

L'imagerie numérique/ Traitement

Traitement d'images numériques (Image Processing):

L'ensemble des techniques permettant de modifier une image numérique dans le but de l'améliorer ou d'en extraire des informations.

Est une discipline nouvelle qui s'est développée rapidement grâce à l'émergence des nouvelles technologies de l'information. Il s'appuie notamment sur les mathématiques liées à *l'information*, le *traitement du signal*, les *systèmes électroniques*, et sur l'avancée des capacités de calcul des *microprocesseurs*, notamment ceux qui sont développés exclusivement pour le traitement de signal et qui offrent de grandes capacité et vitesse de calculs.

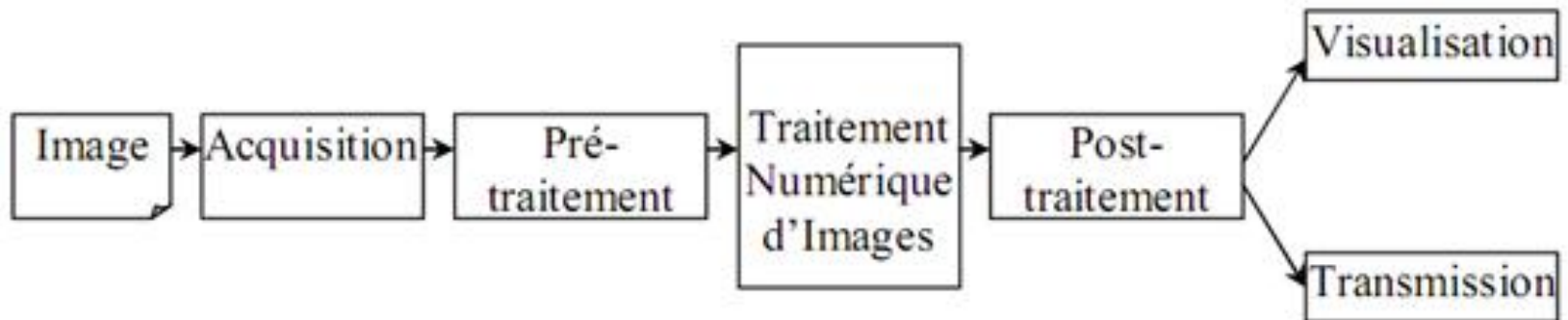
L'imagerie numérique/ Traitement

Les traitements envisageables sur les images sont très variés, car les images que nous rencontrons dans notre environnement sont diverses et il n'est bien évidemment pas envisageable de créer un traitement spécifique pour chacune d'entre elles. Il a donc fallu créer une classification non pas en fonction des caractéristiques des images, mais en fonction de l'objectif du traitement.



L'imagerie numérique/ Traitement

Un système de traitement numérique d'images est composé de :



L'imagerie numérique/ Traitement

Quatre types de domaines d'application du traitement d'images numériques se distinguent :

- la restauration et l'amélioration d'images,
- l'analyse d'images,
- le codage avec compression d'information,
- la synthèse d'images.

Dans un premier temps, la description de ces quatre fonctions principales permettra de mieux appréhender ce qu'est le traitement d'images.

L'imagerie numérique/ Traitement

1. L'amélioration et la restauration :

Le traitement effectué sur une image observée **I**, qui donnera en sortie l'image transformée **T**, doit permettre d'exploiter l'information contenue dans **T** de manière plus efficace que l'information dans l'image directement observée **I**. Dans le cas d'une modification des caractéristiques de présentation de l'image, on parlera de «traitement d'amélioration», alors que dans le cas d'une inversion partielle du phénomène de dégradation on parlera de « traitement de restauration » (exemple : le filtrage).

L'imagerie numérique/ Traitement

2 L'analyse :

Il s'agit de décrire partiellement ou complètement la scène à partir de l'image observée (objets présents, dimensions, position dans l'espace, ...).

Classiquement ce processus d'analyse se décompose en 3 phases successives :

- ✓ prétraitement et extraction des traits caractéristiques,
- ✓ classification et reconnaissance de formes,
- ✓ description de l'image et, éventuellement, interprétation.

3. Le codage avec compression d'information

La représentation de base d'une image numérique correspond à un tableau 2-D rectangulaire d'éléments appelés pixels. Il faut donc mémoriser un grand nombre de pixels. Pour une simple image monochrome (en niveaux de gris), il faut mémoriser typiquement 512×512 pixels (soit 256 000 pixels) et 8 bits par pixel pour obtenir une bonne résolution (8 bits pour coder un pixel, ce qui donne par pixel un nombre de $2^8 = 256$ valeurs possibles). Pour des images couleurs de haute résolution, et pour des images animées le nombre de bits nécessaires à la représentation de base devient vite très important pour mémoriser ou transmettre.

L'imagerie numérique/ Traitement

Le codage d'une image a donc pour but d'obtenir une représentation qui ne nécessite qu'un nombre très réduit de bits en comparaison de l'image de base. Pour mesurer cette réduction, on utilise le taux de compression défini par :

$$Taux = \frac{\text{Nombre de bits pour la représentation de l'image de base}}{\text{Nombre de bits pour la représentation de l'image après codage}}$$

Ce taux doit être supérieur à 1 pour effectuer vraiment une compression.

L'imagerie numérique/ Traitement

Si on souhaite une reconstruction exacte de l'image après décodage, il faut alors utiliser un codage réversible (compression sans perte). Ceci génère une contrainte telle que le taux de compression est très souvent peu élevé. Pour augmenter significativement le taux de compression, il suffit de se contenter d'une représentation visuellement exacte (compression avec perte). Dans ce cas, l'œil ne distingue aucune différence entre l'image d'origine et l'image reconstituée après décodage. De plus, la complexité du codage et du décodage doit être limitée.

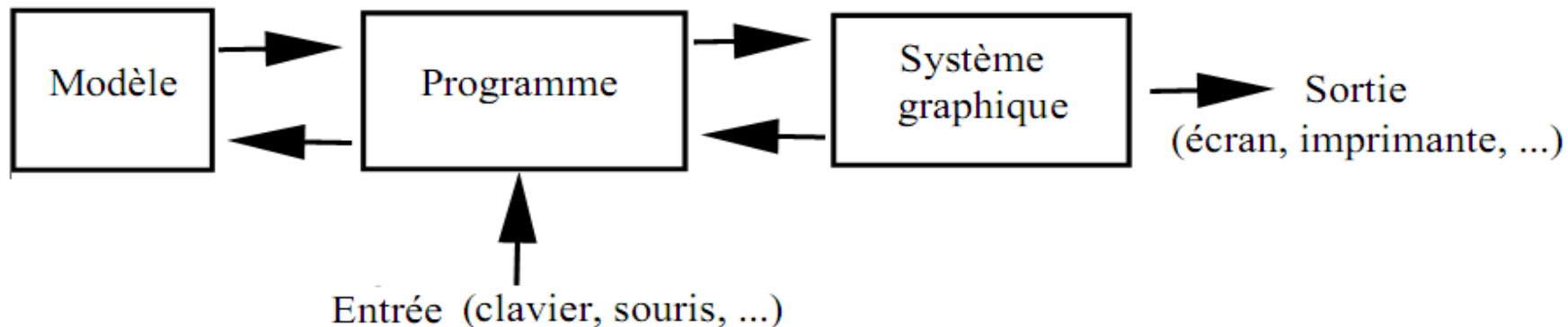
L'imagerie numérique/ Traitement

Le codage d'une image numérique implique donc de chercher un juste équilibre pour obtenir un taux de compression assez important afin de faciliter la mémorisation et la transmission, mais suffisamment bas pour ne pas engendrer de dégradations gênantes, tout en gardant à l'esprit que la complexité du décodage doit être maîtrisée.

L'imagerie numérique/ Traitement

4. La synthèse (Computer Graphics) :

Le but est d'utiliser un ordinateur pour générer une image qui ressemble à l'image de la scène simulée, à partir d'une description de la scène, des objets qui la composent, des caractéristiques de l'éclairage (incidence, intensité, ...). Cette scène reconstruite peut être ressemblante à la réalité ou purement imaginaire. l'utilisateur peut contrôler les attributs de l'image synthétisée à l'aide d'un périphérique d'entrée interactif (souris, crayon optique, clavier, ...).



L'imagerie numérique/ Traitement

Les premières applications liées aux images de synthèse furent d'abord orientées vers les simulateurs d'entraînement (vol, engins terrestres, ...) puis se sont amplement diversifiées (audiovisuel, cinéma, art, ...).

Les différentes phases de la synthèse d'une image :

1. Modélisation : représentation mathématique des objets de la scène.
2. Gestion du modèle : ce qui doit être vu et comment cela doit apparaître.
3. Production d'une image : rendu à partir de la description du modèle.

Prétraitement d'images

Cette phase a lieu juste après l'acquisition des images et a pour objectif d'améliorer la qualité de l'image en vue de sa segmentation.

Les techniques de ***prétraitements*** les plus courantes sont :

- ❖ La modification d'histogramme,
- ❖ La réduction du bruit par filtrage,

1 Modification d'histogramme

L'histogramme d'une image $h(x)$ est la fonction qui indique pour chaque valeur d'intensité x entre le noir (0) et le blanc (255), le nombre de pixels dans l'image ayant cette valeur. La répartition des composantes d'image dans l'histogramme est comme suit, les pixels sombres apparaissent à gauche de l'histogramme, les pixels clairs à droite de l'histogramme et les pixels gris au centre de l'histogramme.

NB : Pour les images couleurs, plusieurs histogrammes sont utilisés:

- L'histogramme des luminances
- Les 3 histogrammes de chacune des composantes R,V,B

L'imagerie numérique/ Prétraitement

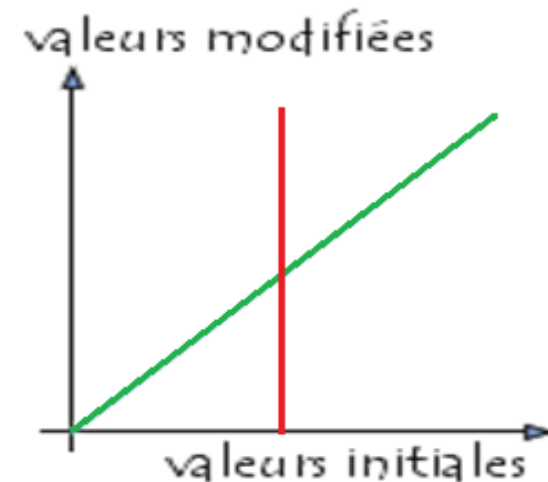
L'histogramme permet également de corriger le contraste et l'échelle des couleurs pour des images surexposées (claire) ou sous-exposées (sombre). En outre sa modification rend l'image plus ou moins visible.

La modification d'un histogramme est généralement représentée sur une courbe (appelée courbe tonale) indiquant la modification globale des niveaux de gris de l'image. Elle indique pour chaque niveau de gris quelle sera sa valeur finale après modification : en abscisse (axe x) les valeurs initiales (entre 0 et 255) et en ordonnée (axe y) les valeurs après modification (entre 0 et 255).

L'imagerie numérique/ Prétraitement

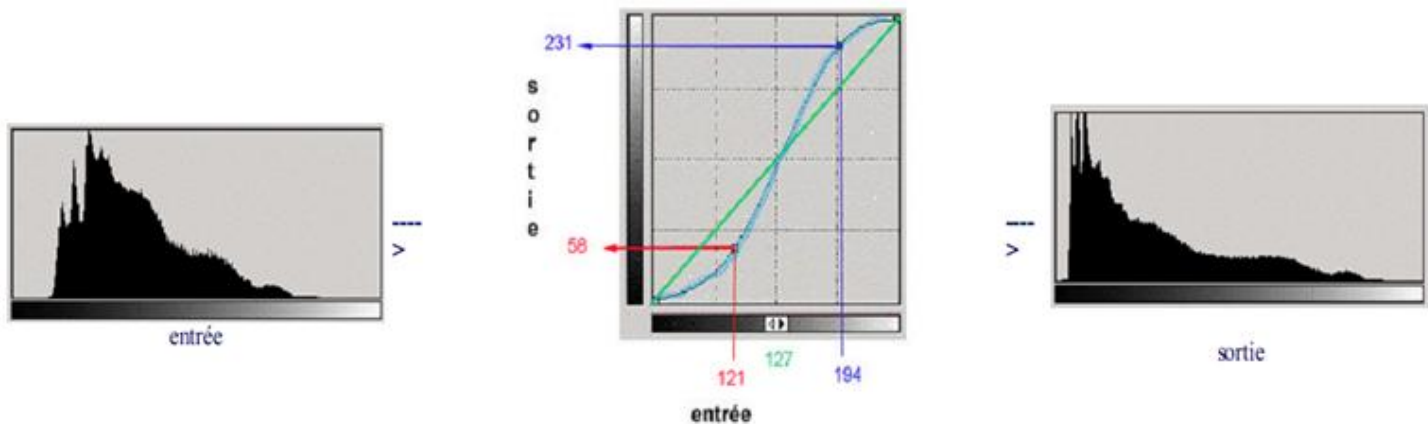
La courbe tonale correspond à une fonction de transfert définie par une table de transcodage appelé look up table, notée LUT.

Ainsi la diagonale indique la courbe telle que les valeurs initiales sont égales aux valeurs finales, c'est-à-dire lorsque aucune modification n'a eu lieu. Les valeurs à gauche de la valeur moyenne sur l'axe des abscisses représentent les pixels "foncés" tandis que ceux à droite représentent les pixels "clairs".



L'imagerie numérique/ Prétraitement

Ainsi, les pixels sombres (entre 0 et 127), c'est à dire dans la partie inférieure de l'image, diminuent de valeur, donc deviennent plus sombres. Les pixels clairs (entre 128 et 255) augmentent de valeur, donc deviennent plus clairs. Par exemple, si l'entrée est 58, la sortie sera 231.



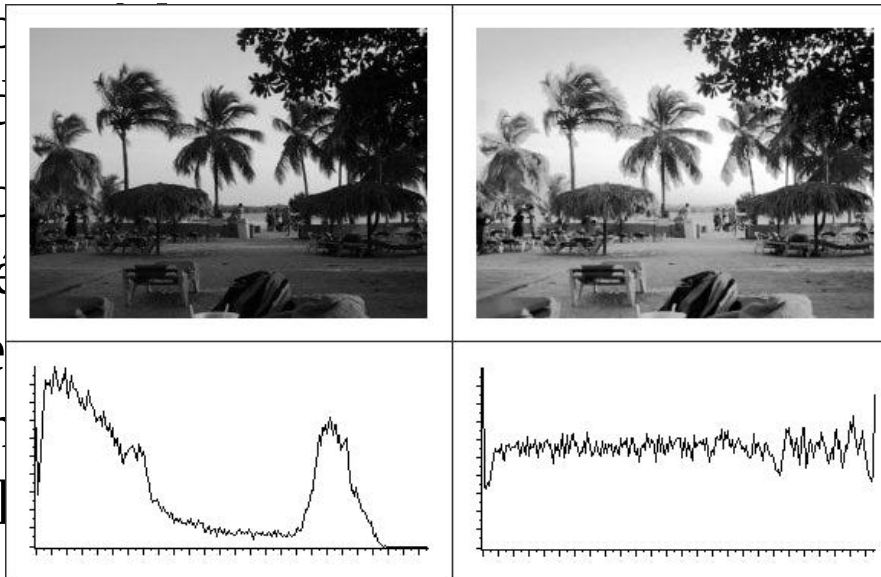
Donc, lorsque la courbe de modification de l'histogramme se trouve en dessous de la diagonale, les pixels diminuent de valeur, donc deviennent plus sombres et inversement, lorsque la courbe est au-dessus de la diagonale, les pixels augmentent de valeur et deviennent plus clairs.

L'imagerie numérique/ Prétraitement

Egalisation d'histogramme

L'égalisation des niveaux d'intensité

L'égalisation répartition (répartition) de l'image, de telle sorte que pour chaque intensité, le nombre de pixels à augmenter l'intensité



que de l'échelle de l'histogramme.

d'harmoniser la répartition de luminosité de l'image en fonction du nombre de pixels pour chaque intensité. L'opération vise à augmenter l'intensité

L'égalisation d'histogramme permet de mieux répartir les intensités sur l'ensemble de la plage de valeurs possibles, en « étalant » l'histogramme.

L'imagerie numérique/ Prétraitement

La courbe tonale correspondant à l'égalisation de l'histogramme dépend totalement de l'image.

L'exemple d'égalisation ci-dessus a été réalisé en mode RVB



image d'origine



image après égalisation

L'imagerie numérique/ Prétraitement

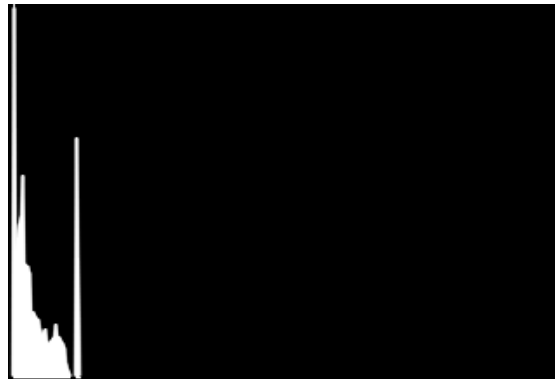
Etirement de l'histogramme

Il arrive que certaines images réelles soient trop sombres ou trop claires, un petit peu comme la suivante dans un cas extrême :



L'imagerie numérique/ Prétraitement

Donc, l'histogramme de cette image se retrouve tout aplati dans la zone des valeurs sombres :



Cela s'explique par le fait que dans cette image, les niveaux de gris n'occupent pas tout l'intervalle des valeurs qu'ils peuvent prendre.

L'imagerie numérique/ Prétraitement

L'étirement d'histogramme (aussi appelé "**linéarisation d'histogramme**" ou "**normalisation d'une image**") consiste à répartir les fréquences d'apparition des pixels sur la largeur de l'histogramme (c'est-à-dire de 0 à 255). Ainsi il s'agit d'une opération consistant à modifier l'histogramme de telle manière à répartir au mieux les intensités sur l'échelle des valeurs disponibles. Ceci revient à étendre l'histogramme afin que la valeur d'intensité la plus faible "min" soit à zéro et que la plus haute "max" soit à la valeur maximale.

L'imagerie numérique/ Prétraitement

Pour faire simple, il s'agit d'appliquer une règle de trois aux pixels de l'image. Cette règle de proportionnalité est donnée par la formule suivante :

$$dst(x, y) = \frac{(src(x, y) - min) \times 255}{(max - min)}$$

De cette façon, si les valeurs de l'histogramme sont très proches les unes des autres, l'étirement va permettre de fournir une meilleure répartition afin de rendre les pixels clairs encore plus clairs et les pixels foncés proches du noir.

L'imagerie numérique/ Prétraitement

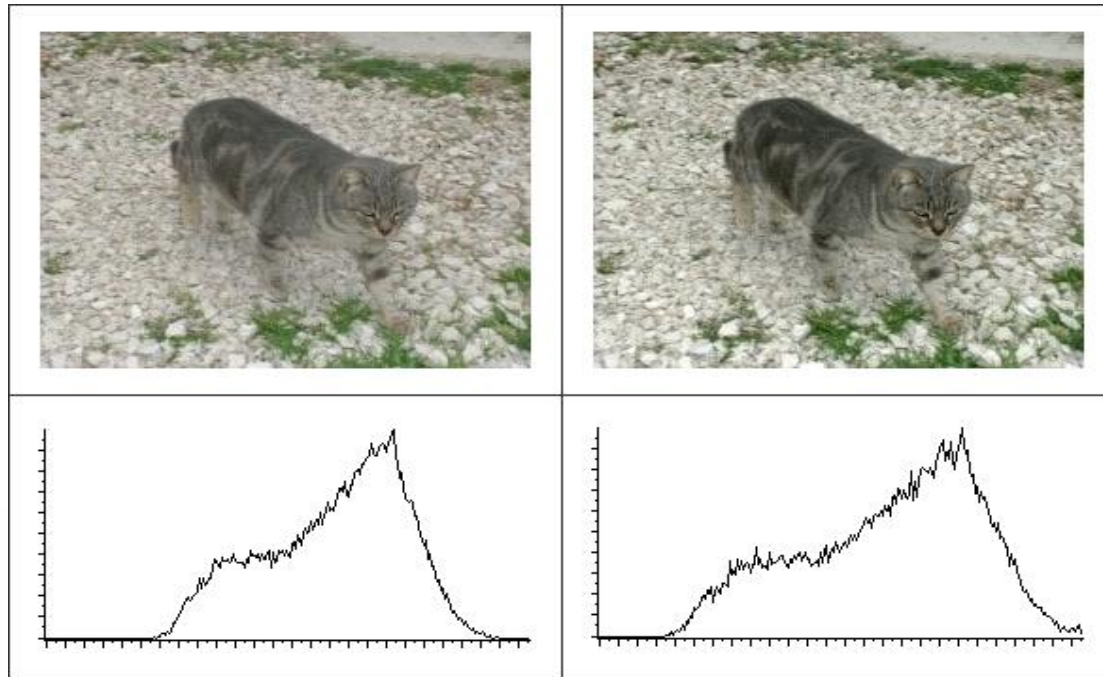
Voici le résultat que vous devriez obtenir :



Il est ainsi possible d'augmenter le contraste d'une image. Par exemple une image trop foncée pourra devenir plus "visible". Toutefois cela ne donne pas toujours de bons résultats...

L'imagerie numérique/ Prétraitement

La figure ci-dessus représente un autre exemple d'étirement d'histogramme



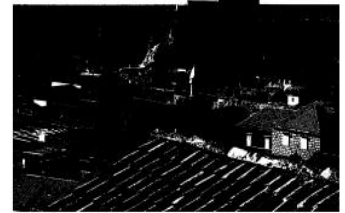
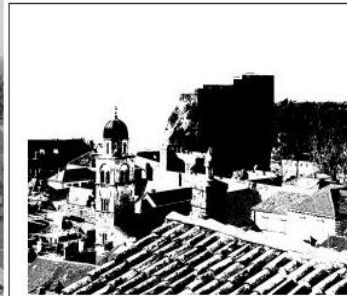
L'imagerie numérique/ Prétraitement

Seuillage

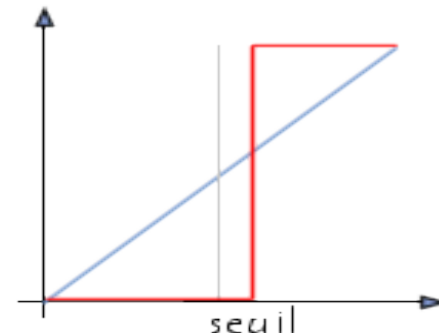
L'opération dite de "seuillage simple" consiste à mettre à zéro tous les pixels ayant un niveau de gris inférieur à une certaine valeur (appelée seuil, en anglais treshold) et à la valeur maximale les pixels ayant une valeur supérieure. Ainsi le résultat du seuillage est une image binaire contenant des pixels noirs et blancs, c'est la raison pour laquelle le terme de binarisation est parfois employé. Toutefois la difficulté réside dans le choix du seuil à adopter.

L'imagerie numérique/ Prétraitement

Voici une image en 256 niveaux de gris et les résultats d'une opération de seuillage avec les valeurs respectives de seuil de 125 et 200 :



La courbe tonale de l'opération de seuillage est la suivante :



2- Réduction du bruit par filtrage

Le bruit peut provenir de différentes causes :

- Environnement lors de l'acquisition,
- Qualité du capteur,
- Qualité de l'échantillonnage.

Pour la réduction de bruit plusieurs filtres sont utilisés. Un filtrage est un traitement qui s'applique globalement à toute l'image.

Pour chaque pixel de l'image, le filtre calcule sa nouvelle valeur en tenant compte du voisinage du pixel.

L'imagerie numérique/ Prétraitement

Un filtre

1. la
2. la
3. l'



Image initiale



Bruit Poivre & Sel

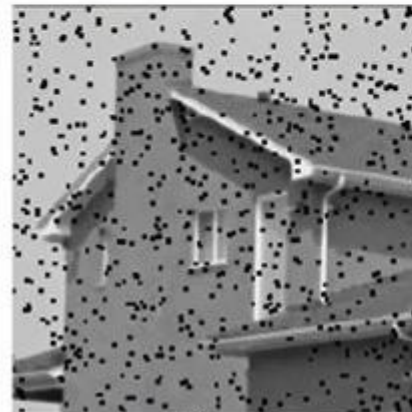


Moyenne V8

sur le

Exem

1. so
2. n
3. c



Min V8



Max V8



Médian V8

L'imagerie numérique/ Prétraitement

Les filtres sont divisés en deux catégories :

- ☐ Filtres linéaires stationnaires
- ☐ Filtres non linéaires stationnaires.

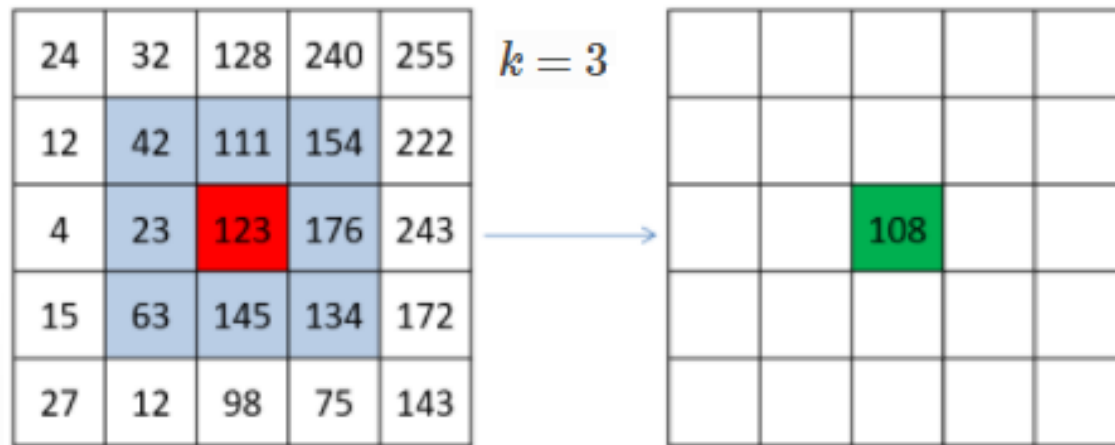
La première catégorie comprend tous les opérateurs pouvant exprimer leur résultat comme une combinaison linéaire des niveaux de gris d'un voisinage de l'image. Ces filtres possèdent des caractéristiques spectrales, on parle ainsi de filtre passe-bas (l'image devient floue) ou de filtre passe-haut (les contours ressortent).

L'imagerie numérique/ Prétraitement

Voici quelques exemples de filtres réducteurs de bruit :

- **Moyenneur** : Ce filtre attribue au pixel la moyenne des valeurs dans le voisinage.

$$h = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



$$\frac{42+111+154+23+123+176+63+145+134}{9} = 108$$

L'imagerie numérique/ Prétraitement

- **Gaussien** : Ce filtre réalise une moyenne pondérée des valeurs dans le voisinage, avec un poids fort au centre du voisinage et faible à la périphérie.

24	32	128	240	255
12	42	111	154	222
4	23	123	176	243
15	63	145	134	172
27	12	98	75	143

$k = 3$



		112		

$$h = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{42 + 111 \times 2 + 154 + 23 \times 2 + 123 \times 4 + 176 \times 2 + 63 + 145 \times 2 + 134}{16} = 112$$

L'imagerie numérique/ Prétraitement

- **Laplacien** : Ce filtre réalise une moyenne pondérée des valeurs dans le voisinage, avec un poids faible au centre du voisinage et fort à la périphérie.

$$h = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

24	32	128	240	255
12	42	111	154	222
4	23	123	176	243
15	63	145	134	172
27	12	98	75	143

$k = 3$

		37		

$$-111 - 23 - 176 - 145 + 123 \times 4 = 37$$

L'imagerie numérique/ Prétraitement

Le principal inconvénient des filtres linéaire est que la réduction de bruit s'accompagne d'un étalement des transitions entre régions. Ce problème peut être surmonté par l'utilisation des filtres non linéaires.

Le domaine de ***filtrage non linéaire*** est extrêmement vaste. Les opérateurs les plus courants en prétraitement d'images sont:

- Les filtres médian,
- Les filtres Nagao

L'imagerie numérique/ Prétraitement

Filtre médian : Ce filtre permet de supprimer les pixels isolés, c'est à dire qu'un pixel isolé, de niveau très supérieur ou très inférieur à ses voisins, est remplacé par un pixel du même niveau que l'un de ses voisins.

Le principe de calcul de filtre médian est :

1. trier les valeurs du voisinage par ordre croissant.
2. sélectionner la médiane des valeurs
3. attribuer cette valeur médiane au niveau de sortie

L'imagerie numérique/ Prétraitement

L'exemple ci-dessus représente une comparaison entre le filtre médian et le filtre moyenneur.

30	0	140
10	20	180
210	50	200

voisinage du pixel

30	0	140
10	20	180
210	50	200

voisinage du pixel

--->

0	10	20	30	50	140	180	200	210
---	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

tri par ordre croissant des valeurs des pixels et calcul de la médiane

--->

$$(30+0+140+10+20+180+210+50+200) / 9 = 93$$

calcul de la moyenne

--->

30	0	140
10	50	180
210	50	200

affectation de la valeur médiane à ce pixel

30	0	140
10	93	180
210	50	200

affectation de la valeur moyenne à ce pixel

L'imagerie numérique/ Prétraitement

L'exemple suivant montre que le filtre médian n'abime pas les contours par rapport au filtre moyennneur.

10	10	10	130	130	130
10	10	10	130	130	130
10	10	10	130	130	130
10	10	10	130	130	130
10	10	10	130	130	130
10	10	10	130	130	130

filtre
moyennneur

--->

filtre
médian

--->

10	10	50	90	130	130
10	10	50	90	130	130
10	10	50	90	130	130
10	10	50	90	130	130
10	10	50	90	130	130
10	10	50	90	130	130

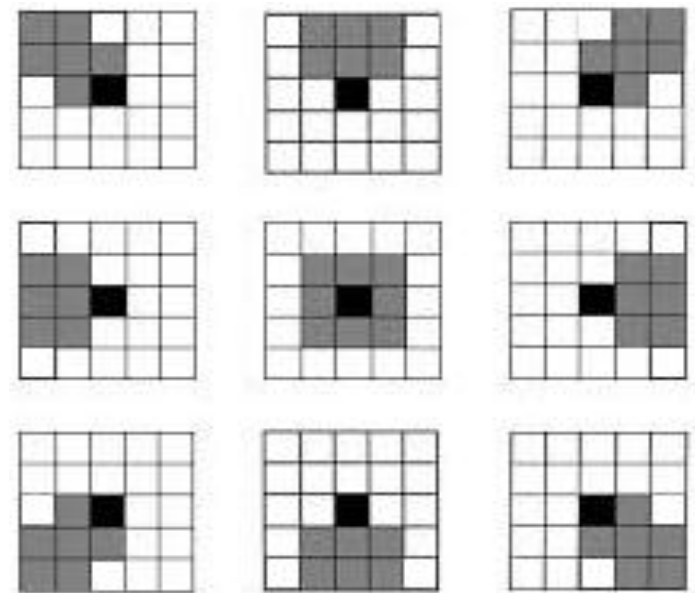
le
contour
est flou

10	10	10	130	130	130
10	10	10	130	130	130
10	10	10	130	130	130
10	10	10	130	130	130
10	10	10	130	130	130
10	10	10	130	130	130

le
contour
est
conservé

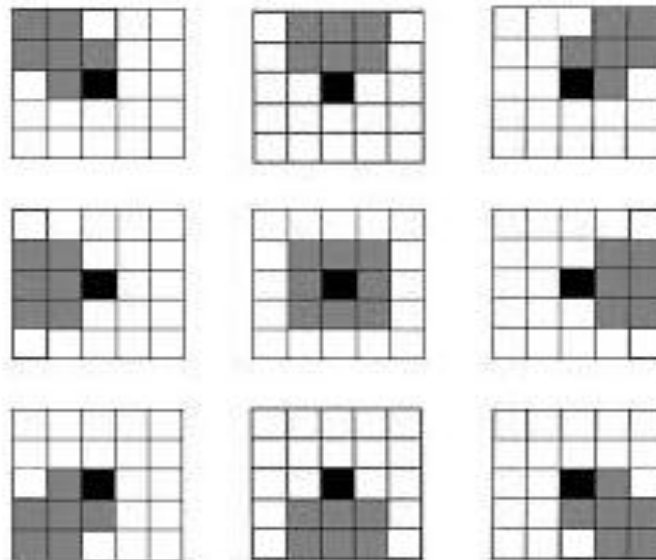
L'imagerie numérique/ Prétraitement

Les filtres de Nagao : Ce filtrage a été présenté par M. Nagao et T. Matsuyama en 1979. Le principe de ce filtrage est de remplacer le niveau de gris de chaque pixel de l'image par la valeur moyenne des niveaux de gris du voisinage le plus homogène (variance minimale).



L'imagerie numérique/ Prétraitement

Dans une fenêtre de taille 5x5 centrée sur le pixel à modifier, 9 domaines sont définies. On calcule pour chaque domaine D_i la moyenne M_i et la variance V_i . Il s'agit de choisir le domaine de plus petite variance, implique que cette moyenne est faite sur une zone relativement homogène.



L'imagerie numérique/ Prétraitement



L'imagerie numérique/ Prétraitement

L'avantage de ce type de filtre est qu'il conserve les contours : un pixel proche d'un contour sera remplacé par une valeur homogène à la zone à laquelle il appartient, et non pas par une valeur moyenne entre la zone à laquelle il appartient et celle de l'autre côté du contour.

