Traitement d’images

Florent Lafarge
INRIA (Ariana)

PLAN DU COURS

Introduction au traitement d’images

-l’oeil et la perception

- image numérique

- acquisition d’images

- numérisation d’images : quantification et échantillonnage

- quelques outils pour le traitement d’images
  - histogramme
  - transformée de Fourrier

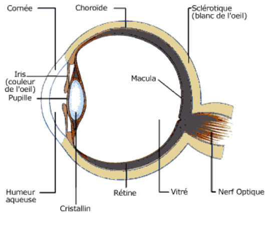
- apercu des méthodes utilisées en traitement d’images

LE TRAITEMENT D’IMAGES : A QUOI CA SERT ?

Quelques exemples d’applications
– Photographie numérique
– TV et vidéo numérique
– Surveillance
– Imagerie médicale
– Télédétection
– Reconnaissance des formes
– PC multimédia
– Communication visuelle (vidéo conférence, vidéophone, …)
– ...

L’ŒIL ET LA PERCEPTION

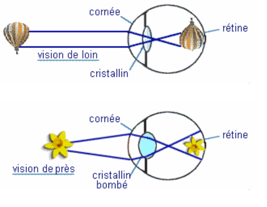
LA PERCEPTION VISUELLE

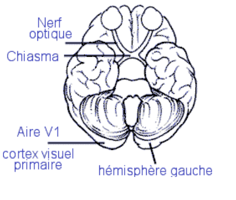


La fonction de l'oeil est de recevoir et de transformer les vibrations électromagnétiques de la lumière en **influx nerveux** qui sont transmis au **cerveau**.

La cornée : principale lentille de l’oeil
Le cristallin : lentille auxiliaire
L'iris : diaphragme de l'oeil
La pupille : **trou** au centre de l'iris permettant de faire passer les rayons lumineux vers la rétine
La rétine : c'est la couche **sensible** à la lumière grâce aux photorécepteurs.
- Les bâtonnets **(130 millions)** très grande sensibilité à la **lumière** -> vision de nuit
- Les cônes **(5 à 7 millions)** sensibilité aux **couleurs** , pas à la lumiere -> vision de jour

LA PERCEPTION VISUELLE





•Système très complexe

•Grande capacité à interpréter

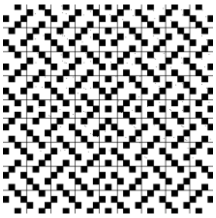
•Grande capacité à « inventer » (information manquante)

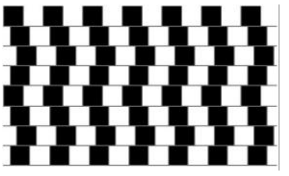
•Parfois pris en défaut

LA PERCEPTION VISUELLE

Les limites de la perception visuelle

Les illusions d'optiques :

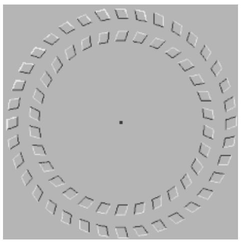


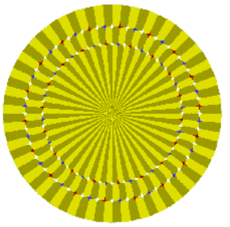


LA PERCEPTION VISUELLE

Les limites de la perception visuelle

Les illusions d'optiques :

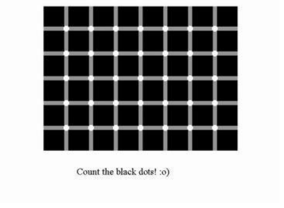


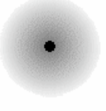


LA PERCEPTION VISUELLE

Les limites de la perception visuelle

Les illusions d'optiques :

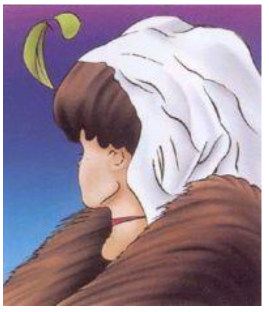




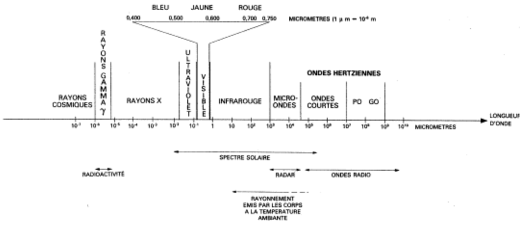
LA PERCEPTION VISUELLE

Les limites de la perception visuelle

L'interpretation du cerveau :



LE DOMAINE SPECTRAL

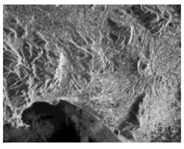


Domaine du visible (0.4-0.8 micrometre) : ce que voit l'oeil
Domaine infrarouge (0.8-10^3 micrometres) : proche-moyen-thermique
Domaine micro-ondes (1-10^2mm) : radar

IMAGE NUMERIQUE

IMAGE NUMERIQUE

Exemples d'images :



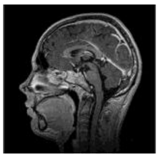


IMAGE NUMERIQUE

Quelques elements simples d'une image :

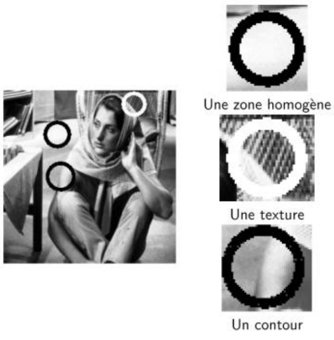
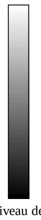


IMAGE NUMERIQUE

Notion de **pixels**

Définition : Un pixel est l'unité indivisible permettant de coder l'information relative à la luminosité en une certaine position



En niveau de gris

- les pixels sont généralement carrés
- pixel vient de « picture element »
- La taille du pixel

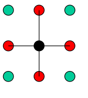
IMAGE NUMERIQUE

Notion de **pixels**

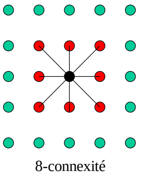
Système de voisinage :

V = {V(s) / s ∈ S} est un système de voisinage si
- s ∉ V(s)
- s ∈ V(t) ⇔ t ∈ V(s)

Exemples :



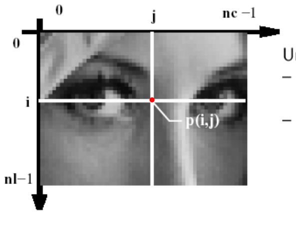
4-connexité



8-connexité

IMAGE NUMERIQUE

Une image est un tableau de pixels : si le nombre de lignes vaut nl et le nombre de colonnes nc :



Un pixel est donc composé :
- de coordonnées (i, j) permettant de le situer,
- d'une valeur $v = p(i, j)$ représentant sa couleur .

IMAGE NUMERIQUE

La résolution est donnée par le nombre de pixel nc x nl.

La résolution correspond à la finesse de la description spatiale de l'image (taille du pixel).

IMAGE NUMERIQUE

L'image comme une fonction

On peut voir l'image comme une fonction u et donc une surface.

$$u: \begin{array}{ccc} I \times J & \rightarrow & V \\ (i,j) & \rightarrow & p(i,j) \end{array}$$

"A un point on associe une valeur d'intensité"

En discret

$I = \{0, \ldots, nl-1\}$ et, par exemple :
$J = \{0, \ldots, nc-1\}$ $V = \{0, \ldots, 255\}$

En continu

$I = [0, l]$ et :
$J = [0, L]$ $V = [0, 1]$

L'avantage d'une telle représentation continue vient de la possibilité de dériver...

IMAGE NUMERIQUE

L'image comme une surface

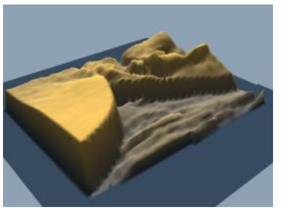


IMAGE NUMERIQUE

Convention

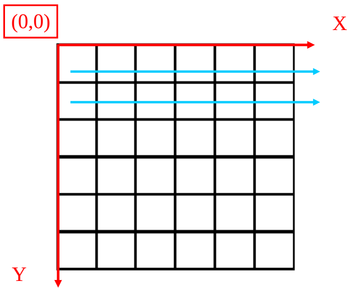
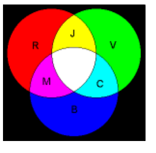
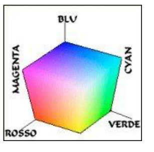


IMAGE NUMERIQUE

L'image en couleur





Avec du **rouge**, du **vert** et du **bleu**, on peut représenter toutes les couleurs

Un image couleur est représentée comme la superposition de 3 images N&B

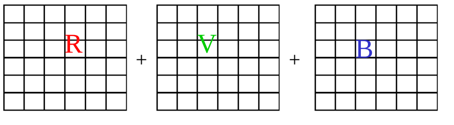


IMAGE NUMERIQUE

L'image en couleur


Rouge

+


Vert

+


Bleu

IMAGE NUMERIQUE

2 défauts majeurs : le **bruit** et le **flou**

Le bruit

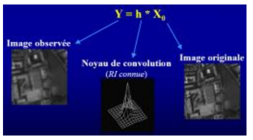
- Valeur pixel = mesure
- Toute mesure est bruitée (perturbation atmosphérique, défauts des capteurs,…)
- Différents types de bruit :
  - Additif : $\text{mesure}_{\text{observée}} = \text{mesure}_{\text{réelle}} + B$
  - Multiplicatif : $\text{mesure}_{\text{observée}} = \text{mesure}_{\text{réelle}} \times B$
- Filtrage du bruit : peut être très complexe
- Évalué par la rapport signal / bruit (SNR)

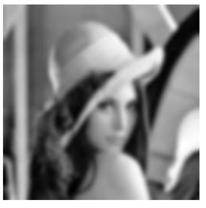
IMAGE NUMERIQUE

2 défauts majeurs : le **bruit** et le **flou**

Le flou

Problème de déconvolution :





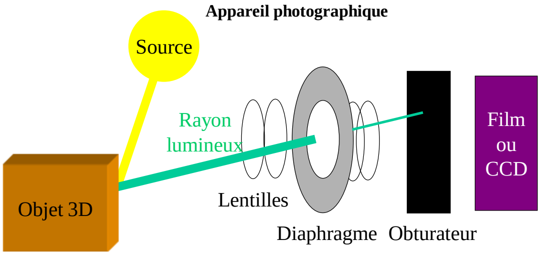
ACQUISITION D’IMAGES

ACQUISITION D’IMAGES

- Passage du monde 3D (ou 4D) vers image 2D
- Stéréoscopie = Passage inverse :
  - deux images => 3D

⇒ Nécessité de modéliser le passage

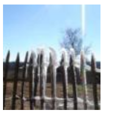
Appareil photographique



ACQUISITION D’IMAGES

Les défauts

- Aberration sphérique
  - Image floue
- Aberration chromatique (effet prisme)
  - Franges colorées



- Astigmatisme
  - Images floue sur les bords ou au centre

- Distorsion
  - Altération géométrique

ACQUISITION D’IMAGES

Les capteurs

Deux grandes familles :
- argentique (pellicules)
- numériques (CCD)

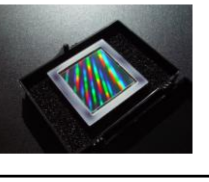
Les pellicules

- Film imprégné d’un gel contenant des ions argent
- Déclenchement d’une réaction lors de l’exposition à la lumière
- Développement bloque la réaction dans l’état courant
- Pour le traitement d’image : nécessité de numériser le film
- Utilisation d’un scanner (capteur CDD) linéaire
- Déformation géométriques (étirement + mécanique)

ACQUISITION D’IMAGES

Les capteurs CCD

- Ensemble de sites photo-sensibles
- Transformation photons -> électrons
- Les sites sont sensibles sur le visible + proche IR
- Pour plusieurs couleurs sur un même site, deux possibilités :
  - Mosaïque
  - Tri-capteur



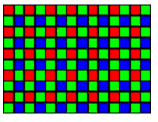
ACQUISITION D'IMAGES

Les capteurs CCD : capteurs mosaïque

- Sites sensibles à une seule couleur
- Valeur pour les sites voisins obtenue par interpolation

=> problèmes avec des détails très fin

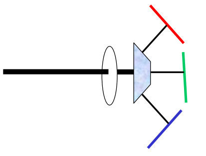
R	V	R	V	R	V
V	B	V	B	V	B
R	V	R	V	R	V
V	B	V	B	V	B
R	V	R	V	R	V
V	B	V	B	V	B



ACQUISITION D'IMAGES

Les capteurs CCD : tri-capteurs

- 3 capteurs côte à côte
- Séparation de la lumière vers les trois
- Nécessité de recaler les différents plans colorés



Les capteurs CCD face aux pellicules:

☺ meilleur rapport signal / bruit (1/200 vs 1/20)
☺ meilleure dynamique
☺ meilleure répétitivité de la réponse
☺ absence de traitements externe

☹ taille plus faible (nombre de pixels)
☹ plus chers (particulièrement pour les grands capteurs)

NUMERISATION D'IMAGES : QUANTIFICATION ET ECHANTILLONNAGE

NUMERISATION D'IMAGES

- L'image est physiquement continue
- Les images numériques sont à précision finie

⇒ nécessité de passer du continu au discret

Étape essentielle pour passer d'une représentation continue à une représentation discrète :

– **Échantillonnage**
-> résolution spatiale (taille du pixel)

– **Quantification**
-> résolution spectrale (niveau de gris)

NUMERISATION D'IMAGES : QUANTIFICATION

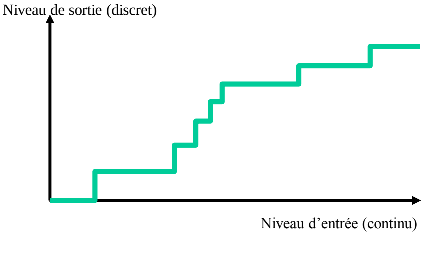
- Problématique identique au traitement du signal
- Image = signal 2D
- Nombreuses techniques de traitement du signal applicables en traitement d'images
- Attention au changement de dimension !!!

- Le nombre de niveaux disponibles dépend de la taille allouée à chaque pixel
- En général :
  - N&B : 1 octet / pixel = 8 bits = 256 niveaux
  - Couleur : 1 octet / couleur = 3 octets / pixel = 24 bits = 16 777 216 niveaux
  - Caméra numérique : 12 bits / pixel = 4096 niveaux

exemple : occupation physique pour des images de 4096 * 4096 :
- 1 bits : 2 Mo soit 325 par CD
- 8 bits : 16 Mo soit 40 par CD
- 16 bits : 32 Mo soit 20 par CD

NUMERISATION D'IMAGES : QUANTIFICATION

Problème du choix des niveaux



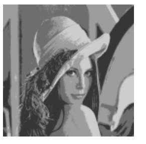
NUMERISATION D'IMAGES : QUANTIFICATION

- La quantification est liée au rapport signal / bruit
- Elle devrait dépendre
  - de la scène
  - de l'observateur
  - du bruit
- Sur-quantification = perte de place
- Sous-quantification = perte de données

NUMERISATION D'IMAGES : QUANTIFICATION

Exemples

Lena 256 niveaux (8 bits)

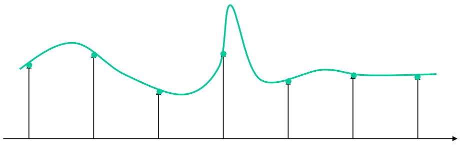


Lena 4 niveaux (2 bits)

Lena 2 niveaux (1 bit)

NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

- Prélèvement périodique des échantillons d'un signal analogique
- Explication sur le cas 1D :

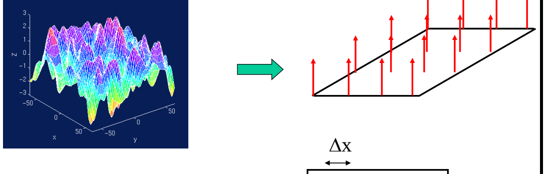


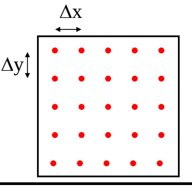
NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

- Prélèvement périodique des échantillons d'un signal analogique
- Explication sur le cas 1D :

NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

- Image : cas 2D
- Modélisée par le peigne de Dirac





NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

Théorème de Nyquist-Shannon

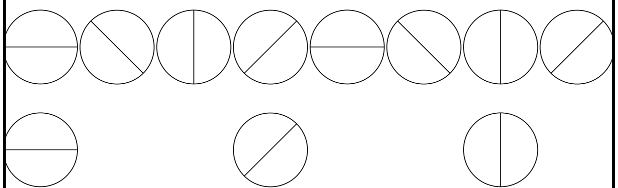
- Hypothèse : signal 1D, de support infini, à bande limitée (fréquence maximale finie f_m)
- Un signal analogique peut être entièrement reconstruit à partir de ses échantillons pour autant que les fréquences d'échantillonnage f_e soient au moins deux fois plus grandes que les fréquences maximales du signal

$$f_e \geq 2 . f_m$$

NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

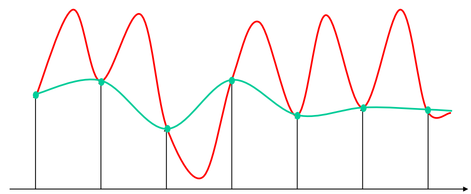
Illustrations du théorème

- Échantillonnage temporel : « roue en arrière »



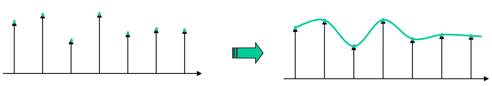
NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

Illustrations du théorème



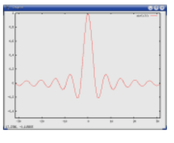
NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

Reconstruction du signal (cas 1D)



- Reconstruction d'un signal analogique
- Échantillons de f(x), notés f_p , intervalle Δx
- Conditions de Shannon : fmax < 1 / (2 Δx)
- Fonction reconstruite : f(x)

$$f(x) = \sum_{p=-\infty}^{+\infty} f_p \frac{\sin\left[\pi \frac{(x - p\Delta x)}{\Delta x}\right]}{\frac{\pi(x - p\Delta x)}{\Delta x}}$$



NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

Reconstruction du signal (cas 2D)

- Image : cas 2D
- Généralisation valable (!!! non évident !!!)
- Ici Δx = 1

$$f(x, y) = \sum_{p=-\infty}^{+\infty} \sum_{q=-\infty}^{+\infty} f_{p,q} \frac{\sin[\pi(x-p)]}{\pi(x-p)} \times \frac{\sin[\pi(y-q)]}{\pi(y-q)}$$

- Cas réel :
  - image de taille finie
  - fréquence infinies (transitions brusques)
  - échantillonnage ≠ peigne de Dirac

⇨ La théorie ne s'applique pas simplement

NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

Sous-échantillonnage

- Diverses méthodes :
  - Décimation
  - Moyenne
  - Gaussienne

Décimation

NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

Sous-échantillonnage

- Diverses méthodes :
  - Décimation
  - Moyenne
  - Gaussienne

Moyenne

NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

Sous-échantillonnage

- Diverses méthodes :
  - Décimation
  - Moyenne
  - Gaussienne

Gaussienne

NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

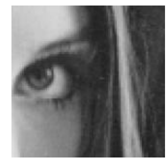
Sur échantillonnage

Diverses méthodes :
- réplication de pixel
- bilinéaire
- bicubique

réplication de pixel

Recopie simple du pixel le plus proche

\+ Rapide
– Problèmes d'aliasing



NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

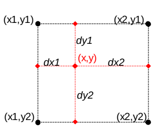
Sur échantillonnage

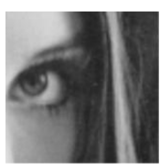
Diverses méthodes :
- réplication de pixel
- bilinéaire
- bicubique

bilinéaire

Interpolation linéaire entre les 4 voisins:
fr(x,y)=dy1(dx1.f(x1,y1)+dx2.f(x2,y1))+dy2(dx1.f(x1,y2)+dx2.f(x2,y2))

\+ Relativement rapide
– Images floues





NUMERISATION D'IMAGES : ECHANTILLONNAGE

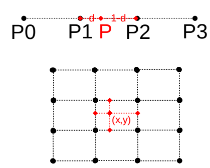
Sur échantillonnage

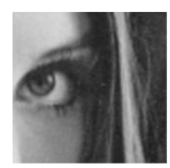
Diverses méthodes :
- réplication de pixel
- bilinéaire
- bicubique

bicubique

Polynôme de degré 3 approchant le sinus cardinal sur 16 voisins.
P=-d(1-d)²P0+(1-2d²+d3)P1+(d(1+d-d²))P2-d²(1-d)P3

\+ Peu flou
– Plus lent que les précédents

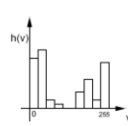




QUELQUES OUTILS POUR LE TRAITEMENT D'IMAGES

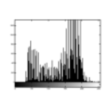
L'HISTOGRAMME

Définition



On se donne une image 8 bits u. On peut calculer la présence d'un niveau de gris v dans l'image :

$\forall v \in \{0, \ldots, 255\}$ $\boxed{h_u(v) = \text{Nb de pixels d'intensité } v}$



Le tracé de la fonction h donne donc l'histogramme de l'image.

L'HISTOGRAMME

Densité de probabilité

On peut aussi calculer le **taux de présence** de chaque niveau de gris :

$$\boxed{P_u(v) = \frac{h_u(v)}{nl.nc}}$$

On peut vérifier que :

$$\sum_{v=0}^{v=255} P_u(v) = 1$$

donc $P_u(.)$ est une densité de probabilité : $P_u(v)$ est la probabilité de trouver un niveau de gris v en tirant un pixel au hasard dans l'image u.

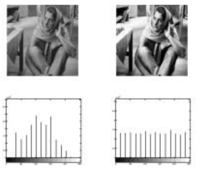
L'HISTOGRAMME

Histogrammes à n niveaux

On peut construire des histogrammes en utilisant moins d'intervalles. Par exemple si on considère 16 niveaux :

$V_0 = \{0, \dots, 15\}$ $\quad V_i = \{16 * i, \dots, 16(i+1) - 1\}$

$V_{15} = \{240, \dots, 255\}$



On constate que pour rehausser le contraste on a opéré une **égalisation d'histogramme à 16 niveaux**.

L'HISTOGRAMME

Opérations et utilités des histogrammes

Transformation de l'histogramme
- expansion d'histogramme
- égalisation d'histogramme
- spécification d'histogramme

Améliorer la qualité de l'image

Étude des modes de l'images

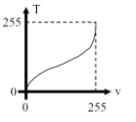
Extraire des informations

L'HISTOGRAMME

Transformation d'histogramme

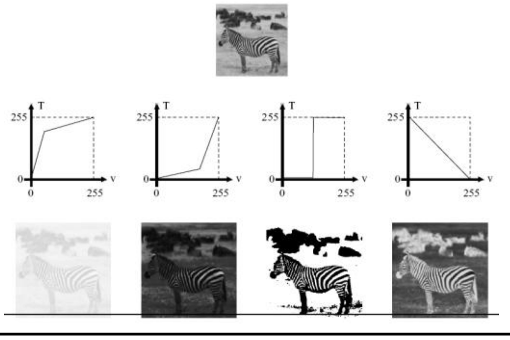
On imagine l'algorithme suivant de transformation des intensités :
- Parcourir les pixels de l'image
  - Pour le pixel courant p :
    1. lire la valeur de l'intensité v
    2. remplacer v par $T(v)$.

La fonction $T(.)$ remplace un niveau de gris par un autre. Cette fonction est appelée **transformation d'histogramme**. On la représente par son tracé :



L'HISTOGRAMME

Transformation d'histogramme : exemples



L'HISTOGRAMME

Transformation d'histogramme : exemples

L'HISTOGRAMME

Transformation d'histogramme : exemples

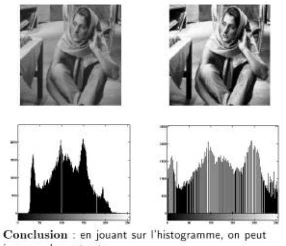
L'HISTOGRAMME

Transformation d'histogramme : exemples

L'HISTOGRAMME

Expansion d'histogramme

Comparons les deux images suivantes et leurs histogrammes :



Conclusion : en jouant sur l'histogramme, on peut jouer sur le contraste.

Étaler les niveaux de gris

Amélioration de la dynamique de l'image

L'HISTOGRAMME

Egalisation d'histogramme

Soit une image u. On rappelle que : $P_u(v) = \frac{h_u(v)}{nl.nc}$ (histogramme normalisé.)

On considère la **fonction de cumul :**

$$\forall k \in \{1, \dots, 255\} \quad \phi_u(k) = \sum_{v=0}^{v=k} P_u(v)$$

$\phi_u(k)$ représente le taux de pixels dont le niveau de gris v est inférieur à k dans l'image u.

Si on applique la transformation d'histogramme $T(v) = 255 * \phi_u(v)$ à u on trouve **l'image normalisée** u' :

$$\forall v \in \{0, \dots, 255\} \quad P_{u'}(v) \simeq 1/256$$

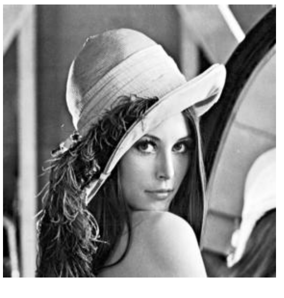
C'est à dire que dans l'image obtenue le nombre d'occurrences de chaque niveau de gris est à peu près égal aux autres.

Égaliser les niveaux de gris

Amélioration du contraste

L'HISTOGRAMME

Egalisation d'histogramme : exemples



L'HISTOGRAMME

Egalisation d'histogramme : exemples

L'HISTOGRAMME

Spécification d'histogramme

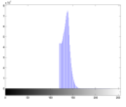
Rendre la distribution d'intensité d'une image voisine d'une distribution spécifiée

Soient F_a, F_b et F_R, les fonctions de répartition de l'image initiale, de l'image finale et de l'image de référence.
On cherche la transformation d'histogramme T telle que : $F_b(T(x)) = F_a(x)$

Or on veut que $F_b = F_R$

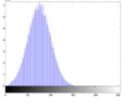
$$\Rightarrow \quad T = F_R^{-1} \circ F_a$$

Exemple :



Distribution initiale

+ distribution de référence gaussienne →



Distribution finale

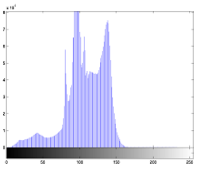
L'HISTOGRAMME

Etude des modes de l'image

But : extraire des informations relatives aux différentes classes de l'image

Exemple :

→

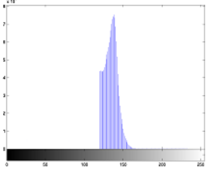


L'HISTOGRAMME

Étude des modes de l'image

But : extraire des informations relatives aux différentes classes de l'image

Exemple :



→

TRANSFORMEE DE FOURRIER

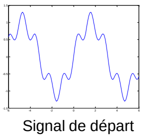
Produit de convolution : quelques rappels

- Deux fonctions f et g
- On note le produit de convolution * : $f*g(x)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)g(x-t)dt$
- Quelques propriétés :
  - $f * g = g * f$ (commutativité)
  - $f * \delta = \delta * f = f$ (δ : distribution de Dirac)
  - $f * (g + h) = f * g + f * h$ (distributivité /+)
  - $f * (\lambda g) = \lambda (f * g)$
  - $(f * g)' = f * g' = f' * g$
- Mathématiquement f et g sont équivalentes
- En physique : deux rôles très distincts
  - f : signal « brut »
  - g : filtre ou fonction s'appliquant au signal
- En imagerie : $f_n = f * g\,(n)$ avec n ENTIER

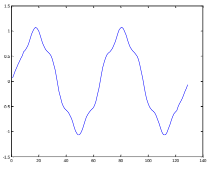
TRANSFORMEE DE FOURRIER

Produit de convolution : quelques rappels

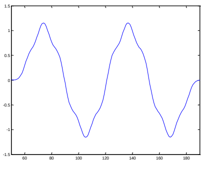
Exemples de filtres :
- Échantillonnage / Dirac (δ)
- Moyenne
- Fonction gaussienne



Signal de départ



Signal moyenné



Signal après gaussienne

TRANSFORMEE DE FOURRIER

Transformée de Fourrier

Cas du signal 1D : la T.F permet le passage d'une représentation du signal dans le domaine temporelle (le temps t) à une représentation dans le domaine fréquentiel (la fréquence f)

Soit H(f) la transformée de Fourier de h(t) : $H(f)=\int_{-\infty}^{+\infty} h(t)e^{2i\pi ft}dt$

La transformée inverse s'écrit : $h(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} H(f)e^{-2i\pi ft}df$

Cas du signal 2D discret (imagerie) : la T.F permet le passage d'une représentation de l'image dans le domaine spatial (coordonnées i , j des pixels) à une représentation dans le domaine fréquentiel (coordonnées u et v)

Soit H(u,v) la transformée de Fourier de h(i,j) :

$$H(u,v)=\sum_{i=-\infty}^{i=\infty}\sum_{j=-\infty}^{\infty} h(i,j)e^{-2j\pi(iu+jv)}$$

TRANSFORMEE DE FOURRIER

Transformée de Fourrier : quelques propriétés

- Quelques propriétés

$$h(at) \Longleftrightarrow \frac{1}{|a|} H\left(\frac{f}{a}\right)$$

$$\frac{1}{|b|} h\left(\frac{t}{b}\right) \Longleftrightarrow H(bf)$$

$$h(t-t_0) \Longleftrightarrow H(f)\, e^{2i\pi f t_0}$$

$$h(t)\, e^{-2i\pi f_0 t} \Longleftrightarrow H(f-f_0)$$

- Théorème de convolution : $g*h(t) \Longleftrightarrow G(f)\times H(f)$
  $g\times h(t) \Longleftrightarrow G(f)*H(f)$

- Théorème de Parseval : $\text{Puissance} = \int_{-\infty}^{+\infty} |h(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |H(f)|^2 df$

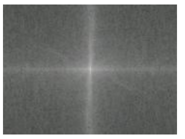
TRANSFORMEE DE FOURRIER

Transformée de Fourrier : utilité en imagerie

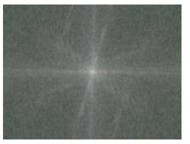
- Filtrage

- Problème de répétition spatiale (texture, forme,…)

T.F



T.F



PETIT APERCU DES PROBLEMES ET METHODES EN TRAITEMENT D'IMAGES

APERCU DES PROBLEMES ET METHODES EN TRAITEMENT D'IMAGES

Les problèmes classiques :

Prétraitements : Débruitage - Déflouage - Modification de la dynamique de l'image …
solutions : Filtrage – Méthodes de déconvolution -Transformations d'histogrammes …

Détection, reconnaissance et extraction de formes : Contours - Texture - objets …
solutions : Filtrage - Méthodes diverses : stochastiques (PPM) variationnelles (snakes)…

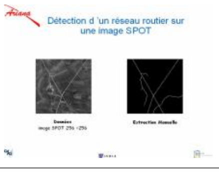
Segmentation et classification
solutions : Algorithmes déterministes - Approches markoviennes – Réseaux neuronaux…

Reconstruction 3D et stéréovision

APERCU DES PROBLEMES ET METHODES EN TRAITEMENT D'IMAGES

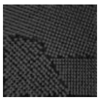
Les problèmes : exemples

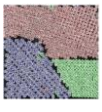
Détection, reconnaissance et extraction de formes :



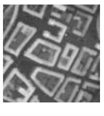
Détection de contours

Extraction de houppiers





Extraction de bâtiments

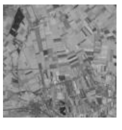


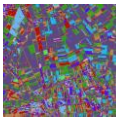
APERCU DES PROBLEMES ET METHODES EN TRAITEMENT D'IMAGES

Les problèmes : exemples

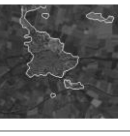
Segmentation et classification

Classification de champs

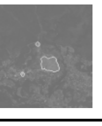




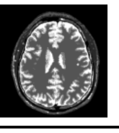
Extraction de zones urbaines



Extraction de fumées de feux de foret



Segmentation d'images IRM

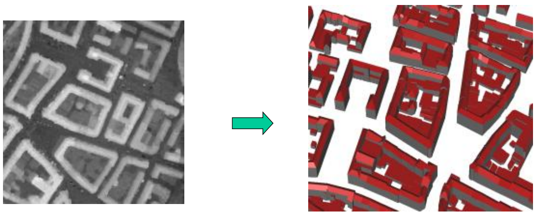


APERCU DES PROBLEMES ET METHODES EN TRAITEMENT D'IMAGES

Les problèmes : exemples

Reconstruction 3D

Reconstruction 3D de zones urbaines



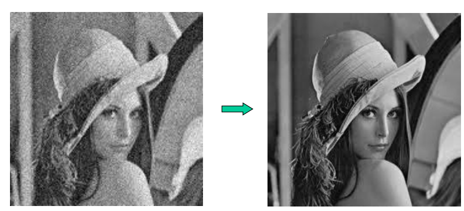
Formulation classique d'un problème en image

Entrée : une (ou plusieurs) image(s) où à chaque site est associé une intensité

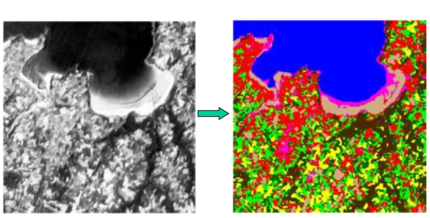
Sortie : un ensemble d'étiquettes

Images : Deconvolution.

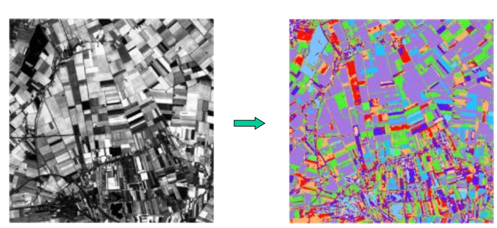
Images : Débruitage.



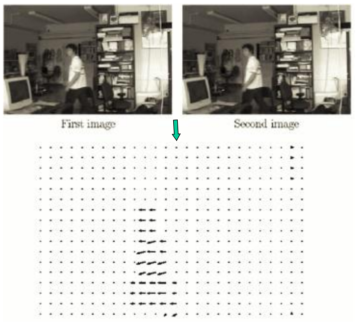
Images : Segmentation.



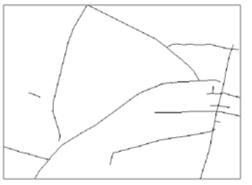
Images : Segmentation.



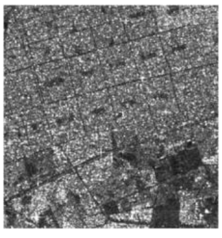
Images : estimation de mouvement.

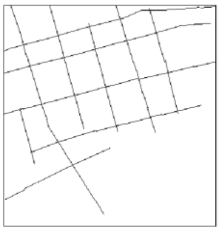


Images : extraction de réseaux.



Images : extraction de réseaux.





Images : extraction de réseaux.