INF4710
Introduction aux technologies multimédia

A2016 - Travail pratique #2
Compression avec perte (JPEG/MPEG)

Objectif :

- Permettre à l'étudiant de se familiariser avec la compression avec perte (JPEG).

Remise du travail :

- Au plus tard, le 24 octobre 2016, 14h00, sur Moodle - **aucun retard accepté**

Référence principale :

- Notes de cours sur Moodle, chapitre sur compression avec perte

Documents à remettre :

- L'ensemble de votre code source (.m pour Matlab, .h/cpp pour C++)
- Un rapport (**format .pdf**) contenant un survol de votre travail (présentation du pipeline, ~2 pages), un tableau de taux de compression obtenus pour toutes les images fournies, et les paragraphes de discussion demandés, pour un total de 3-5 pages

Autres directives :

- Pensez à commenter l'ensemble de votre démarche directement dans votre code! Sinon, difficile d'attribuer des points lorsque ça ne fonctionne pas...
- Les TD s'effectuent **obligatoirement** en équipe de deux personnes (peu importe la section de laboratoire). Utilisez le forum Moodle pour trouver, c'est **votre responsabilité**!

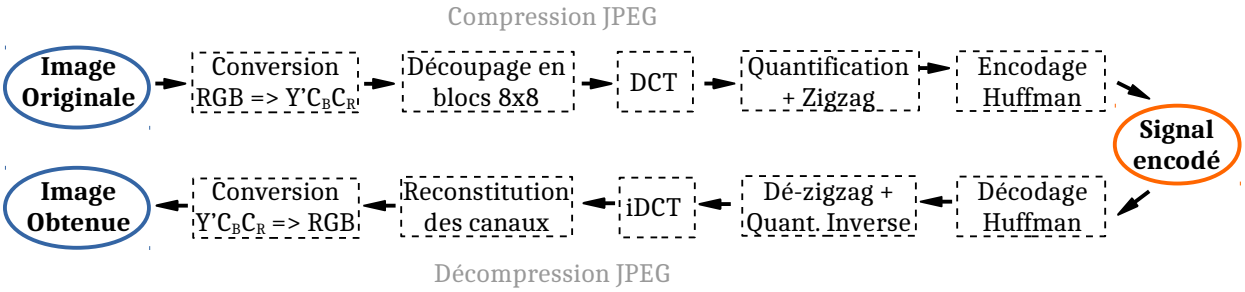
Présentation

L'objectif de ce travail pratique est d'implémenter un pipeline de compression d'images similaire à l'algorithme d'encodage JPEG, qui tient compte du modèle de vision humain (qui lui se comporte comme un filtre passe-bas). Vous aurez donc à implémenter certaines étapes de la procédure d'encodage JPEG, telles le sous-échantillonnage $Y'C_BC_R$, le découpage en blocs, la DCT, et le parcours de blocs en zig-zag. Après avoir complété les fonctions nécessaires, vous pourrez évaluer chaque étape du pipeline et déduire leur rôle ainsi que l'effet de leurs paramètres sur les résultats obtenus.

Votre rapport devra présenter (brièvement) toutes les étapes du pipeline de traitement, les images compressées-décompressées, ainsi que leurs taux de compression (toujours en fonction des paramètres du pipeline). Veillez à bien identifier dans votre présentation quelles étapes du pipeline causent une perte, et quelles étapes « compressent » le signal. Pour plus d'informations sur les exigences du TP, voir le barème à la dernière page.

Codage JPEG d'une image

La norme JPEG constitue une des méthodes de compression les plus répandues pour les images fixes. Elle consiste à transformer l'image en un code, dont l'espace de stockage est plus faible que celui de l'image de départ. Pour réobtenir l'image de départ, ou techniquement l'image de départ dégradée, il s'agit de décoder le code en mémoire. Les étapes de codage/décodage sont illustrées ci-dessous et expliquées dans ce qui suit.



Conversion RGB/Y'C_BC_R :

Cette étape consiste à convertir l'espace de couleur d'une image vers un autre espace à l'aide d'une transformation linéaire. Bien entendu, cette conversion n'est pas nécessaire sur des images qui ne possèdent qu'un seul canal — toutes les images fournies avec le TP ont d'ailleurs trois canaux. Ici, nous nous intéressons aux conversion de RGB vers Y'C_BC_R, et de Y'C_BC_R vers RGB.

Complétez les fonctions dans 'conv_rgb2ycbcr.h/m' et 'conv_ycbcr2rgb.h' qui prennent chacune comme argument une (ou plusieurs) matrice(s) d'une image dans un certain espace de couleur, et qui retourne une copie de l'image dans l'autre espace. **N'utilisez pas les fonctions de Matlab ou d'OpenCV pour faire la conversion — on veut voir vos manipulations au complet!** De plus, ces deux fonctions prennent un autre argument, i.e. un booléen qui dicte si l'on doit considérer un sous-échantillonnage 4:2:0 dans l'espace Y'C_BC_R. S'il n'y a pas de sous-échantillonnage, tous les canaux de données en format Y'C_BC_R seront de même taille, et sinon, les canaux C_B et C_R seront plus petits (voir les notes de cours). Pour les conversions, utilisez les équations suivantes :

$$Y' = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$
$$C_B = 128 + 0.564(B - Y')$$
$$C_R = 128 + 0.713(R - Y')$$

$$R = Y' + 1.403(C_R - 128)$$
$$G = Y' - 0.714(C_R - 128) - 0.344(C_B - 128)$$
$$B = Y' + 1.773(C_B - 128)$$

D'autre part, notez qu'en Matlab, la troisième dimension (profondeur) des images lues par 'imread' contient les canaux dans l'ordre R,G,B, tandis qu'avec OpenCV, les triplets dans la matrice retournée par 'cv::imread' sont dans l'ordre B,G,R.

Suite à l'implémentation de ces deux fonctions, vous pourrez déjà évaluer la perte générée par le changement d'espace de couleur (avec et sans sous-échantillonnage) sur les images de tests fournies avec l'énoncé. Dans votre rapport, **discutez de l'effet de ce changement d'espace sur la qualité de l'image (avec et sans sous-échantillonnage)** sur quelques images de votre choix, et **illustrez la différence entre les images originales et celles réobtenues** après l'opération inverse (utilisez la fonction **`imabsdiff`** de Matlab, ou la fonction **`cv::absdiff`** de OpenCV).

Le découpage en blocs de pixels :

Cette étape consiste à subdiviser une matrice (ou un 'canal', puisqu'on va les traiter indépendamment) en blocs de taille 8x8. Pour cela, **complétez la fonction dans 'decoup.h/m'** qui prend comme entrée une matrice 2D (dont la longueur et la largeur sont toujours des multiples de 8) et qui retourne en sortie ses blocs dans une matrice 3D (en Matlab) ou dans un vecteur de matrices 2D (en C++) de taille 8x8xN, avec N le nombre total de blocs. On vous demande d'effectuer le découpage **ligne par ligne**, et pour tous les canaux individuellement (ça prendra donc trois appels), de façon à obtenir trois matrices 3D ou trois vecteurs (un par canal) qui pourront ensuite être concaténés à l'extérieur de la fonction (voir le code déjà fourni dans '**main.h/cpp**').

Inversement, vous avez à **compléter la fonction dans 'decoup_inv.h/m'** qui reconstitue une matrice 2D à partir de ses blocs. Cette fonction prend aussi en argument la taille originale de la matrice à reconstruire (nécessaire, comme au TP1!).

Transformée en cosinus discrète (DCT) :

Après le découpage de l'image en en blocs, la transformée en cosinus discrète est appliquée à chaque bloc à partir de l'équation ci-dessous; ***n*** représente la taille du bloc à transformer et ***F(x,y)*** représente la couleur correspondant au pixel (x,y).

$$\boldsymbol{C(u,v) = c(u).c(v).\sum_{x=1}^{n}\sum_{y=1}^{n} F(x,y).\cos\left(\frac{\pi(2(x-1)+1)(u-1)}{2n}\right).\cos\left(\frac{\pi(2(y-1)+1)(v-1)}{2n}\right)}$$

Où:

$$\boldsymbol{c(w) = \sqrt{\frac{1}{n}}} \qquad \text{si } \boldsymbol{w = 1}$$

$$\boldsymbol{c(w) = \sqrt{\frac{2}{n}}} \qquad \boldsymbol{sinon}$$

La DCT prend un ensemble de points d'un domaine spatial et les transforme en une représentation équivalente dans le domaine fréquentiel. Elle permet d'identifier facilement les hautes fréquences afin qu'elles soient filtrées. Ici, nous vous demandons de **compléter la fonction dans 'dct.h/m'** qui calcule la transformée en cosinus discrète d'un bloc carré de l'image. **Encore une fois, n'utilisez pas les fonctions d'OpenCV ou de Matlab — on veut voir vos calculs!** Par contre, pour vérifier le fonctionnement de votre fonction, vous pouvez comparer vos coefficients à ceux obtenus avec la fonction **`dct2`** de Matlab ou **`cv::dct`** de OpenCV.

Par la suite, **complétez la fonction dans 'dct_inv.h/m'** qui calcule la transformée inverse de la DCT selon l'équation ci-dessous; ***n*** représente la taille du bloc considéré, la fonction ***c(w)*** est la même que celle donnée plus haut, et ***C(x,y)*** représente le coefficient DCT du pixel (x,y).

$$\boldsymbol{F(x,y) = \sum_{u=1}^{n}\sum_{v=1}^{n} c(u).c(v)C(u,v).\cos\left(\frac{\pi(2(x-1)+1)(u-1)}{2n}\right).\cos\left(\frac{\pi(2(y-1)+1)(v-1)}{2n}\right)}$$

Notez bien que le résultat de la DCT est une matrice 8x8 de **type float ou double**, et que l'opération inverse doit retourner le type original de l'image (**uint8/uchar**)! Dans votre rapport, **discutez de l'effet de cette transformation** sur quelques images de votre choix, et **illustrez la différence entre les images originales et celles obtenues** après l'opération inverse (utilisez la fonction **`imabsdiff`** de Matlab, ou la fonction **`cv::absdiff`** de OpenCV).

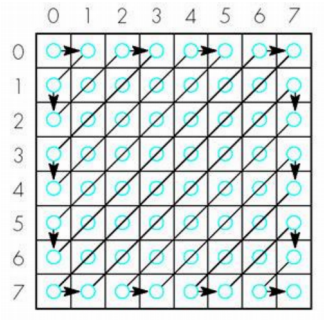
Quantification :

Suite à l'application de la DCT, la quantification s'applique sur chaque bloc de coefficients obtenu. Cette étape consiste à diviser terme par terme le bloc DCT de taille 8x8 par la matrice de quantification elle aussi de taille 8x8, créée à partir du facteur de qualité **F**. Le fichier contenant la fonction **'quantif'** (.h/m) et celui contenant sont opération inverse ('**quantif_inv**') vous sont déjà fournis, mais vous aurez à les compléter (il manque une opération assez triviale). Notez que les matrices de quantification sont naïvement données pour quatre niveaux de qualité, soit **F=10**, **F=50, F=90,** et **F=100**.

Les résultats obtenus après quantification doivent être arrondis vers les valeurs entières les plus proches. Le type entier 16-bit signé **int16/short** (au lieu de **uint8/uchar**) est nécessaire ici afin de préserver les valeurs négatives issues de la DCT — l'encodage de Huffman devrait par contre accommoder n'importe quelle taille d'entier sans affecter la compression finale. La quantification inverse consiste à multiplier les valeurs d'un bloc par la même matrice de quantification, et de les retourner en **float**.

Zigzag :

Les blocs quantifiés sont ensuite parcourus en zigzag afin de créer un vecteur 1D (comme dans la figure ci-dessous). Vous devez **compléter la fonction dans 'zigzag.h/m'** afin de créer un vecteur des valeurs parcourues. Notez que sa fonction inverse, **'zigzag_inv.h/m', vous est fournie, et ne doit pas être modifiée**.



Encodage de Huffman :

Par la suite, pour réduire la taille des vecteurs 1D obtenus, un codage de Huffman doit être effectué. Dans ce cas-ci, nous vous fournissons aussi la fonction **'huff.h/m'** permettant d'effectuer un codage Huffman des vecteurs obtenus. Pour accéder au code de Huffman, utilisez le champ 'string' de la structure fournie en sortie de la fonction (c'est elle qui contient toute l'information de l'image compressée).

Vous devez de votre côté compléter l'implémentation de la fonction inverse, '**huff_inv.h/m**', qui devra reconstruire les vecteurs 1D à partir du code de Huffman ainsi que de la carte de correspondances (aussi contenue dans la structure retournée par la fonction '**huff.h/m**' sous le membre 'map'). Pour ceux qui travaille en Matlab, n'utilisez **PAS** la fonction **huffmandeco**; encore une fois, on veut voir votre code!

Analyse du pipeline de compression :

Dans un nouveau script Matlab (ou dans votre 'main' en C++), pour toutes les images fournies, procédez à une compression selon les quatres niveaux de la fonction **'quantif'**, avec et sans sous-échantillonnage. Calculez et transcrivez dans votre rapport tous les taux de compression, et illustrez les images où la compression-décompression semble entraîner le plus de perte. Discutez de l'efficacité de la compression pour toutes les images. Notez que ce script (ou votre 'main') ne sera pas corrigé.

Rappel : Taux de Compr. = 1 - (Longueur du signal compressé / Longueur du signal original)

Références supplémentaires

- Aide-mémoire (« Cheat sheet ») Matlab :
  - http://web.mit.edu/18.06/www/Spring09/matlab-cheatsheet.pdf
- Guide complet Matlab :
  - http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/getstart.pdf
- C++ : utilisez OpenCV pour lire/écrire/modifier vos images!
  - http://opencv.org/
  - http://docs.opencv.org/doc/tutorials/tutorials.html
- Pipeline JPEG :
  - https://en.wikipedia.org/wiki/JPEG

Barême

- **Implémentation et fonctionnement :**
  - conv_rgb2ycbcr/conv_ycbcr2rgb = 2 pts
  - decoup/decoup_inv = 2 pts
  - dct/dct_inv = 2 pts
  - quantif/quantif_inv = 1 pt
  - zigzag_inv = 1.5 pts
  - huff_inv = 1.5 pts
- **Rapport :**
  - Présentation du pipeline (toutes les étapes) = 2 pts
  - Discussion + évaluation perte, conversion couleur seulement = 1 pt
  - Discussion + évaluation perte, DCT seulement = 1 pt
  - Discussion + évaluation perte, pipeline complet = 2 pt
  - Taux de compression et illustrations de pertes = 2 pt
  - Lisibilité, propreté et complétude = 2 pts

(sur 20 pts)