

Cours MATLAB - 24.11.2009 - Michele Volpi

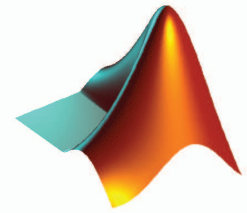
michele.volpi@unil.ch



Cours MATLAB

Traitement d'Image

Opérateurs Morphologiques



1 Introduction

Le domaine du traitement d'image (en anglais Image Processing) est composé de toute technique visant à élaborer et analyser quantitativement des images. Aujourd'hui, ces techniques sont entièrement dédiées aux analyses et au traitement d'images digitales. Due à ce binôme très strict entre image et ordinateur, les techniques d'Image Processing sont regroupées dans le domaine des sciences informatiques, plus précisément dans la famille du traitement du signal.

Des exemples classiques de traitement d'image sont la mesure d'indicateurs statistiques de texture (distribution des valeurs des pixels; corrélation, variance, moments angulaires,...), le filtrage d'image (filtres morphologiques, convolution, détecteurs d'angles, wavelets,...) et la transformation d'image (composantes principales, fusion d'images, extraction de caractéristiques,...).

Comme d'autres logiciels scientifiques, MATLAB offre des fonctions spécifiques pour les tâches de traitement d'image dans la Toolbox d'Image Processing (regroupement de fonctions spécifiques). Pratiquement, les techniques de traitement d'images consistent en opérations sur des matrices deux dimensionnelles ($M \times N$), qui correspondent à des images en échelle de gris; matrices cubiques ($M \times N \times 3$) qui correspondent à des images en couleurs (RGB) et à des hypercubes ($M \times N \times T$) ou d'autres informations sur les couleurs (réflectance ou luminance, quantifié en fourchettes de longueurs d'ondes réfléchies par les objets) sont enregistrées en chaque élément $t \in T$ de l'image \mathbf{I} (images multispectrales, hyperspectrales, ultraspectrales).

Dans ce TP nous allons nous familiariser avec les technique de morphologie mathématique et les opérateurs de filtrage qui leur correspondent (érosion, dilatation, ouverture, fermeture et ouverture / fermeture géodésiques (filtres de reconstruction)).

2 Les Filtres Morphologiques

2.1 Érosion et Dilatation

L'érosion (en MATLAB, `imerode`) et la dilatation (`imdilate`) sont deux techniques de base appartenant au domaine de la morphologie mathématique issus de la théorie des sets visant à filtrer une image. Ce groupe d'opérateurs se base sur le filtrage des hautes et basses valeurs de l'image \mathbf{I} en appliquant un élément structurant \mathbf{B} (filtre). L'image érodée / dilatée par l'élément structurant \mathbf{B} est l'ensemble des pixels $x \in \mathbf{I}$ (souvent noté \mathbf{I}_B) tel que \mathbf{B} soit *entièrement contenu* (érosion) ou tel que *le centre de l'élément* soit contenu (dilatation) dans l'objet considéré. Le pixel filtré \hat{x} prend la valeur booléenne 1 si l'élément est entièrement contenu (ou partialement pour la dilatation) ou 0 sinon, pour le cas de base ou on considère des images en 1 bit (binaires).

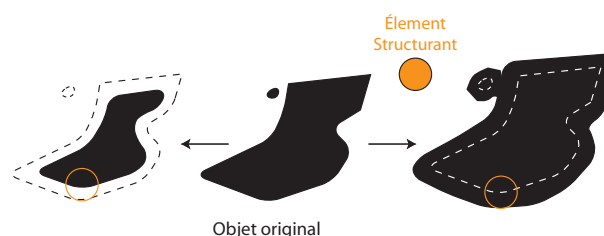


Figure 1.1: érosion (gauche) et dilatation (droite) de l'objet binaire en utilisant un élément structurant B circulaire.

Plus précisément érosion $\epsilon_B(\mathbf{I})$ et dilatation $\delta_B(\mathbf{I})$ sont définis (pour une image binaire en noir et blanc) comme:

$$\epsilon_B(\mathbf{I}) = \mathbf{I} \ominus \mathbf{B}, \quad (1.1)$$

$$\delta_B(\mathbf{I}) = \mathbf{I} \oplus \mathbf{B}. \quad (1.2)$$

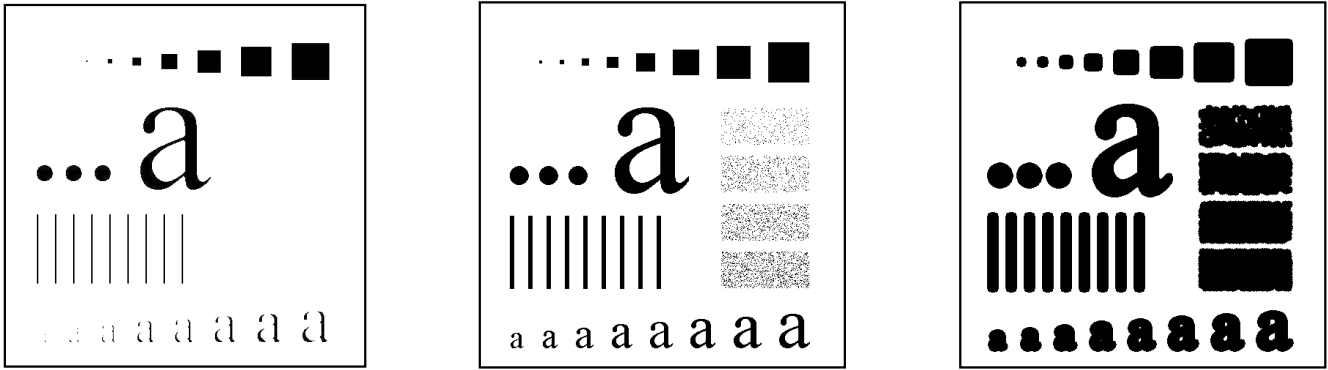


Figure 1.2: Érosion (gauche) et dilatation (droite) des objets originaux (centre) en utilisant un élément structurant B circulaire de rayon 2 (lx) et 5 (dx) pixels.

L'extension de ces techniques aux cas de l'image à échelle de gris, nécessite une adaptation par rapport à l'assignation des nouvelles valeurs de l'image filtrée. Si avant il s'agissait d'opérations booléennes, ces opérations deviennent arithmétiques assignant la valeur maximale (dilatation) ou minimale (érosion) contenue dans la surface de l'élément structurant au pixel filtré \hat{x} sur lequel B est centré. On définit l'érosion $\epsilon_B(\mathbf{I})$ et dilatation $\delta_B(\mathbf{I})$, pour une image à échelle de gris, comme suit:

$$\epsilon_B(\mathbf{I}) = \inf(\mathbf{I}_B), \quad (1.3)$$

$$\delta_B(\mathbf{I}) = \sup(\mathbf{I}_B). \quad (1.4)$$



Figure 1.3: Érosions (vers gauche) et dilations (vers droite) de l'image originale (centre) en utilisant un élément structurant B circulaire de rayon [2, 4, 6, 8] pixels. (Image example de MATLAB, 'cameraman.tif')

D'un point de vue purement pratique, l'érosion (en prenant le minimum de valeurs de gris contenu dans l'élément B) efface les éléments clairs contenus dans la taille de l'élément. Au contraire, la dilatation efface les éléments sombres de l'image. (Rappel: plus une valeur est grande, plus elle tend vers le blanc!)

Érosion et Dilatation sont les deux opérations de base dans le domaine de la morphologie mathématique. Par la suite, on verra comment la combinaison ou l'itération de ces éléments nous amènent à obtenir d'autres filtres et opérateurs très utilisés lors de l'extraction d'information structurale d'une image ou bien lors d'un lissage, ou encore pour éliminer des objets dans l'image.

Dans MATLAB ces deux opérations sont contenues dans la toolbox de traitement d'image:

`IM2 = imdilate(I, SE)`: I l'image originale; SE l'élément structurant B ($SE = \text{strel}(\text{type}, \text{size})$)

`IM2 = imdilate(I, NHOOD)`: I l'image originale; $NHOOD$ matrice binaire spécifiant le voisinage de B

`IM2 = imerode(I, SE || NHOOD)` fonctionne de même manière.

Les deux fonctions donnent en sortie l'image filtrée $IM2$, avec la même classe de l'image en entrée. Les classes acceptées sont toutes classes acceptées pour une image valable (`logical`, `uint8`, `uint16`, ...).

3 Ouverture et Fermeture

Les opérateurs ouverture et fermeture sont une combinaison des opérateurs élémentaires qu'on a vu au chapitre précédent appliqués en série en respectant un certain ordre. La définition de ouverture ($\gamma_B(\mathbf{I})$) et fermeture ($\phi_B(\mathbf{I})$), par un élément structurant B , est donnée par la combinaison de dilatation et érosion, comme suit:

$$\gamma_B(\mathbf{I}) = \delta_B(\epsilon_B(\mathbf{I})) = (\mathbf{I} \ominus \mathbf{B}) \oplus \mathbf{B} = \mathbf{I} \odot \mathbf{B}, \quad (1.5)$$

$$\phi_B(\mathbf{I}) = \epsilon_B(\delta_B(\mathbf{I})) = (\mathbf{I} \oplus \mathbf{B}) \ominus \mathbf{B} = \mathbf{I} \odot \mathbf{B}. \quad (1.6)$$

Pratiquement, ces opérateurs appliquent un filtrage externe ou interne à l'objet. Plus l'élément structurant \mathbf{B} est grand, plus la géométrie de l'objet (en termes d'angles et formes) sera uniformée. Un objet qui présente une géométrie régulière sera peu filtré par rapport aux autres. Plus \mathbf{B} est grand, plus les objets clairs ou sombres seront filtrés sur la base de leur tonalité et dimension. Avec ces types d'opérateurs, la forme de \mathbf{B} (le type de voisinage à considérer) est aussi très influente. Par la suite nous verrons des exemples. Ces deux opérateurs exploitent la combinaison de l'érosion et de la dilatation (dans un ordre défini), pour filtrer (et non éliminer comme on a vu auparavant) des parties sombres ou claires de l'image.



Figure 1.4: *Ouvertures (vers gauche) et fermetures (vers droite) de l'image originale (centre) en utilisant un élément structurant B circulaire de rayon $[2, 4, 6, 8]$ pixels.*

Ces deux opérations sont présentes en tant que fonctions indépendantes en MATLAB (I.P. Toolbox), mais lors de ce TP on ne les utilisera pas. À titre informatif, les fonctions sont:

IM2 = `imopen(IM,SE)`: IM image, SE él. struct. \mathbf{B} , IM2 image filtrée
IM2 = `imopen(IM,NHOOD)`: IM image, NHOOD voisinage de \mathbf{B} , IM2 image filtrée.
IM2 = `imclose(IM, SE || NHOOD)` fonctionne comme la précédente.

4 Ouverture et Fermeture Géodésique (Opening et Closing “by Reconstruction”)

Les filtres mentionnés auparavant ont une faiblesse remarquable: ils ne préservent pas la forme des objets présents dans l'image qu'on traite avec la croissance de \mathbf{B} . Dans les tâches de filtrage il est souvent utile d'avoir les contours des formes qui sont l'objet du filtrage. Différemment des opérateurs présentés, qui distribuent ou effacent des valeurs précises, les filtres géodésiques produisent une image filtrée avec les critères présentés mais contraignant l'opération dans les limites de l'objet lui-même et non \mathbf{B} . Ces filtres reproduisent itérativement l'image originale sur la base d'une image filtrée (\mathbf{I}_M ; Marker Image), dilatée ou érodée au départ, et ses subséquents filtrages.

Ouverture géodésique $\rho^\delta(\mathbf{I}_M)$ et fermeture géodésique $\rho^\epsilon(\mathbf{I}_M)$ sont définis, pour une image \mathbf{I} et son “marker” \mathbf{I}_M :

$$\rho^\delta(\epsilon_B(\mathbf{I})) = \rho^\delta(\mathbf{I}_M) = \min \{x_{\mathbf{I}_M}, \delta_B^k(\mathbf{I}_M) \mid \delta_B^k(\mathbf{I}_M) = \delta_B^{k-1}(\mathbf{I}_M)\}, \quad (1.7)$$

$$\rho^\epsilon(\delta_B(\mathbf{I})) = \rho^\epsilon(\mathbf{I}_M) = \max \{x_{\mathbf{I}_M}, \epsilon_B^k(\mathbf{I}_M) \mid \epsilon_B^k(\mathbf{I}_M) = \epsilon_B^{k-1}(\mathbf{I}_M)\}. \quad (1.8)$$

En deux mots, l'ouverture géodésique d'une image est donnée par la reconstruction d'une version dilatée de l'image (marqueur \mathbf{I}_M) en assignant, pour chaque pixel sur lequel l'élément structurant est centré (x), le minimum (équivalent à l'infimum) entre $x_{\mathbf{I}_M}$ (la valeur du pixel-centre de l'image originale) et $\delta_B^k(\mathbf{I}_M)$, la valeur des dilatations pour des pixels contenus dans \mathbf{B} à l'itération k . La fermeture géodésique, de façon opposée, assigne le maximum entre la valeur originale et les subséquentes itérations d'érosions (donc le supremum dans \mathbf{B}) de l'image à l'itération k . Ces filtres sont aussi connus comme filtres de reconstruction parce-que ce processus se fait jusqu'à quand l'image filtrée produite à l'itération k est égale a celle produite à l'itération $k - 1$.

Visuellement, ces opérateurs filtrent les objets claires et sombres selon la grandeur de l'élément structurant qu'on utilise au départ (qui nous définit la grandeur des objets à filtrer). Dans l'itération de reconstruction, on utilise toujours une connectivité \mathbf{B} d'ordre 8 (Figure 1.5). Ce type de connectivité est standard lors de l'application des filtres géodésiques, ainsi il est possible de reconstruire n'importe quel type de forme.

Pour que soit plus clair ce concept de reconstruction itérative, l'algorithme est donné (voir Algorithme 1).

Voyons maintenant des exemples. Ce type de filtrage donne, pour une image en noir et blanc, l'élimination des objets plus petits de l'élément structurant utilisé au départ (pour créer l' \mathbf{I}_M) en gardant la forme des autres objets

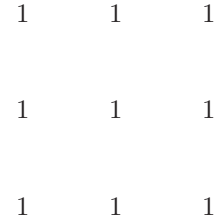
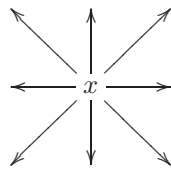


Figure 1.5: *Connectivité de type 8: visuelle (gauche) et matricielle (droite).*

Algorithme 1 Calculer $\rho^\delta(\mathbf{I}_M)$ et $\rho^\epsilon(\mathbf{I}_M)$

```

1: Input: Image  $\mathbf{I}$ 
2:  $\mathbf{I}_M = \epsilon_B(\mathbf{I})$ 
3: while  $\delta_B^k(\mathbf{I}_M) \neq \delta_B^{k-1}(\mathbf{I}_M)$  do
4:    $\mathbf{G} = \delta_B(\mathbf{I}_M)$ 
5:    $\mathbf{I}_F = \min(\mathbf{G}, \mathbf{I}_M)$ 
6:   if  $\mathbf{I}_F \neq \mathbf{I}_M$  then
7:      $\mathbf{I}_M \leftarrow \mathbf{I}_F$ 
8:   end if
9: end while
    
```

```

1: Input: Image  $\mathbf{I}$ 
2:  $\mathbf{I}_M = \delta_B(\mathbf{I})$ 
3: while  $\epsilon_B^k(\mathbf{I}_M) \neq \epsilon_B^{k-1}(\mathbf{I}_M)$  do
4:    $\mathbf{G} = \epsilon_B(\mathbf{I}_M)$ 
5:    $\mathbf{I}_F = \max(\mathbf{G}, \mathbf{I}_M)$ 
6:   if  $\mathbf{I}_F \neq \mathbf{I}_M$  then
7:      $\mathbf{I}_M \leftarrow \mathbf{I}_F$ 
8:   end if
9: end while
    
```

composant l'image. La "puissance" du lissage est donc contrôlée par la grandeur de l'élément structurant utilisé pour la première érosion ou dilatation. Comme dit auparavant, l'opérateur dans la boucle d'itération, prend en paramètre un élément structurant \mathbf{B} de connectivité 8.

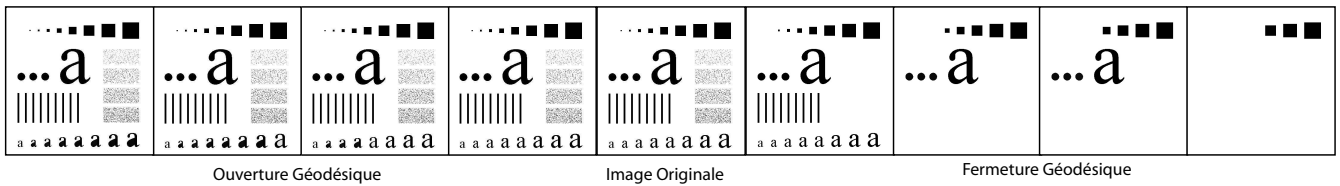


Figure 1.6: *Ouvertures (vers gauche) et fermetures (vers droite) géodésiques de l'image originale (centre) en utilisant un élément structurant B circulaire de rayon $[2, 4, 6, 10]$ pixels.*

Dans l'exemple (Figure 1.6) on a un exemple de filtrage géodésique en noir et blanc. La fermeture efface les éléments qui ne contiennent pas entièrement \mathbf{B} . Au contraire, l'ouverture remplit les zones blanches (assigne la valeur 1) qui sont contenues par un élément structurant, en ne modifiant aucune autre forme.

Pour une image à échelle de gris, ces opérateurs lissent les éléments qui composent le pixel selon le critère choisi. L'exemple à la Figure 1.7 montre comment les éléments plus ou moins uniformes de l'image (éléments du fond, visage, main) sont filtrés par rapport à leur dimension et à leur tonalité de gris.



Figure 1.7: *Ouvertures (vers gauche) et fermetures (vers droite) géodésiques de l'image originale (centre) en utilisant un élément structurant B circulaire de rayon $[2, 4, 6, 15]$ pixels.*

5 Morphologie Mathématique dans le Domaine de la Télédétection

Selon la résolution de l'image (taille réelle du pixel au sol) la variance *dans* un objet et celle *entre* les objets peut être plus ou moins élevée. Normalement, lors de l'analyse qualitative et quantitative d'une image, la variance est de préférence réduite de façon d'avoir des objets homogènes dans sa surface et une grande variance entre différents objets.

Ces opérateurs ont la capacité de lisser et de rendre uniforme plusieurs objets dans l'image et donc d'en changer les statistiques locales et globales selon différents besoins. Du point de vue pratique, ces filtres ont été créés pour traiter des images à échelle des gris, mais souvent en travaillant avec des images satellites, on dispose de plusieurs bandes spectrales. Or, l'assomption de base, pour des images ayant 3 ou 4 bandes (photo aériennes, QuickBird, Spot,...) le spectre est très contigu (visible et proche infrarouge), et, malgré des différentes distributions de valeurs selon la réflectance relative à chaque objet, les bandes nous montrent les mêmes objets pour chaque élément t (sous image à échelle de gris) de cette matrice $M \times N \times T$. Ce discours ne peut pas être fait lors de l'analyse d'images hyperspectrales / ultraspectrales captées avec un capteur qui enregistre plusieurs portions du spectre. Dans ces cas, il y a plusieurs aspects qui doivent être considérés pour garder l'intégrité sémantique de l'image (infrarouge thermique, microondes) qui peuvent fausser un ultérieur traitement (e.g. classification, régression pour estimation de paramètres biologiques, NDVI,...).

Les filtrages de base érosion et dilatation (Figure 1.8), agissent sur les éléments claires ou sombres.



Figure 1.8: *Érosions (vers gauche) et dilations (vers droite) de l'image originale (centre) en utilisant un élément structurant \mathbf{B} circulaire de rayon [2, 6, 10, 14] pixels.*

Les ouvertures et les fermetures, par contre nous donnent des images filtrées qui gardent les structures principales avec un niveau de lissage proportionnel soit à la taille de \mathbf{B} soit aux valeurs de gris plus ou moins grands pour chaque bande.

Dans le cas des opérateurs ouverture et fermeture, la forme et la taille de l'élément structurant jouent un rôle important sur l'effet du filtrage. Jusqu'à maintenant, nous avons utilisé qu'un disque de taille variable pour filtrer les images. Mais que se passe-t-il lors de l'utilisation de différentes formes?

Avec la fonction `SE = strel(type, parameters)` on peut initialiser \mathbf{B} avec différentes formes. Ici se trouve une courte liste du paramètre `type` qui caractérise la forme de l'élément structurant:

'arbitrary' → défini par l'utilisateur dans une matrice <code>NHOOD</code>	'disk' → disque de rayon R
'pair' → 2 cellules décalés, $[X \ Y]$ indique le saut	'rectangle' → rectangle de taille $[M \ N]$
'diamond' → diamant de rayon R	'line' → ligne de longueur R et de direction <code>DEG</code>
'periodicline' → ligne traitillé (périodique)	'square' → carré de taille R
	'octagon' → octogone de rayon R

Avec des éléments structurants \mathbf{B} de forme différente, le filtrage se fait avec des critères qui suivent la forme de l'élément. Dans la Figure 1.9 des exemples sont montrés. Dans 1.9(a), le filtrage est cohérent avec les angles d'un diamant (forme rhomboïdale), en ressortant les structures qui sont reliées avec les pistes de l'aéroport. En 1.9(b), un objet linéaire vertical, nous ressorte de l'information par rapport aux routes qui suivent cette direction. Dans le dernier cas (1.9(c)), un élément \mathbf{B} nous préserve la forme de champs circulaires, mais fournit de l'information "lissée" par rapport à l'image originale.

Si les opérateurs d'ouverture et de fermeture sont beaucoup utilisés, les plus répandus en absolus sont les opérateurs géodésiques. Le fait de préserver formes et contours en fait des opérateurs de filtrage très puissants. À titre d'exemple, ces opérateurs peuvent effacer des objets contenus dans l'image considérée, mais en ne modifiant pas la structure des éléments plus grands. Un exemple est montré dans la Figure 1.6 et 1.10.

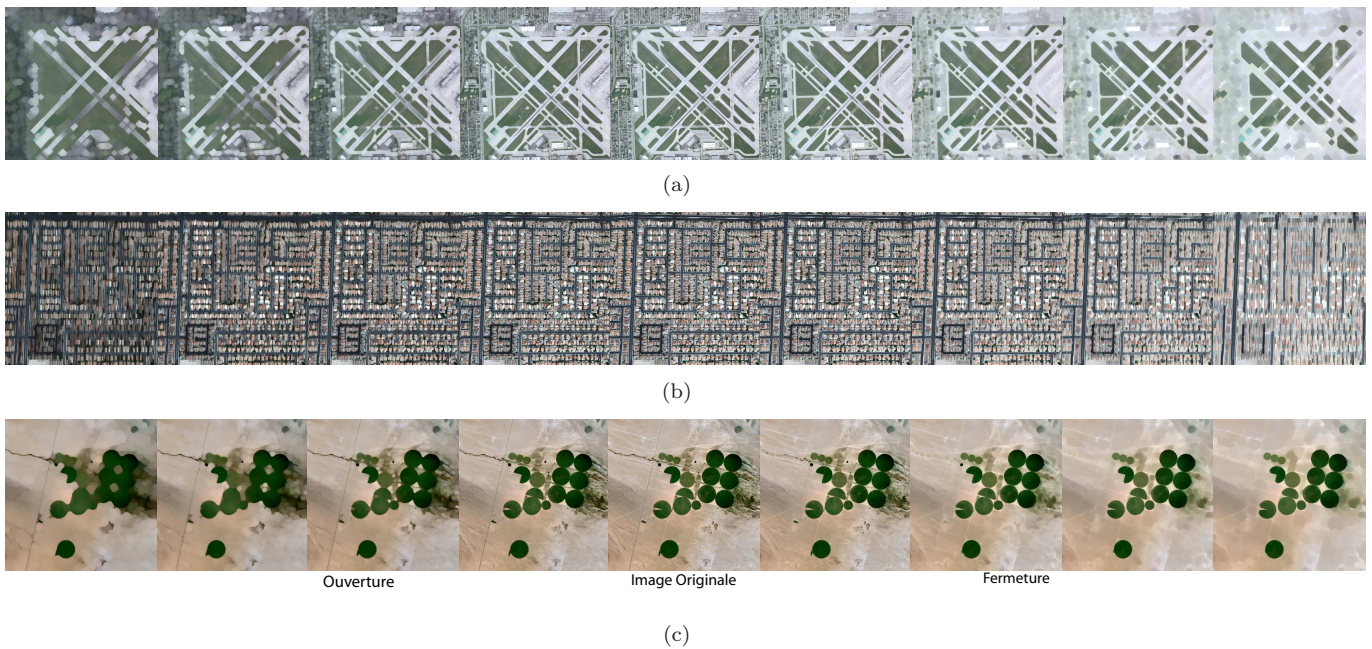


Figure 1.9: Ouvertures (vers gauche) et fermetures (vers droite) de l'image originale (centre) en utilisant un élément structurant B circulaire de rayon $[2, 6, 10, 15]$ pixels. Ici, les formes des éléments structurants utilisés sont, dans l'ordre, le diamant (a), la ligne verticale (b) et le cercle (c).



Figure 1.10: Ouvertures (vers gauche) et fermetures (vers droite) géodésiques de l'image originale (centre) en utilisant un élément structurant B circulaire de rayon $[2, 4, 6, 10]$ pixels.

6 TP: Morphologie Mathématique

Dans cette partie, on va se familiariser avec les filtrages présentés auparavant. Dans cette fiche, uniquement les points principaux (et les fonctions à utiliser) sont marqués. A vous de créer les fonctions de filtrage!

Suivez aussi les instructions dans le fichier nommé `Cours_matlab_MM.m`.

1. Lisez et visualisez l'image
2. Maintenant, deux possibilités s'offrent à vous pour appliquer les opérateurs morphologiques: l'application sur une version à échelle de gris de l'image et sur une version 'couleur'.
 - (a) VARIANTE 1: faite une ACP (Analyse par Composantes Principales) sur l'image, de façon à extraire (avec la première composante) l'information structurale et spatiale. Cette 'image' ainsi obtenue doit être scalée entre 0 et 1. Utilisez la fonction fournie `ISTAN = standardimg(I,type)` avec l'image à standardiser comme paramètre `I` et 2 comme paramètre `type` (type de normalisation, ici un "stretch" dans $[0; 1]$).
 - (b) VARIANTE 2: filtrez chaque bande de l'image. D'abord standardisez-les (`standardimg.m`). Attention! Les fonctions qu'on va construire prennent une bande à la fois. Pour traiter l'image entière, il faut donner en paramètre une bande à la fois:

```
imfilter = zeros(size(image,1),size(image,2),size(image,3)); % pre-allocation
                                     % matrice pour vitesse
for i = 1:no_bandes
imfilter(:, :, i) = filtres_morphologiques(image(:, :, i), SE, p_switch);
end
```

3. Créez des fonctions de filtrage (voir fichier `Cours_matlab_MM.m`). N'oubliez pas d'initialiser d'abord les éléments structurants **B** soit par la fonction `SE = strel(type,par)` soit en le déclarant soi-même comme une matrice binaire de voisinage.
 4. Visualisez et sauvegardez les images filtrés. Après avoir vérifié le fonctionnement des trois fonctions, regroupez les dans une seule fonction (nommez-la `filtres_morphologiques`). Ainsi, vous avez la fonction complète.
 5. Testez différents types de SE et observez les changements, aussi par rapport aux différents types d'opérateurs.
- OPT.1 Lancez la fonction `exemple_ocr` avec une image à échelle de gris, définissez un SE et le paramètre '`op_recon`' ou '`cl_recon`' pour choisir le type de paramètre. Il s'agit d'une démonstration itérative de comment les filtres de reconstruction marchent.
- OPT.2 Ouvrez GoogleEarth et cherchez des images avec des structures particulières à traiter. Une fois qu'on a sauvegardé l'image en .jpg et on l'ouvre avec MATLAB, on a à disposition 3 bandes (RGB), comme si on travaillait avec des photos aériennes. Recoupez l'image en MATLAB pour enlever la légende et des graphiques qui ne sont pas parties de la photo aérienne. Filtrez-la avec des opérateurs et des éléments structurants de votre choix.

Références

- [1] M. Fauvel, J. A. Benediktsson, J. Chanussot, and J. R. Sveinsson. Spectral and spatial classification of hyperspectral data using svms and morphological profiles. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(11):3804 – 3814, 2008.
- [2] R. C. Gonzalez, Richard E. Woods, and S. L. Eddins. *Digital Image Processing Using MATLAB*. Pearson Prentice Hall, 2004.
- [3] Kumar Navulur. *Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm*. CRC Press, 2007.
- [4] Maria Petrou and Pedro Garcia Sevilla. *Dealing With Texture*. John Wiley and Sons, 2006.
- [5] J. Plaza, A. Plaza, and C. Barra. Multi-channel morphological profiles for classification of hyperspectral images using support vector machines. *Sensors*, 9:196 – 218, 2009.
- [6] D. Tuia, F. Pacifici, M. Kanevski, and W. J. Emery. Classification of very high spatial resolution imagery using mathematical morphology and support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(11):3866 – 3879, 2009.