Université Bourgogne Europe
Polytech Dijon - 3ème Année
Traitement d'images

TP

Hermine Chatoux / Frédéric Cointault

Année 2024-2025

La note de TP tiendra compte de la qualité de rédaction, de la forme ET de l'analyse des résultats produits !

Un compte rendu est attendu à la fin de la dernière séance

1/ Prise en main rapide (non évaluée)

1. Lancer Octave ou Python. Récupérer l'ensemble des images qui pourront être utilisées. Le dossier global contient un programme de démonstration (`demo.m` ou `demo.py`) ainsi que des images pour tests (dossier `Images`).
2. Tester le programme qui lit puis affiche une image couleur ainsi que ses trois composantes. Les tests seront réalisés à partir des images disponibles dans le répertoire fourni.
3. Tester la fonction histogramme des niveaux de gris d'une image.
4. Écrire et tester un programme permettant de binariser une image. Le seuil sera entré en paramètre (choisi à partir de l'examen visuel de l'histogramme de l'image.
5. Écrire un programme qui réalise les opérations suivantes :
    a. Calcul et affichage de l'histogramme d'une image (appel de la fonction histogramme réalisée en question 3) ;
    b. Égalisation d'histogramme sur cette image ;
    c. Affichage de la fonction de répartition, de l'histogramme de l'image égalisée.
    d. Tester ce programme avec l'image `rue.jpg` issue du répertoire, puis avec l'image `CerisierP.jpg`.
6. Écrire un programme qui permet de réaliser des détections de contours d'une image à l'aide des filtres de Roberts, Prewitt et Sobel. Les tests seront effectués à partir des images suivantes
    a. Mire blanche de 100x100 pixels centrée sur une image noire de 256x256,
    b. Images disponibles dans le répertoire `Images`.

2/ Transformée de Fourier

1. Fourier en spatial

La transformée de Fourier 2D est une généralisation de la version 1D. Elle permet de passer d'une représentation de l'image dans le domaine spatial (coordonnées n, m) à une représentation dans le domaine fréquentiel (coordonnées f_1, f_2). La transformée de Fourier d'une séquence discrète 2D s$[n, m]$ s'exprime sous la forme :

$$S[f_1, f_2] = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} s[n, m] e^{-2j\pi(f_1 n + f_2 m)}$$

avec $f_1 \times f_2 = \left[0, \frac{1}{N}, \frac{2}{N}, \dots, \frac{k}{N}, \dots, 1 - \frac{1}{N}\right] \times \left[0, \frac{1}{M}, \frac{2}{M}, \dots, \frac{k}{M}, \dots, 1 - \frac{1}{M}\right]$

Il apparaît que la transformée de Fourier 2D est séparable. Le principal avantage de cette dissociation est de permettre un calcul rapide de la transformée de Fourier 2D à partir de l'algorithme 1D.

Travail demandé :

1. *A partir de sa définition proposer une méthodologie réalisant le calcul de la transformée de Fourier 2D sachant que l'on possède la fonction fft permettant de calculer une TFD 1D.*

a. Harmoniques pures

Vous allez maintenant étudier le spectre de Fourier 2D pour différents types d'images. Vous avez à votre disposition la fonction atom qui s'utilise de la façon suivante :
img=atom(N,M,f1,f2);
Cette fonction permet de créer des images synthétiques de taille N × M composées de bandes périodiques se répétant avec une fréquence f_1 selon n et f_2 selon m.

Travail demandé :

1. *Créer une image 128 × 128 présentant des oscillations de fréquence 0.1 selon n et 0 selon m en tapant (fe=1) :*
   a. img=atom(128,128,0.1,0);
2. *Visualiser l'image. Commenter son contenu.*
3. *Commenter le code de la fonction* fourier2d(img,fe).
4. *Visualiser le spectre 2D de cette image en utilisant la fonction précédente.*
5. *Commenter en mettant en avant la corrélation de ce spectre avec l'information spatiale contenue dans le signal 2D, ainsi que ses particularités et propriétés.*
6. *Afin d'appréhender entièrement les différents aspects d'une analyse spectrale d'un motif harmonique pur 2D, vous allez créer, analyser et commenter, suivant le même mode, des images correspondant aux paramètres suivants (N = 128, M = 128) :*
   a. $f_1 = 0.1 \quad f_2 = 0$
   b. $f_1 = 0 \quad f_2 = 0.1$
   c. $f_1 = 0.3 \quad f_2 = 0.3$
   d. $f_1 = -0.3 \quad f_2 = 0.1$
7. *N'oubliez pas de comparer aussi les différences entre les images !*

b. Contour

L'une des informations essentielles dans les images est l'information contour (limite entre deux objets). Afin d'étudier comment se traduit un contour simple dans le plan fréquentiel, vous allez analyser des images présentant deux zones homogènes avec une seule rupture entre les deux zones (un contour) selon une direction précise

Travail demandé :

1. *Ouvrir les images :* `horizontal.png`, `vertical.png` *et* `diagonal.png` *contenant un contour horizontal, vertical et oblique.*
2. *Pour ces 3 images :*
   a. *Afficher l'image.*
   b. *Visualiser le spectre.*
   c. *Commenter en mettant en avant la corrélation de ce spectre avec l'information contenue dans l'image.*
3. *Conclure sur la localisation d'une rupture dans le domaine fréquentiel.*

c. Texture

Vous allez maintenant étudier des images réelles

Travail demandé :

1. *Charger l'image Metal0007G*
2. *Visualiser l'image*
3. *Visualiser son spectre.*
4. *Commenter les paramètres pertinents du spectre. En déduire des caractéristiques particulières sur le motif présent dans l'image.*
5. *Même travail pour les images :*
   a. *Water0000G*
   b. *Leaves0012G*
6. *N'oubliez pas de comparer aussi les différences entre les images.*

2. Le phénomène de repliement

Lors du processus d'échantillonnage d'un signal 1D ou 2D, il faut respecter certaines contraintes pour que cette étape de discrétisation ne se fasse pas au détriment de l'information contenue dans le signal. Cette contrainte se traduit en fonction de la fréquence maximale présente dans le signal analysé. Si l'on prend l'exemple d'un signal monochromatique 1D tel que :

$$s(t) = \cos(2\pi t)\ (f_{\max} = 1Hz)$$

Intuitivement on en déduit que pour ne pas dégrader l'information (à savoir la fréquence fondamentale présente dans le signal) il faut prendre au moins deux points par période du signal ($F_e > 2f_{max}$). D'une façon générale, cette contrainte est formalisée par le théorème de Shannon. Lorsque cette contrainte n'est pas respectée, il y a un phénomène de repliement spectral (dû à la périodisation du spectre du signal échantillonné). Prenons l'exemple simple d'un signal monochromatique de fréquence 0.75 Hz ($s(t) = \cos(2\pi t \times 0.75)$). Si nous échantillonnons le signal avec $F_e = 1\ Hz$, nous ne vérifions pas le théorème de Shannon et le contenu fréquentiel va alors se replier autour de $F_e/2$. Nous illustrons ce phénomène sur la figure 1.

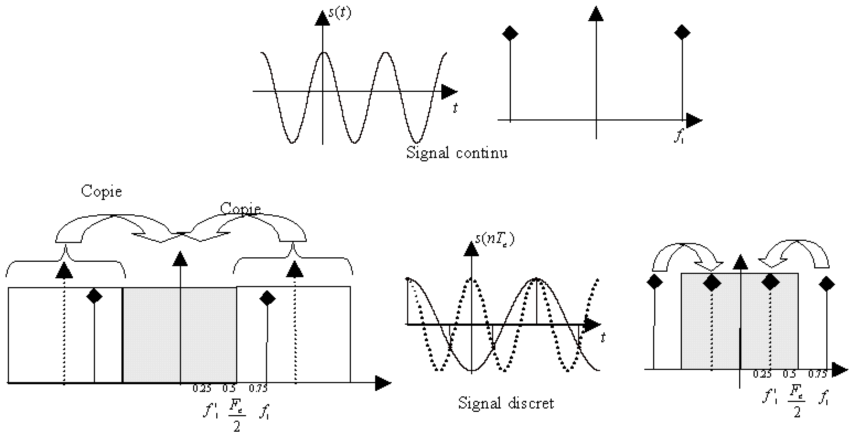

Figure 1 - Repliement spectral dans le cadre d'un signal

Les mêmes conditions sont présentes dans le cadre d'une image. Simplement cette contrainte sur la fréquence d'échantillonnage s'exerce selon les lignes et les colonnes. Lorsque la condition de Shannon n'est pas remplie selon l'une ou l'autre des 2 directions (ou les deux) nous avons alors un phénomène de repliement spectral.

Nous illustrons ce phénomène sur la figure 2 à partir d'un exemple. Soit le signal 2D continu composé d'une seule fréquence fondamentale de coordonnées (0.35, 0.75). Nous échantillonnons ce signal avec une fréquence de 1 selon les lignes et les colonnes. On constate que cet échantillonnage ne respecte pas la condition de Shannon (dans la direction verticale).

Le spectre, après échantillonnage, devient périodique de période 1. Donc, comme nous l'illustrons sur la figure, tous les blocs de coordonnées

$$[0.5 \times k, 0.5 \times (k + 2)] \times [0.5 \times k_2, 0.5 \times (k_2 + 2)] \; avec \; k, k_2 \in Z$$

vont être copiés dans le bloc $[-0.5, 0.5] \times [-0.5, 0.5]$.

Dans cet exemple, ce phénomène explique à la fois les changements de sens des bandes ainsi que leurs "ralentissements".

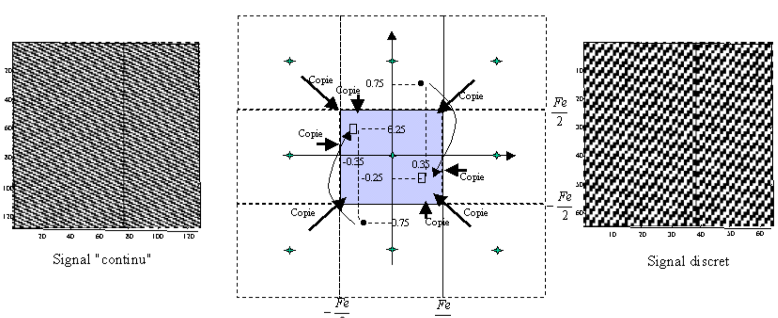

Figure 2 - Repliement spectral dans le cadre d'une image

Nous allons analyser le phénomène de repliement sur une image synthétique composée de bandes périodiques se répétant à une fréquence f_1 selon n et f_2 selon m.

Travail demandé :

1. *Créer une image 128 × 128 présentant des oscillations de fréquences (Fe= 1)*
   a. *0.15 selon n et 0.37 selon m.*
2. *Visualiser l'image (pour voir correctement le sens d'oscillation, vous pourrez binariser l'image.*
3. *Commenter.*
4. *Calculer la transformée de Fourier et afficher son spectre. Commenter.*
5. *Rééchantillonner (Fe'=Fe/2) l'image en sous-échantillonnant l'image initiale.*
6. *Afficher la nouvelle image ainsi que son spectre.*
7. *Commenter l'image et expliquer le phénomène justifiant le résultat.*

3/ Changement d'espaces colorimétriques (comparaison HSV/IHLS)

1. A l'aide de la fonction rgb2hsv d'octave ou python (librairie opencv), effectuer le changement de coordonnées dans cet espace.
2. Coder un système d'affichage niveau de gris pour la luminosité et la saturation et couleur pour la teinte (affichage de la teinte uniquement en couleur, cf images présentées en cours). L'affichage peut être valider sur l'image `confiserie-smarties-lentilles_121-50838.jpg`.
3. Coder le changement d'espace IHSL donné dans le cours colorimétrie.
4. Comparer des images transformées dans les deux espaces. Quelle sont les limites de l'espace HSV ?

4/ Segmentation d'images

1. En utilisant le seuillage vu lors du premier TP segmenter les smarties oranges de l'image `confiserie-smarties-lentilles_121-50838.jpg`.
2. Refaire l'exercice pour segmenter les smarties violet de la même image.
3. Améliorer la segmentation en utilisant les outils de morphologie mathématique (ouverture, fermeture par exemple).
4. L'objectif est maintenant d'éliminer le ciel dans l'image `CeriserP.jpg`. Quel canal/espace est le plus judicieux selon vous ?
5. Segmenter d'autres zones sur d'autres images de votre choix. Justifier le choix des images et des canaux utilisés.
6. Une fois la segmentation effectuée, modifier la couleur de la zone segmentée sur l'image couleur.

!!! Pour aller plus loin (algorithme des k-means)

1. Segmenter les images de votre choix en utilisant l'algorithme des k-means. Choisir judicieusement le nombre de classes en fonctions des éléments que vous souhaitez extraire.
2. Commenter les segmentations obtenues en fonction des espaces utilisés pour le calcul.