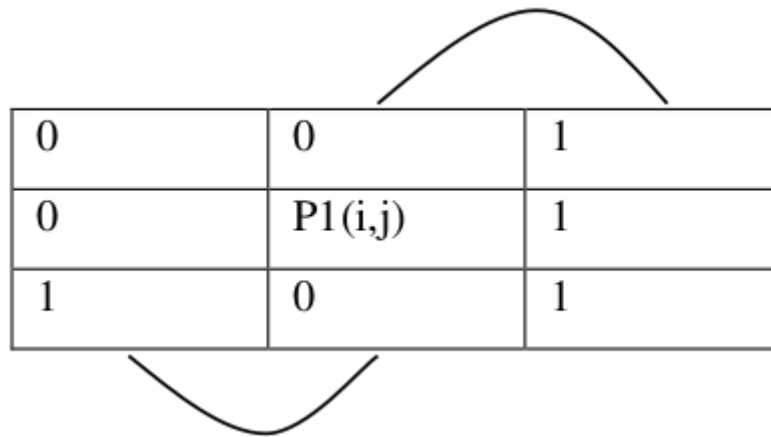
Les variables suivantes sont utilisées dans le pseudo-code de l'algorithme. 'I' désigne l'image binaire originale avec des pixels noirs réglés sur « 0 » et des pixels blancs réglés sur « 1 ». L'objet de l'image est composé de pixels blancs réunis J et K sont des images d'espace réservé qui seront utilisées dans chaque itération de la procédure. 'J' représente la (n-1)ème sortie d'itération, et 'K' représente la sortie d'itération actuelle, ou nième.

Le pixel actuel considéré est désigné par P(i).

P9 (i-1, j-1)	P2 (i-1, j)	P3 (i-1, j+1)
P8 (i, j-1)	P1 (i, j)	P4 (i, j+1)
P7 (i+1, j-1)	P6 (i+1, j)	P5 (i+1, j+1)

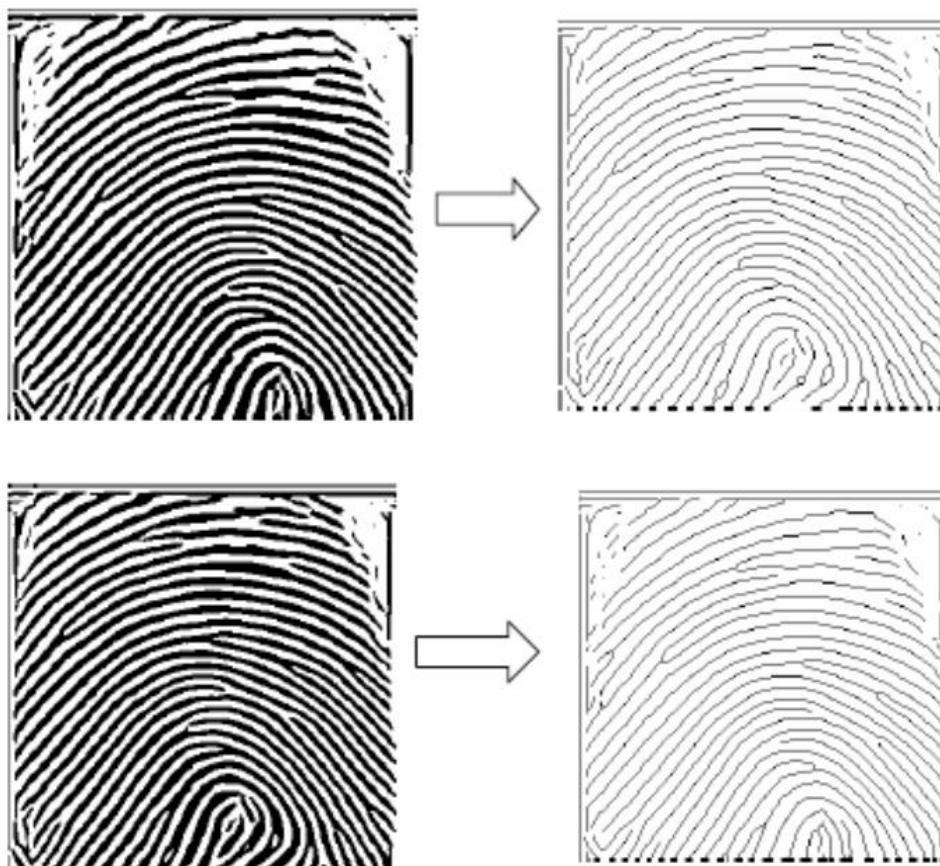
Deux autres variables utilisées dans l'algorithme sont A et B. A du pixel P1 est défini comme suit :

SOMME(P2... P9). B du pixel P1 est le nombre de transitions de 0 à 1 dans le sens des aiguilles d'une montre de P9 à lui-même. Par exemple, supposons que nous ayons les pixels affichés ci-dessous serait égal à 2 puisqu'il y a deux transitions de 0 à 1 dans le sens des aiguilles d'une montre.



L'algorithme s'exécute en 2 sous-itérations. Différents critères sont utilisés tout au long de chaque sous-itération pour déterminer si un pixel sera effacé ou non.

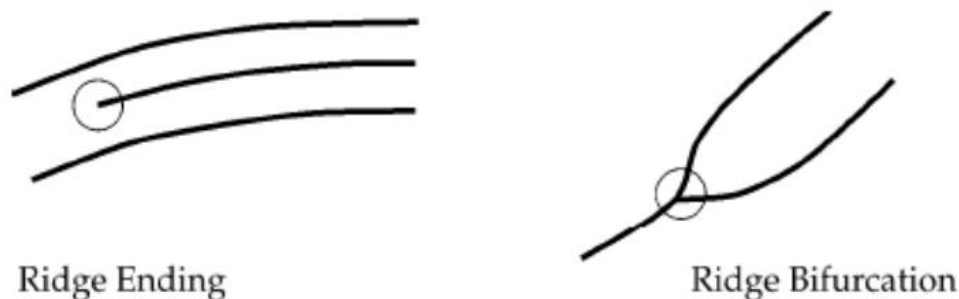
Résultats de l'algorithme d'amincissement :



Minutiae Extraction

Notre système d'identification et de validation des empreintes digitales est basé sur la mise en correspondance de la structure topologique de petits points. On prend

simplement en compte les deux types de bifurcations et d'extrémités de ridge dans la figure suivante :



Il est simple d'extraire les détails de la carte de crête amincie avec précision d'une image d'empreintes digitales. Chaque pixel de crête sur l'image amincie est entouré et soumis à la règle suivante, donc tout ce que nous avons à faire est de compter combien il y en a pour pouvoir attribuer des points de minuties à ces pixels.

Cependant, l'image d'empreintes digitales obtenue n'est jamais parfaite à cause du bruit, des contraintes de capture d'image, des déformations de la peau, etc. Si l'on se contente d'utiliser le procédé précité d'identification de minuties, beaucoup de minuties fictives apparaîtront. Pour résoudre le problème, un certain nombre de stratégies ont été proposées, et nous avons adopté les critères suivants pour éliminer la majorité des détails erronés apportés par le bruit dans l'image amincie :

- Si plusieurs minuties forment un cluster dans une petite région, supprimez-les toutes sauf celle la plus proche du centre du cluster
- Si deux minuties sont situées suffisamment près l'une de l'autre, mais qu'il n'y a pas de crêtes entre elles, supprimez-les toutes les deux

En plus du bruit dans l'image de l'empreinte digitale, l'image amincie peut ne pas être idéale. Si tel est le cas, l'extraction des minuties peut ne pas donner les résultats corrects.

Minutiae Matching

La correspondance des minuties est l'étape qui vient après l'extraction des minuties et c'est ici que nous faisons correspondre les minuties obtenues à partir de deux

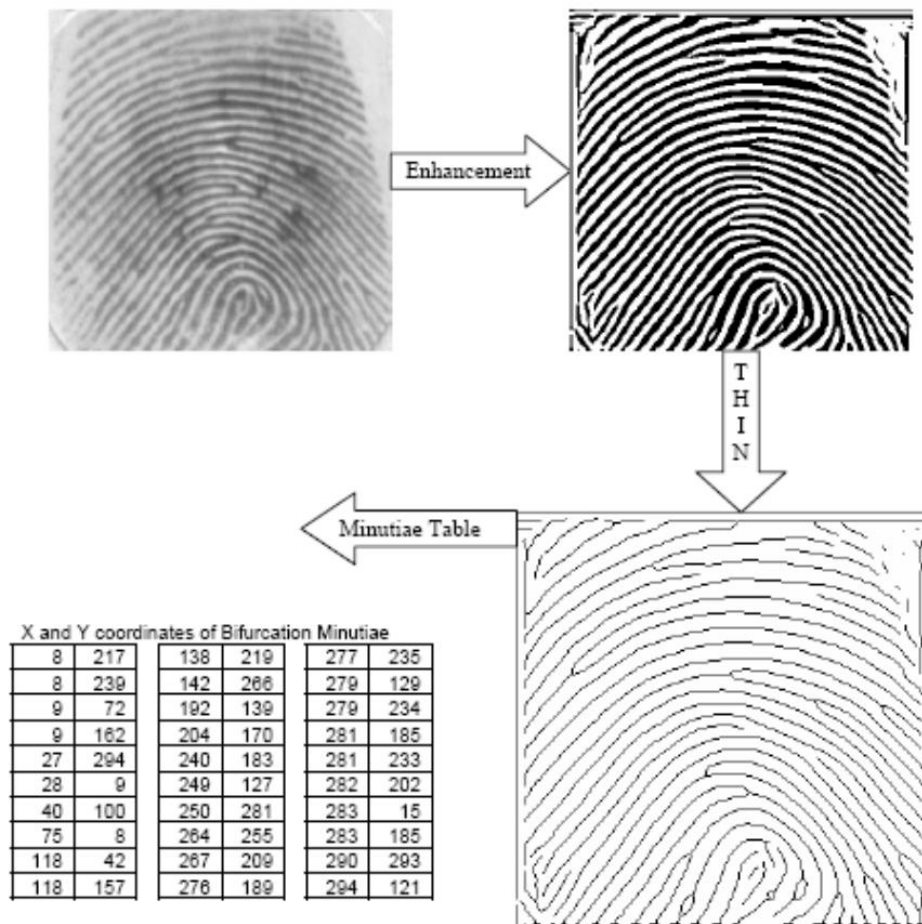
échantillons d'images d'empreintes digitales et testons si elles proviennent de la même empreinte digitale ou non.

Cependant, une étape cruciale qui doit être effectuée avant de pouvoir utiliser la force brute et faire correspondre les détails sur deux images est l'alignement des images. L'alignement est nécessaire pour que nous correspondions correctement aux images. Il faut également tenir compte des différences de positionnement des minuties dues aux déformations plastiques du doigt. Les algorithmes répandus pour la correspondance des minuties incluent soit l'utilisation de détails de crêtes sur lesquelles des minuties sont présentes, soit utilisent la transformée de Hough. Ces méthodes et la plupart des autres méthodes sont difficiles à mettre en œuvre et plusieurs fonctions compliquées doivent être mises en œuvre.

Par conséquent, nous avons décidé d'implémenter un algorithme d'appariement de minuties inspiré des techniques impliquant le calcul de caractéristiques de minuties locales et globales.

Cet algorithme regroupait toutes les minuties en triplets de minuties. Pour chacun de ces triplets de minuties, nous avons stocké la distance de l'une des minuties aux deux autres minuties et l'angle formé entre ces deux distances.

Résumé des résultats de chaque étape



Conclusion

Ce projet a combiné de nombreuses méthodes pour construire un extracteur de minutie et un matcher de minutie. Un programme de codage avec MATLAB passant par toutes les étapes de la reconnaissance d'empreintes digitales est construit. cela est utile pour comprendre les procédures de reconnaissance des empreintes digitales, et démontrer les enjeux clés de la reconnaissance des empreintes digitales.

La mise en œuvre ci-dessus était un effort pour comprendre comment la reconnaissance d'empreintes digitales est utilisée comme une forme de biométrie pour reconnaître l'identité des êtres humains. Il comprend toutes les étapes depuis l'extraction des minuties des empreintes digitales jusqu'à la mise en correspondance des minuties qui génère un score de correspondance. Diverses techniques standard sont utilisées dans les étapes intermédiaires du traitement.

Un défi majeur dans la reconnaissance des empreintes digitales réside dans le prétraitement des images d'empreintes digitales avec une mauvaise qualité, ce qui ajoute également au faible taux de vérification.

Références

Livre : Advanced Biometric Technologies

<http://www.mysti2d.net/polynesie2/ETT/C051/23/SerruresBioMes/index.html?Article2.html>

http://ahistace.chez-alice.fr/documents/rapport_gabor.pdf

<https://ch.mathworks.com/help/images/>