

COMPRESSION D'IMAGES

1

1. Compression d'images numériques
2. JPEG
 - Principe
 - Transformée Cosinus Discrète
 - Quantification
 - Compression

IMAGE NUMÉRIQUE

2

1. Image numérique : numérisée ou image de synthèse
 - Ensemble de pixels, chaque pixel défini par abscisse et ordonnée
 - stockage matriciel des données (couleur) attachées à chaque pixel
2. Modèles de couleur
 - Noir et blanc : pixel codé sur 2 bits
 - Monochrome 256 niveaux de gris : pixel codé sur 8 bits
 - Mélange de 3 images monochromes (moniteurs couleur) Rouge, Vert, Bleu (R, G, B) : pixel codé sur 24 bits
 - Luminance-Chrominance YCbCr (télévision) : pixel codé sur 24 bits, avec information dominante en Y (utilisé pour compression JPEG)
 - Conversion (R, G, B) \leftrightarrow (Y, Cb, Cr)
3. Paramètres de description d'un fichier image : dimension, nb bits/pixel, codage couleur, rangement des pixels et des bits, algo de compression.

LUMINANCE-CHROMINANCE

3

- $Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$
- $Cb = B - Y$
- $Cr = R - Y$

Sensibilité de l'oeil humain plus faible dans couleur que dans luminosité

- RGB chaque composante transporte infos de couleur ET de luminosité,
- YCrCb, les info de couleurs sont séparées de la composante luminosité

Sous-échantillonnage de la Chrominance

- Les deux chrominances de bases sous-échantillonnées
- 1 info pour 2 pixels en horizontale 2h1v (et en verticale 2h2v)
- gain de 50% (75% pour 2h2v)

COMPRESSION D'IMAGES

4

Image numérique 1024 * 768 * 3 octets \rightarrow 2,4 Mo !!!

1. Taux de compression
 - Peu de redondances \rightarrow mal adapté méthodes statistiques ou dict.
 - Avec compression sans perte taille fichier divisée par 3, insuffisant !
 - Compression avec perte taille fichier divisée par 50 \rightarrow 50 Ko !
2. Élimination d'information \rightarrow perte de couleur ou de précision
 - mal adapté pour images médicales, géographiques, ...
 - suffisant pour images multimedia, grand public
3. Compression vs Décompression
 - Compression : étape décisive, détermine taux de compression, peut être longue relève du concepteur d'applications
 - Décompression faite par l'utilisateur \rightarrow doit être rapide

MÉTHODES DE COMPRESSION

5

1. JPEG
 - simple et rapide, paramètres pour jouer sur qualité de l'image
2. RVQ (Recursive Vector Quantization)
 - compression lente et complexe,
 - mais décompression rapide, → temps réel audio-vidéo
 - meilleur taux de compression que JPEG
3. Compression par ondelettes
 - Décomposition du signal en somme de fonctions (sinusoïdales +...)
 - concilie compression *avec et sans* perte d'information
4. Compression fractale (Iterated Function System)
 - image stockée sous forme de transformation d'ensembles de points
 - compression lente décompression rapide

Efficacité de la compression dépend de la nature des images traitées

COMPRESSION JPEG

6

JPEG = Joint Photographic Expert Group

CCITT (Consultative Committee for International Telegraph and Telephone)
+ ISO (International Standard Organisation) 1987-91

Norme internationale pour la compression d'images fixes : spécifications pour codages conservateurs et **non conservateurs** :

- format des fichiers : contenu des blocs d'en tête, définition des paramètres utilisateurs, découpage des images, ...
- **algorithmes de compression : DCT + Quantification + codage statistique (RLE, Huffman, Codage arithmétique)**

Utilisation : appareils photo numériques, imprimantes, scanners, Web, ...

Dégradation de l'image décompressée indiscernable à l'oeil, mais taux de compression important (: 10 → : 50).

PRINCIPE DE JPEG

7

- Décomposition image source en 3 comp. "niveau de gris" (Y, Cr, Cb),
- Pour une composante, découpage en blocs 8*8 pixels, (*taille des blocs 8*8 permet d'avoir bons taux de compression, bonne qualité de restitution et temps de compression et décompression raisonnable (passer de 8 à 16 fait doubler temps de compression et décompression)*)
- Et pour chaque bloc
 1. Transformation linéaire (DCT) → bloc de fréquence
 2. Quantification selon table (perte d'information)
 3. Compression conservative (RLE + Huffman + ...)

Transmettre le fichier compressé (et éventuellement tables de quantification)

Décompression + transformation DCT inverse pour restituer l'image.

AVANTAGES DE JPEG

8

- adapté aux images en ton continu
- ne dépend pas de la taille de l'image, ni de l'espace des couleurs
- qualité de l'image paramétrable (selon le pas de quantification)
taux de compression d'autant meilleur que qualité demandée faible
compromis taux de compression//qualité
- divers modes : sans perte, progressif, hiérarchique.

SCHEMA DE COMPRESSION-DECOMPRESSION

Compression

$$B \xrightarrow{DCT} f(B) \xrightarrow{Quant.} Q(f(B)) \xrightarrow{Compr.} C(Q(f(B)))$$

Décompression

$$C(Q(f(B))) \xrightarrow{Decompr.} Q(f(B)) \xrightarrow{Dequant.} \widehat{f(B)} \xrightarrow{DCT^{-1}} f^{-1}(\widehat{f(B)})$$

QUALITE DE LA COMPRESSION

1. Évaluation quantitative

- Image originale Im formée de N -blocs $B = (n_{i,j})$, $n_{i,j}$ niveaux de gris
- Image Im' après compression-décompression : blocs $B' = (n'_{i,j})$
- Ecart quadratique moyen : $EQM(B, B') = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} (n_{i,j} - n'_{i,j})^2$
- Valeur moyenne de l'EQM : $Moy(EQM) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} (\sigma_{i,j}^2 + \mu_{i,j}^2)$
avec $\mu_{i,j}$ et $\sigma_{i,j}^2$ moyenne et variance de $X_{i,j} = n_{i,j} - n'_{i,j}$

2. Système visuel humain

- nuances de couleur
- sensibilité aux différences d'intensité lumineuse
- acuité diminue lorsque fréquence augmente

TRANSFORMATIONS LINÉAIRES

bloc de couleurs $B = (Y_{i,j}) \xrightarrow{Transf.Lin.}$ bloc de fréquences $f(B) = (F_{i,j})$

Transformation provoque "compaction d'énergie" de l'information image dans le domaine fréquentiel, facilite l'élimination des infos non pertinentes par filtrage des coefficients de haute fréquence (dont disparition n'affecte pas perception visuelle).

$$\begin{pmatrix} F_{0,0} \\ \dots \\ F_{0,N-1} \\ \dots \\ F_{N-1,0} \\ \dots \\ F_{N-1,N-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (A_{i,j})_{i=0,\dots,N-1 \ j=0,\dots,N-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{0,0} \\ \dots \\ Y_{0,N-1} \\ \dots \\ Y_{N-1,0} \\ \dots \\ Y_{N-1,N-1} \end{pmatrix}$$

TRANSFORMÉE COSINUS DISCRÈTE

Transformée Cosinus Discrète (DCT) :

$$F(u, v) = \frac{2}{N} c(u)c(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} Y(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right]$$

avec $c(0) = \frac{1}{\sqrt{2}}$ et $c(k) = 1$ pour $k \neq 0$.

Transformée Cosinus Discrète Inverse :

$$Y(x, y) = \frac{2}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} c(u)c(v) F(u, v) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right]$$

AUTRE EXPRESSION DE LA DCT

13

Soit M t.q. $M(i, j) = c_j \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \left[\frac{(2i+1)j\pi}{2N} \right]$, pour $N = 8$:

$$M = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{8}} & \frac{1}{2} \cos \frac{\pi}{16} & \frac{1}{2} \cos \frac{2\pi}{16} & \dots & \frac{1}{2} \cos \frac{7\pi}{16} \\ \frac{1}{\sqrt{8}} & \frac{1}{2} \cos \frac{3\pi}{16} & \frac{1}{2} \cos \frac{5\pi}{16} & \dots & \frac{1}{2} \cos \frac{21\pi}{16} \\ & & \dots & & \\ \frac{1}{\sqrt{8}} & \frac{1}{2} \cos \frac{15\pi}{16} & \frac{1}{2} \cos \frac{30\pi}{16} & \dots & \frac{1}{2} \cos \frac{105\pi}{16} \end{pmatrix}$$

Propriétés

1. $M^t * M = I$ (M orthogonale)
2. $F = M^t Y M$ et $Y = M F M^t \implies$ Calcul efficace

AVANTAGES DE LA DCT

14

1. Efficacité du double calcul matriciel (M coeffs réels et orthogonale)
2. Disproportion et décomposition fréquentielle des coefficients transformés : dans la matrice F
 - valeurs les plus élevées regroupées dans coin sup. gauche
 - valeurs de plus en plus faibles vers coin inf. droit (hautes fréquences)
3. "Beaucoup" de "petits" coefficients, localisés
 - dans zone "précise" (facilite suppression-remplacement)
 - dans zone d'acuité visuelle minimale (petite distorsion)
 - suppression d'un grand nombre de coeff (compression)
4. Compacte l'énergie moyenne sur petit nombre de coefficients

$F(0,0)$: DC (Direct Cosine) proportionnel à la valeur moyenne des pixels
 $F(u,v), u, v \neq 0$: AC (Adaptative cosine) écart périodique par rapport à la moyenne

EXEMPLE

15

Bloc initial de niveaux de gris

$$B = \begin{pmatrix} 100 & 155 & 131 & 116 & 151 & 135 & 131 & 211 \\ 120 & 135 & 127 & 88 & 155 & 131 & 155 & 179 \\ 120 & 135 & 151 & 100 & 179 & 116 & 155 & 167 \\ 120 & 155 & 151 & 108 & 191 & 112 & 155 & 179 \\ 135 & 151 & 135 & 120 & 167 & 112 & 179 & 179 \\ 120 & 151 & 155 & 151 & 151 & 116 & 179 & 179 \\ 135 & 151 & 167 & 167 & 151 & 151 & 167 & 171 \\ 120 & 151 & 179 & 151 & 151 & 131 & 155 & 167 \end{pmatrix}$$

Exemple tiré de X. Marsault

Compression et cryptage des données multimedia HERMES

EXEMPLE

16

Bloc de fréquences obtenu après centrage (-128) et DCT (arrondi)

$$f(B) = \begin{pmatrix} 145 & -84 & 34 & -69 & 4 & -66 & -35 & 72 \\ -145 & -28 & 28 & 19 & 10 & -54 & 5 & 15 \\ 0 & -2 & -8 & -15 & -9 & 0 & 30 & -41 \\ 9 & -14 & 15 & -11 & 5 & 8 & -12 & -32 \\ 1 & 1 & 3 & -11 & 7 & -23 & -4 & 0 \\ 18 & 4 & -17 & -10 & 4 & -10 & 7 & -10 \\ -5 & 1 & -7 & -20 & 1 & -1 & -3 & 5 \\ 3 & 1 & 1 & 9 & 2 & 7 & 2 & -2 \end{pmatrix}$$

QUANTIFICATION

17

Rappel : Schéma de compression

$$B \xrightarrow{DCT} f(B) \xrightarrow{Quant.} Q(f(B)) \xrightarrow{Compr.} C(Q(f(B)))$$

Quantification = phase non conservative du processus de compression.

Valeurs de $f(B)$ divisées par quanta fixés par **table de quantification** Q :

$$Q(i, j) = 1 + F_q(1 + \mu(i^n + j^n))$$

n et μ paramètres permettant d'ajuster les variations des coefficients

F_q facteur de qualité (plus F_q est grand, plus l'image est dégradée)

Bloc quantifié

$$Q(f(B))_{i,j} = Ent[f(B)_{i,j}/Q(i, j)]$$

EXEMPLE

18

Quantification du bloc DCT précédent, avec $n = \mu = 1$ et $F_q = 5$

$$Q(f(B)) = \begin{vmatrix} 24 & -7 & 2 & -3 & 0 & -2 & 0 & 1 \\ -4 & -1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

EXEMPLE

19

Déquantification

$$\widehat{f(B)} = \begin{vmatrix} 144 & -77 & 32 & -63 & 0 & -62 & 0 & 41 \\ -44 & -16 & 21 & 0 & 0 & -36 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

EXEMPLE

20

DCT inverse

$$f^{-1}(\widehat{f(B)}) = \begin{vmatrix} 112 & 145 & 137 & 107 & 149 & 130 & 139 & 124 \\ 114 & 145 & 139 & 110 & 149 & 131 & 141 & 183 \\ 117 & 145 & 143 & 116 & 151 & 133 & 144 & 181 \\ 121 & 145 & 148 & 124 & 152 & 135 & 148 & 179 \\ 126 & 145 & 153 & 132 & 154 & 137 & 152 & 177 \\ 130 & 145 & 158 & 139 & 155 & 139 & 156 & 175 \\ 133 & 145 & 162 & 145 & 157 & 141 & 159 & 173 \\ 135 & 146 & 164 & 148 & 157 & 142 & 161 & 172 \end{vmatrix}$$

CODAGE DES BLOCS DCT QUANTIFIÉS

21

1. Parcours de la matrice
 - Séquence zigzag, du coin sup. gauche au coin inf. droite
 - Ce parcours contient de longues séquences de 0 consécutifs
2. Compression (sans perte)
 - Codage des 0 avec RLE
 - Codage de Huffmann ou arithmétique pour le reste
 - Les fréquences ont des redondances exploitables statistiquement
 - DC et AC codés séparément
 - DC = valeur moyenne → semblable d'un bloc au suivant → code les différences de DC
 - AC codé RLE