

Image Numérique

Cours 1 : les bases de l'image

Valérie Gouet-Brunet

Valerie.Gouet@cnam.fr

2006-2007

L'imagerie numérique

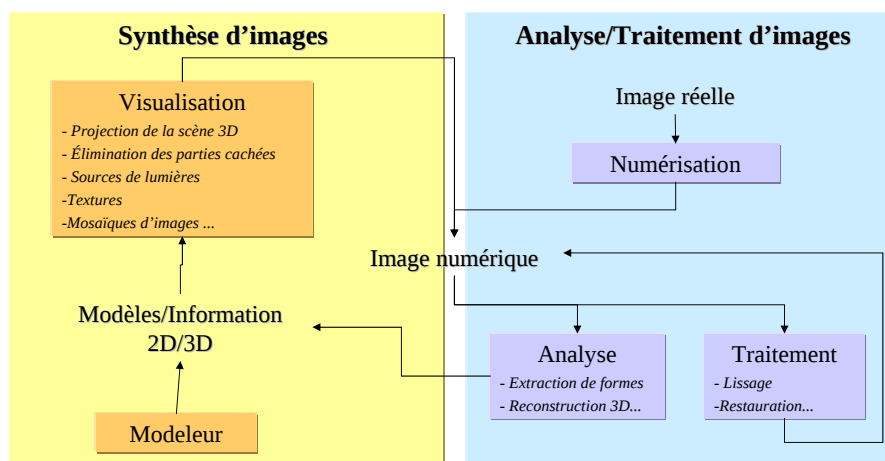


Image numérique

2

Planning des cours en «Image»

- Séance #1 : Les bases de l'image
 - Acquisition d'une image numérique
 - Traitement et analyse de l'image numérique
 - Éléments de géométrie
- Séance #2 : Applications
 - Trois/quatre Applications (principes, difficultés et résultats)
 - *Reconstruction 3D*
 - *Mosaïque d'images / Transfert d'images*
 - *Suivi d'objets dans les vidéos*
- 3 séances en Juin : Bases de données Image
- Master Informatique M2 : UEs NSY218 et NSY219
 - URL : <http://cedric.cnam.fr/~gouet/FVO/>

Image numérique

3

Acquisition d'une image numérique

1. Formation de l'image
 - Perception de la couleur
 - Les systèmes de vision
2. Représentation numérique de l'image
 - Échantillonnage
 - Espaces colorimétriques
3. Stockage de l'image
 - Formats d'images
 - Compression des données

Image numérique

4

Perception de la couleur

Le spectre électromagnétique

Qu'est-ce que la lumière ?

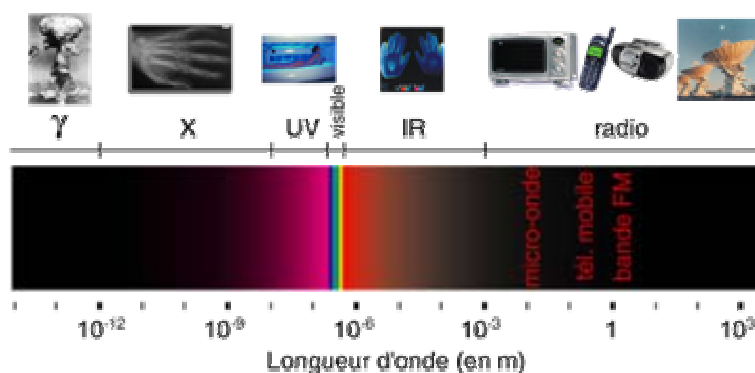
- **Lumière** : onde électromagnétique périodique, composée de « grains » d'énergie (les photons).
- **Vitesse de propagation** : 300 000 km/s (dans le vide)
- **Longueur d'onde** : distance parcourue par le photon entre 2 périodes de vibration.
- **Spectre électromagnétique** : ensemble des photons de différentes longueurs d'onde.

Image numérique

5

Perception de la couleur

Le spectre électromagnétique



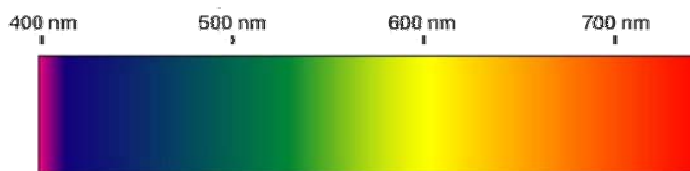
Le spectre des ondes électromagnétiques

Image numérique

6

Perception de la couleur

Le spectre visible



Violet	400-446 nm
Bleu	446-500 nm
Vert	500-578 nm
Jaune	578-592 nm
Orange	592-620 nm
Rouge	620-750 nm

Le spectre visible (par l'œil)

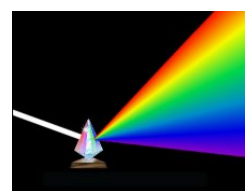
Image numérique

7

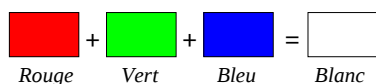
Perception de la couleur

Le spectre visible – décomposition de la lumière

- Décomposition de la lumière solaire (= lumière blanche)



- Synthèse additive des 3 couleurs primaires



- Couleurs complémentaires (synthèse soustractive)

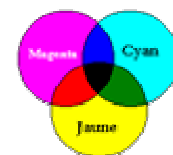


Image numérique

8

Perception de la couleur

Propagation des rayons lumineux

Comment se comporte le matériau face à la lumière ?

- A la frontière de deux milieux, un rayon lumineux incident est séparé en plusieurs composantes distinctes :
 - Diffusée,
 - Réfléchie (spéculaire),
 - Transmise (réfractée),
 - Absorbée.

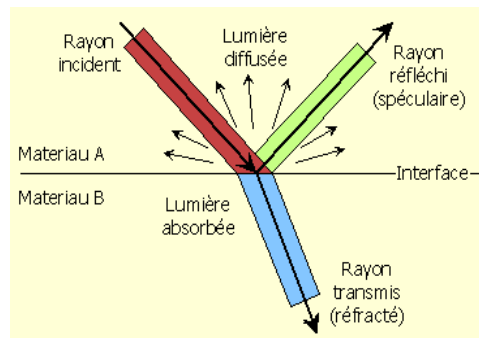


Image numérique

9

Perception de la couleur

Propagation des rayons lumineux

- Les lois de la physique pour la ré-émission de la lumière :

- Objet parfaitement diffusant (lambertien) :

➤ loi de Lambert

Ex : plâtre.



- Objet parfaitement réfléchissant (réflexion spéculaire) :

➤ 1^{ère} loi de Descartes

Ex : métal, miroir.



- Objet transparent (réfractant) :

➤ 2^{ème} loi de Descartes

Ex : verre.



Image numérique

10

Perception de la couleur

Propagation des rayons lumineux

- Cas de l'absorption de la lumière :
 - En d'autres termes, la couleur d'un objet dépend :
 - Du matériau qui le compose
 - De la lumière (longueur d'onde et direction) qui l'éclaire
 - Ex : un objet vert éclairé par une lumière rouge apparaît noir.
 - Ex : un objet brillant éclairé en lumière blanche a des reflets blancs.

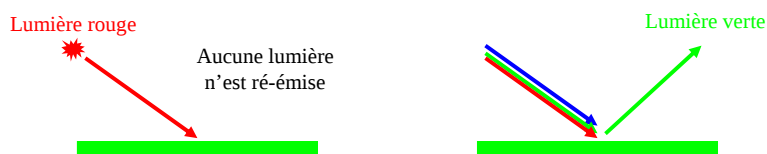


Image numérique

11

Les systèmes de vision

La camera obscura

- L'ancêtre : *la camera obscura* (Aristote, Léonard de Vinci)

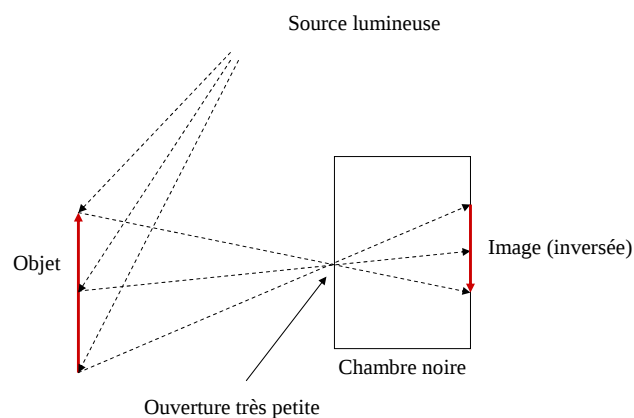


Image numérique

12

Les systèmes de vision

La camera obscura



Image numérique

Abelardo Morell

13

Les systèmes de vision

La vision humaine

L'œil

- L'optique de l'œil :
 - La cornée et le cristallin permettent aux rayons lumineux de converger sur la rétine en passant dans la pupille.
- 2 types de récepteurs sur la rétine :
 - Les cônes (7 millions) autour de la fovéa
 - Les bâtonnets (120 millions)
- Des transformations chimiques :
 - La rhodopsine contenue dans les cônes et bâtonnets absorbe la lumière et la transforme en substances chimiques.
- Des transformations nerveuses :
 - Chaque récepteur rétinien est relié par une synapse à une cellule nerveuse elle-même reliée à des cellules constituant les fibres du nerf optique.
 - Le nerf optique conduit l'information jusqu'au cerveau (corps genouillé, cortex strié).

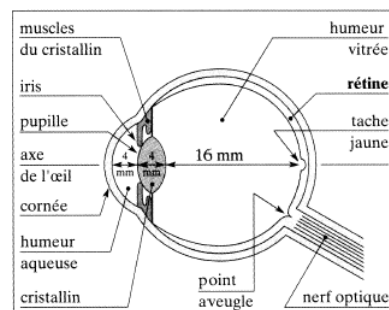


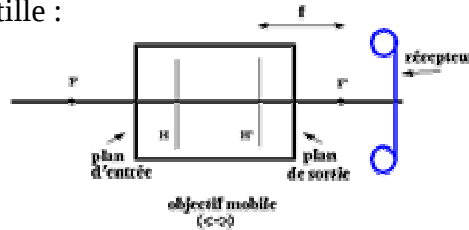
Image numérique

14

Les systèmes de vision

Les systèmes à base de lentille

- Les systèmes à base de lentille :



- **Objectif** : système optique, composé de plusieurs lentilles, qui forme une image des objets placés devant lui,
- **Obturbateur** : mécanique ou électronique qui détermine la durée d'exposition du film sensible,
- **Diaphragme** : comparable à l'iris de notre oeil, laissant passer au travers de l'objectif une plus ou moins grande quantité de lumière,
- **Système de visée** : pour cadrer l'image et... savoir ce que l'on enregistre sur le film,
- **Système de mise au point** : pour l'obtention d'une image nette,
- **Système de transport du film** : permettant d'avancer une nouvelle surface de film vierge après chaque prise de vue,
- et enfin un **boîtier** étanche à la lumière contenant les éléments précédents.

Image numérique

15

Les systèmes de vision

Les récepteurs

- Récepteurs pour la photographie argentique : les sels d'argent
 - Principe : modification des caractéristiques chimiques des sels d'argent sous l'effet de la lumière



- Pour la couleur : superposition de 3 couches de sels et de filtres.
- La qualité du film est liée à la sensibilité des sels à la lumière et à leur granularité :
 - 400 ISO → bonne sensibilité, gros grain.
 - 100 ISO → faible sensibilité, grain fin.

Image numérique

16

Les systèmes de vision

Les récepteurs

- Récepteurs de numérisation : le capteur CCD
 - CCD : *Charged Coupled Device* (DTC – Dispositif à Transfert de Charges)
 - Principe : Ensemble de cellules photo-sensibles qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique.
 - Utilisés dans les appareils photos et caméras vidéo numériques mais aussi les scanners.
 - Pour la couleur :
 - Capteur mono-CCD (*grand public*) : *filtre mosaïque*.
 - Capteur tri-CCD (*professionnel*) : *prisme*.
 - La qualité de l'image formée dépend du nombre de cellules.

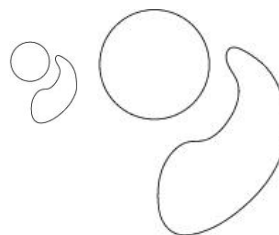
Image numérique

17

Représentation numérique de l'image

- Une image numérique peut être :

- vectorielle : image décrite par des formes géométriques
Ex : les graphiques



- matricielle (*bitmap*) : ensemble de points (pixels - *picture element*)

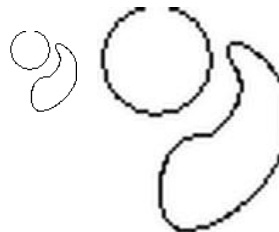


Image numérique

18

Représentation numérique de l'image

Cas des images bitmap

- Difficulté de la numérisation : on passe d'un monde réel (infini) à un monde discret (fini).

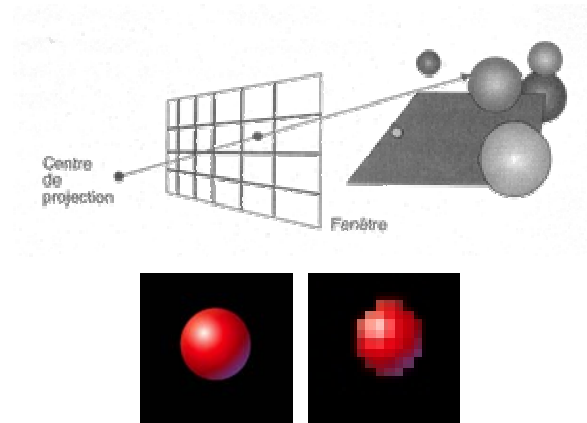


Image numérique

19

Représentation numérique de l'image

Cas des images bitmap

- La qualité de l'information codée dépend de 2 éléments :
 - La densité de ces pixels appelée communément résolution de l'image.
 - L'information de couleur donnée sur un pixel
 - *Codage de la couleur (dynamique)*
 - *Représentation de la couleur (espaces colorimétriques)*

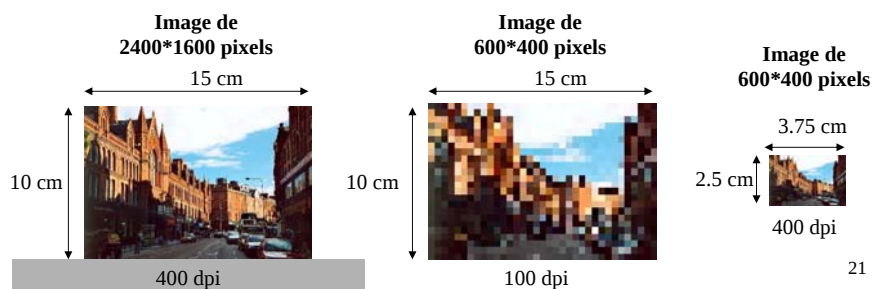
Image numérique

20

Représentation numérique de l'image

Le facteur de résolution

- Le facteur de résolution d'une image
 - Une image est caractérisée par ses dimensions en nombre de pixels (et non en centimètres).
 - Définition** : nombre de pixels par unité de longueur (pouce)
 - Unité : ppi/ppp (pixel per inch / pixel par pouce)
 - Ex : cas de l'écran : 72 dpi pour un 15'' en 800*600.
 - ≠ résolution d'impression en dpi/ppp (dot per inch / point par pouce)



21

Représentation numérique de l'image

La dynamique

*Quelle dynamique choisir ou
Comment coder l'information de couleur pour chaque pixel ?*

- 1 bit : image noir et blanc
- 8 bits : 256 niveaux de gris ou couleurs
 - Image en niveaux de gris
 - Image en couleur indexée dans une palette (table) de couleurs
- 24 bits : 16 777 216 millions de couleurs (*True Color*)
 - Ex : une image de 800*600 pixels occupe 1.4Mo.
- Relations entre dynamique, résolution et poids ([exemples](#))

R			0				255
V			0				255
B			255				255
index	...	...	6	...	...	...	255

Image numérique

22

Représentation numérique de l'image

La dynamique

- Compromis richesse - coût de stockage :

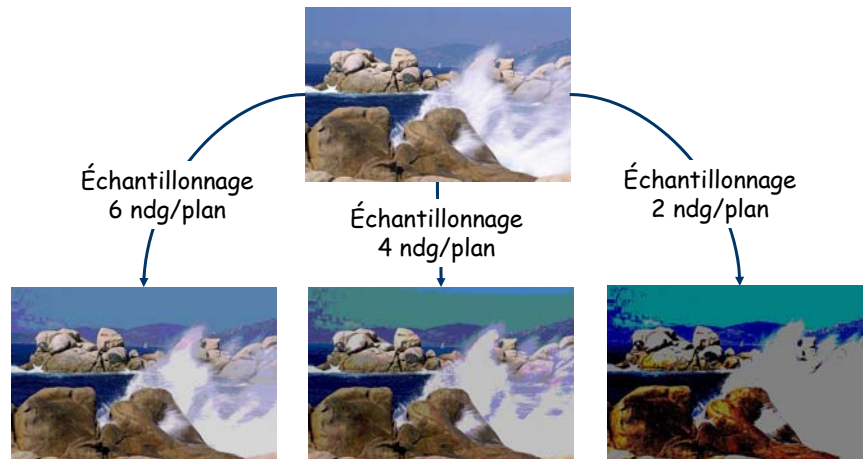


Image numérique

23

Représentation numérique de l'image

Les espaces colorimétriques

- CIE : Commission Internationale de l'Éclairage
 - XYZ et xy
- Espaces linéaires :
 - RVB
 - CMJ et CMJN
 - ...
- Espaces non linéaires :
 - HSV
 - Lab
 - ...

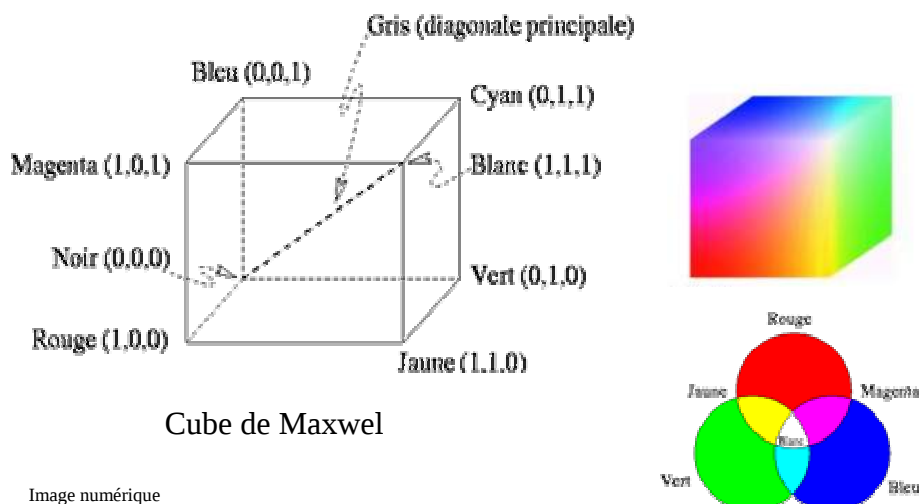
Image numérique

24

Représentation numérique de l'image

Les espaces colorimétriques

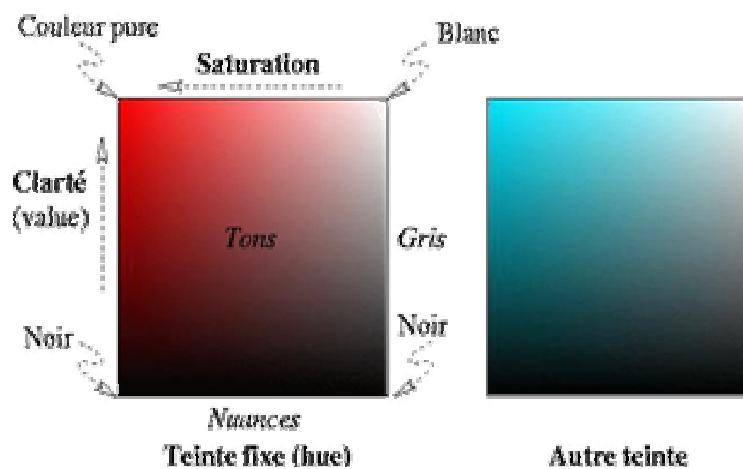
- Espace RVB :



Représentation numérique de l'image

Les espaces colorimétriques

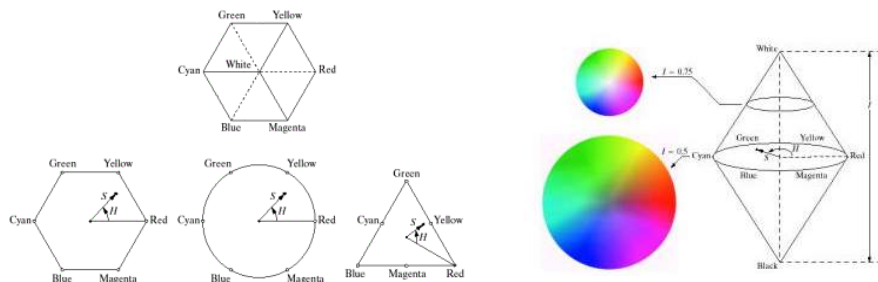
- Espace HSV :



Représentation numérique de l'image

Les espaces colorimétriques

- Espace HSV (suite) :



<http://www.prenhall.com/gonzalezwoods>

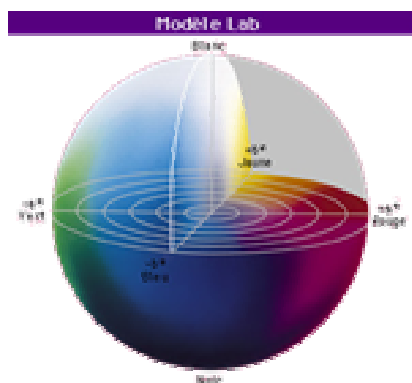
Image numérique

27

Représentation numérique de l'image

Les espaces colorimétriques

- Espace Lab :



$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

- Deux couleurs proches en distance le sont aussi pour l'œil.

Image numérique

28

Stockage de l'image

- Les formats matriciels (bitmap) :

- *BMP*
- *GIF*
- *JPEG*
- *TIFF*
- *PNG*
- ...

- Les formats vectoriels :

- *DXF*
- *EPS*
- *PSD*
- ...

Image numérique

29

Stockage de l'image

Le format BMP

BMP

- Format de Windows et d'OS/2
- Dynamique : de 1 à 24 bits par pixel
- Compression : non (parfois RLE)

Image numérique

30

Stockage de l'image

Le format BMP

BMP – Microsoft Windows bitmap image file

Byte Order: Little-endian

Offset	Length	Contents
0	2 bytes	"BM"
2	4 bytes	Total size included "BM" magic (s)
6	2 bytes	Reserved1
8	2 bytes	Reserved2
10	4 bytes	Offset bits
14	4 bytes	Header size (n)
18	n-4 bytes	Header (See below)
14+n .. s-1		Image data

Header: n==12 (Old BMP image file format, Used OS/2)

Offset	Length	Contents
18	2 bytes	Width
20	2 bytes	Height
22	2 bytes	Planes
24	2 bytes	Bits per Pixel

Header: n>12 (Microsoft Windows BMP image file)

Offset	Length	Contents
18	4 bytes	Width
22	4 bytes	Height
26	2 bytes	Planes
28	2 bytes	Bits per Pixel
30	4 bytes	Compression
34	4 bytes	Image size
38	4 bytes	X Pixels per meter
42	4 bytes	Y Pixels per meter
46	4 bytes	Number of Colors
50	4 bytes	Colors Important
54 (n-40) bytes		OS/2 new extentional fields??

Image numé .

31

Stockage de l'image

Le format TIFF

TIFF : Tagged Image File Format

- Format de base (sortie du scanner)
 - Attention : différentes versions selon la plate-forme !
- Dynamique : 24 bits par pixel
- Compression : oui (non destructive)
 - A préciser au moment de l'enregistrement (LZW, Huffman, ...)
- Plusieurs espaces colorimétriques (RVB, CMYK)

Image numérique

32

Stockage de l'image

Le format GIF

GIF : *Graphic Interchange Format*

- Format propriétaire (sous brevet jusqu'en 2003)
 - développé par CompuServe Inc.
- Dynamique : images indexées sur 256 couleurs
 - Particulièrement adapté aux graphiques et logos
- Compression : oui et sans pertes (LZW)
- 2 versions :
 - GIF87a : transparence, entrelacement
 - GIF89a : transparence, entrelacement, animation



Image numérique

33

Stockage de l'image

Le format JPEG

JPEG : *Joint Photographic Expert Group*

- Dynamique : 24 bits (*True Color*)
 - Particulièrement adapté aux photographies
- Compression : oui mais destructive (paramétrable)
- Entrelacement possible (mais les navigateurs anciens ne le gèrent pas)
- Amélioration : JPEG 2000



Image originale

qualité 75%

qualité 50%

qualité 25%

qualité 10%

20 Ko

7 Ko

5 Ko

3 Ko

2 Ko

Image numérique

34

Stockage de l'image

Le format JPEG 2000

JPEG 2000

- Norme en cours de rédaction (11 parties)
- Fonctionnalités :
 - Nouvel algorithme de compression (avec ou sans pertes)
 - Décodage progressif (résolutions multiples)
 - Régions d'intérêt (affectation non uniforme du budget qualité)
 - Manipulations géométriques directement dans le domaine compressé
 - Détection d'erreurs en milieu bruité
 - Métadonnées
 - Dynamique : jusqu'à 32 bits
 - Transparence

Image numérique

35

Stockage de l'image

Compression

- Plusieurs algorithmes de compression :
 - RLE (sans pertes)
 - Codage de Huffman (sans pertes)
 - LZW (sans pertes)
 - ZIP (sans pertes)
 - JPEG (avec pertes)
 - JPEG 2000 (avec ou sans pertes)

Image numérique

36

Stockage de l'image

Compression

- Compression RLE : *Run Length Encoding* (ou RLC)
 - **Principe** : regrouper les données consécutives ayant même valeur.
 - Ex : aaaaaaaaaaaaaa est codé 15a
-
- **Inconvénient** : mal adapté aux fichiers ayant peu de répétitions successives.

Image numérique

37

Stockage de l'image

Compression

- Codage de Huffman (D. Huffman, 1952) :
 - **Principe** : coder les valeurs apparaissant souvent avec moins de bits que celles apparaissant rarement.
 - **Exemple** : AABCAABADBACAAB

Codage possible :

00 00 01 10 00 00 01 00 11 01 00 10 00 00 01 (30 bits)

A : 00 - B : 01 - C : 10 - D : 11

Codage de Huffman :

0 0 10 110 0 0 10 0 111 10 0 110 0 0 10 (25 bits)

A : 0 - B : 10 - C : 110 - D : 111

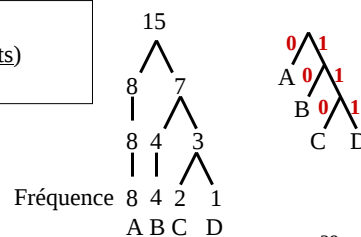


Image numérique

38

Stockage de l'image

Compression

- Compression LZW (Lempel-Ziv et Welch, 1977-78) :
 - **Principe** : on lit les données de sorte à former des chaînes. Si une chaîne construite n'existe pas dans le dictionnaire, on crée une nouvelle entrée dans ce dictionnaire, formée d'une chaîne déjà existante suivie du caractère courant.
 - **Formats d'images associés** : GIF, TIFF...
 - **Algorithme de codage** :

```

w ← ∅
Tant qu'il y a des caractères
  lire un caractère K (sur 8 bits)
  si wK existe déjà dans le dictionnaire alors
    w ← wK
  sinon
    écrire le code de w
    ajouter wK dans le dictionnaire
    w ← K
Fin tant que
Ecrire le code de w
  
```

Image numérique

39

Stockage de l'image

Compression

- Compression LZW (suite) : un exemple
 - Donnée à encoder : /QED/QE/QEE/QEB → **15×8=120 bits**

w	Entrée K lue	Sortie encodée	Code dans le dictionnaire
∅	/		256 (/)
/	Q	/	257 (/Q)
Q	E	Q	258 (QE)
E	D	E	259 (ED)
D	/	D	260 (D/)
/	Q		
/Q	E	257	261 (/QE)
E	/	E	262 (E/)
/	Q		
/Q	E		
/QE	E	261	263 (/QEE)
E	/		
E/	Q	262	264 (E/Q)
Q	E		
QE	B	258	265 (QEB)
B		B	

Codage sur 9 bits

90 bits

Image numérique

40

Stockage de l'image

Compression

- Compression LZW (suite) :

- Algorithme de décodage :

```

w ← ∅
Tant qu'il y a des caractères
  lire un caractère K
  si code(K) > 255 alors
    le décoder avec le dictionnaire
    le mettre dans la chaîne d'entrée à traiter
  sinon
    écrire K
    si wK existe déjà dans le dictionnaire alors
      w ← wK
    sinon
      ajouter wK dans le dictionnaire
      w ← K
Fin tant que
  
```

Image numérique

41

Stockage de l'image

Compression

- Compression LZW (suite et fin) :

- **A noter** : le parcours de l'image se fait en ligne donc la compression dépend de l'orientation de l'image.
 - Exemple d'une image GIF avant/après rotation de 90° :



1385 octets



3956 octets

Image numérique

42

Stockage de l'image

Compression

- Compression JPEG :

1. Préparation de l'image :

- Changement d'espace colorimétrique
 - Regroupement des pixels par 4 et moyennage pour la chrominance
- $$\begin{cases} Y = 0.3R + 0.59V + 0.11B \\ I = 0.6R - 0.28V - 0.32B \\ Q = 0.21R - 0.52V + 0.31B \end{cases}$$

2. Division de l'image en blocs de 8×8 pixels

3. Filtrage de chaque bloc dans le domaine spectral :

- JPEG : Transformée DCT (Discrete Cosine Transform) bidimensionnelle

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C(u) C(v) \left[\sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 \text{pixel}(x, y) \times \cos \frac{\Pi(2x+1)u}{16} \cos \frac{\Pi(2y+1)v}{16} \right] \quad (\text{encodage})$$

$$\text{pixel}(x, y) = \frac{1}{4} \left[\sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u) C(v) F(u, v) \times \cos \frac{\Pi(2x+1)u}{16} \cos \frac{\Pi(2y+1)v}{16} \right] \quad (\text{décodage})$$

$$\text{avec } C(u) = C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{pour } u = v = 0 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

Image numérique

43

Stockage de l'image

Compression

- Compression JPEG (suite) :

- JPEG 2000 : Transformée en ondelette discrète (avec ou sans pertes)

4. Quantification des 64 coefficients :

- Normalisation selon une table de quantification (paramétrable) :

$$\bar{F}(u, v) = \text{round} \left[\frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right]$$

- Élimination des plus hautes fréquences (les moins significatives pour l'œil)

1	1	2	4	8	16	32	64
1	1	2	4	8	16	32	64
2	2	2	4	8	16	32	64
4	4	4	4	8	16	32	64
8	8	8	8	8	16	32	64
16	16	16	16	16	16	32	64
32	32	32	32	32	32	32	64
64	64	64	64	64	64	64	64

Exemple de table de quantification

5. Codage/compression (sans pertes) :

- Modulation différentielle (valeurs absolues → valeurs relatives)
- Linéarisation des coefficients (méthode zig-zag)
- Compression de la séquence : RLE, Huffman

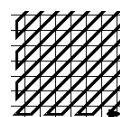


Image numérique

44

Les grands domaines de l'imagerie numérique

- Traitement de l'image :
 - Traitements géométriques : transformations géométriques 2D
 - Traitements photométriques : filtrage, restauration
 - Opérations entre images (logiques, arithmétiques)
- Analyse de l'image :
 - Extraction de primitives (contours, points d'intérêt, objets)
 - Segmentation d'images (régions)
- Vision par ordinateur :
 - Analyse de scène (à partir d'une ou plusieurs images)

Image numérique

45

Traitement de l'image numérique

Traitements géométriques

- Transformations géométriques 2D :
 - Translation
 - Rotation
 - Symétrie
 - Fenêtrage
 - Changement d'échelle (ré-échantillonnage)

Image numérique

46

Traitement de l'image numérique

Traitements géométriques

- Ré-échantillonnage (cas des scanners) :
 - Récepteurs définis pour une résolution de prédilection que l'on peut faire varier :
 - Si résolution inférieure : seulement une partie de l'information est numérisée.
 - Si résolution supérieure : interpolation après numérisation (traitement logiciel) :
 - Simple,
 - Bilinéaire (domaine de 2x2 pixels),
 - Bicubique (domaine de 4x4 pixels, polynôme de degré 3).

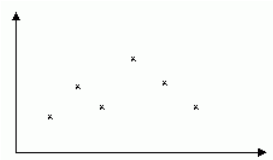


Image numérique



47

Traitement de l'image numérique

Traitements géométriques

- Ré-échantillonnage (cas des scanners) :

Ré-échantillonnage positif

Ré-échantillonnage négatif

Image scannée à 300 dpi



Image scannée à 75 dpi

Image scannée à 75 dpi et
ré-échantillonnée à 300 dpi
(interpolation bicubique)



Image scannée à 300 dpi et
ré-échantillonnée à 75 dpi
(interpolation bicubique)

Image numérique

48

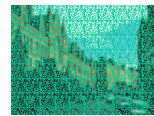
Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Filtrage de l'image :



Filtrage



- Différents types de filtrage :
 - Modification des caractéristiques de l'image
 - Filtres linéaires
 - Filtres morphologiques (morphologie mathématique)

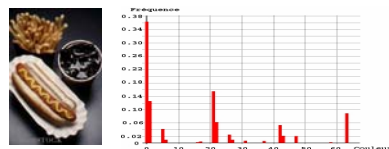
Image numérique

49

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Modification des caractéristiques de l'image :
 - Histogramme des niveaux de gris (luminance, plans RVB)
 - Histogramme des couleurs (sur couleurs échantillonnées) :



$$\forall c \in C \quad \tilde{h}(c) = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \delta(f(i, j) - c)$$

- Traitement sur l'histogramme :
 - Ajustement (rehaussement des niveaux de gris)
 - Étirement des niveaux de gris
 - Égalisation de l'histogramme

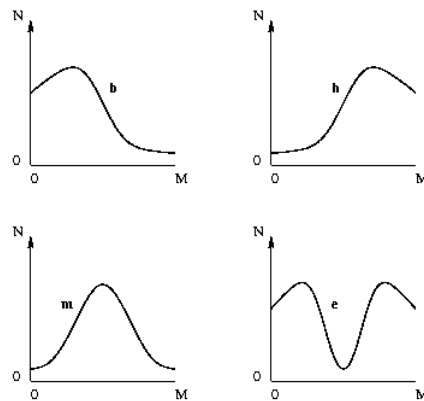
Image numérique

50

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Modification des caractéristiques de l'image :
 - Ajustement d'histogramme :



Exemples
d'histogrammes de
niveaux de gris

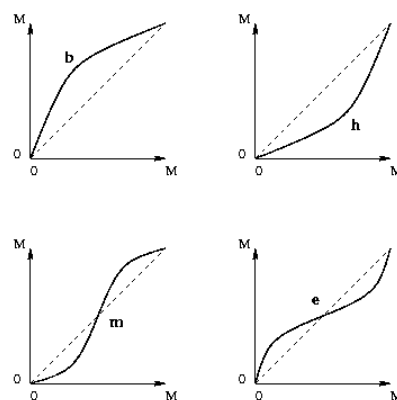
Image numérique

51

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Modification des caractéristiques de l'image :
 - Ajustement des niveaux de gris :



Exemples de
fonctions
d'ajustement des
niveaux de gris

Image numérique

52

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Modification des caractéristiques de l'image :

- Ajustement des niveaux de gris :

- Une fonction d'ajustement classique : la correction gamma

- Joue sur le contraste et la brillance de l'image

$$f(x) = x^{\frac{1}{\gamma}}$$

Gamma = 0.5



Image numérique



Image originale

Gamma = 2



53

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Modification des caractéristiques de l'image :

- Étirement des niveaux de gris (augmentation du contraste) :

- Si l'intervalle des niveaux de gris ne s'étend pas de 0 à M (255 sur 8 bits), alors il est possible d'appliquer une transformation linéaire les ramenant dans l'intervalle [0..M] :

$$y = M \frac{x - ndg_{\min}}{ndg_{\max} - ndg_{\min}}$$



Niveaux de gris entre 40 et 200



Niveaux de gris entre 0 et 255

Image numérique

54

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Les filtres linéaires :

- Extension au signal bidimensionnel des méthodes de traitement du signal

$$x \longrightarrow \boxed{\text{Opérateur } h} \longrightarrow x' = h(x)$$

- Linéarité :

$$h(ax_1 + bx_2) = ah(x_1) + bh(x_2)$$

- Produit de convolution dans le domaine spatial :

- Continu :

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(u, v) \cdot h(u - x, v - y) du dv$$

- Discret :

$$g(m, n) = f(m, n) * h(m, n) = \sum_{i \in [m-t, m+t]} \sum_{j \in [n-t, n+t]} f(i, j) \cdot h(i - m, j - n)$$

Image numérique

55

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Les filtres linéaires :

I ₁₁	I ₁₂	I ₁₃	I ₁₄	I ₁₅	I ₁₆	I ₁₇	I ₁₈	I ₁₉
I ₂₁	I ₂₂	I ₂₃	I ₂₄	I ₂₅	I ₂₆	I ₂₇	I ₂₈	I ₂₉
I ₃₁	I ₃₂	I ₃₃	I ₃₄	I ₃₅	I ₃₆	I ₃₇	I ₃₈	I ₃₉
I ₄₁	I ₄₂	I ₄₃	I ₄₄	I ₄₅	I ₄₆	I ₄₇	I ₄₈	I ₄₉
I ₅₁	I ₅₂	I ₅₃	I ₅₄	I ₅₅	I ₅₆	I ₅₇	I ₅₈	I ₅₉
I ₆₁	I ₆₂	I ₆₃	I ₆₄	I ₆₅	I ₆₆	I ₆₇	I ₆₈	I ₆₉

K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃
K ₂₁	K ₂₂	K ₂₃

Masque de convolution

$$O_{57} = I_{57}K_{11} + I_{58}K_{12} + I_{59}K_{13} + I_{67}K_{21} + I_{68}K_{22} + I_{69}K_{23}$$

$$O(i, j) = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n I(i+k-1, j+l-1) K(k, l)$$

Image numérique

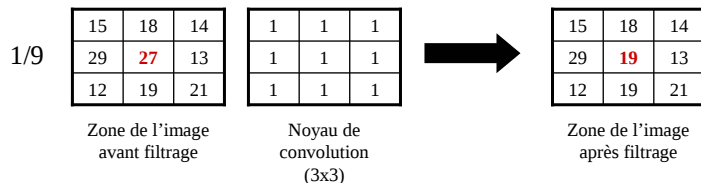
56

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Les filtres linéaires (suite) :
 - Exemples de filtres passe-bas (lissage de l'image, réduction du bruit)

- Filtre moyenne :



- Filtre médian (non linéaire) :

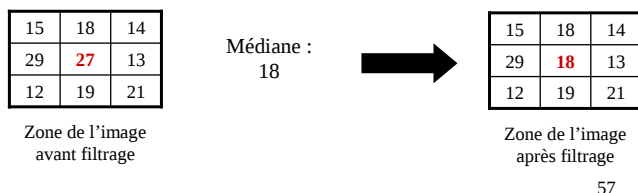


Image numérique

57

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

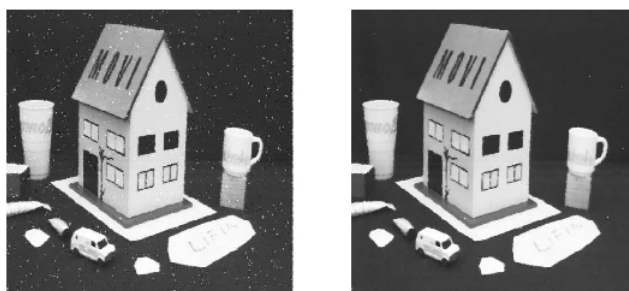


Figure 2: Filtrages médians : 1 et 3 itérations.

Image numérique

58

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Les filtres linéaires (suite) : les approches optimales
 - Critères de Canny
 - Filtre de Shen-Castan
 - Filtre de Deriche
 - Filtre gaussien

Image numérique

59

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Les filtres linéaires (suite) :
 - le filtre gaussien :

$$G((x, y), \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

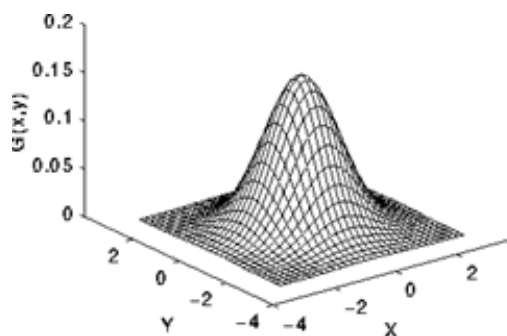


Image numérique

$$\frac{1}{273}$$

1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1

Approximation du noyau gaussien
pour $\sigma=1$

60

Traitement de l'image numérique

Traitements photométriques

- Exemple de lissage gaussien

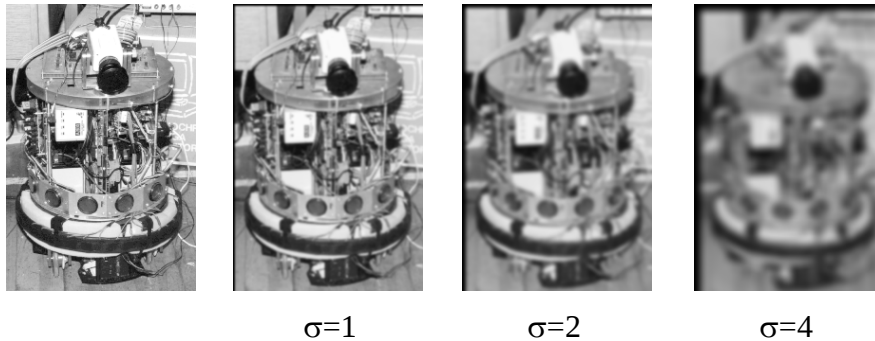


Image numérique

61

Analyse de l'image numérique

- Analyse de l'image :
 - Extraction de primitives :
 - *Contours*
 - *Points d'intérêt*
 - *Objets*
 - Segmentation d'images :
 - *Régions*

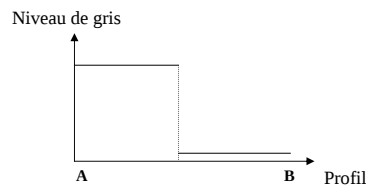
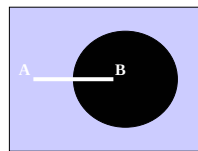
Image numérique

62

Analyse de l'image numérique

Extraction de contours

- Extraction de contours :
 - Définition d'un contour : lieu d'une forte transition



- Principe de l'extraction :

1. Filtre passe-haut

- Approche gradient
- Approche laplacien

2. Seuillage

$$\vec{\nabla} I(x, y) = \begin{pmatrix} \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_x \\ I_y \end{pmatrix}$$

Image numérique

63

Analyse de l'image numérique

Extraction de contours

- Par masques de dérivation :

- Prewitt (c=1)
- Sobel (c=2)

$$\begin{array}{ccc} G_x & & G_y \\ \begin{array}{ccc} -1 & 0 & 1 \\ -c & 0 & c \\ -1 & 0 & 1 \end{array} & & \begin{array}{ccc} -1 & -c & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & c & 1 \end{array} \end{array}$$

10	10	90	100	100
10	10	90	100	100
10	10	90	100	100
10	10	90	100	100
10	10	90	100	100

Zone de l'image
avant filtrage

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Noyau de
convolution
(Prewitt)



0	240	270	30	0
0	240	270	30	0
0	240	270	30	0
0	240	270	30	0
0	240	270	30	0

Zone de l'image
après filtrage

Image numérique

64

Analyse de l'image numérique

Extraction de contours

- Par approches optimales :
 - Propriété du produit de convolution

$$\begin{cases} I_x(x, y) = \frac{\partial}{\partial x}(I(x, y) * L(x, y)) = I(x, y) * \frac{\partial}{\partial x}L(x, y) \\ I_y(x, y) = \frac{\partial}{\partial y}(I(x, y) * L(x, y)) = I(x, y) * \frac{\partial}{\partial y}L(x, y) \end{cases}$$

Image numérique

65

Analyse de l'image numérique

Extraction de contours

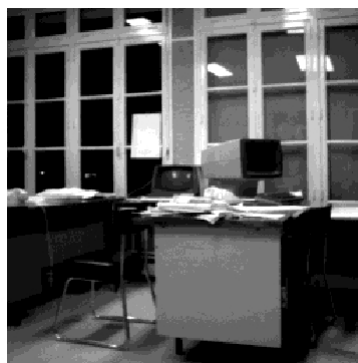
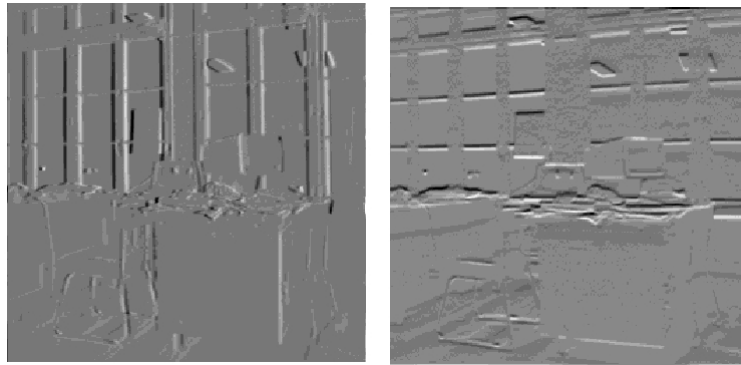


Image numérique

66

Analyse de l'image numérique

Extraction de contours



Dérivées premières de Deriche en X et Y

Image numérique

67

Analyse de l'image numérique

Extraction de contours



Norme du gradient de Deriche

Image numérique

68

Analyse de l'image numérique

Extraction de contours

- Seuillage de l'image dérivée :

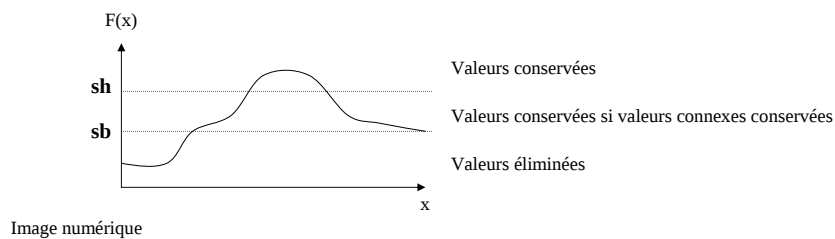
- Plusieurs approches :

- Élimination des valeurs inférieures à un certain seuil

0	0	270	0	0
0	0	270	0	0
0	0	270	0	0
0	0	270	0	0
0	0	270	0	0

Zone de l'image
après filtrage et
seuillage

- Seuillage par hystérésis (réduit le bruit) : seuils bas et haut



69

Analyse de l'image numérique

Extraction de contours



Seuillage par hystérésis

Image numérique

70

Analyse de l'image numérique

Extraction de contours



Image numérique

Contours extraits



71

Analyse de l'image numérique

Extraction de contours

- Extraction de contours : Application au « sharpening » de l'image
 - Principe : renforcement des contours par accentuation des hautes fréquences
 - Méthode : on superpose l'image et ses contours.



Image numérique



72

Analyse de l'image numérique

Extraction de points d'intérêt

- Extraction de points d'intérêt :

- Définition (Moravec) :

Un point d'intérêt est défini lorsque les valeurs de l'intensité varient beaucoup dans toutes les directions.

- Pourquoi extraire des points ?

➤ *Nécessaire en Vision par Ordinateur pour obtenir des informations sur la scène observée*

Analyse de l'image numérique

Extraction de points d'intérêt

- État de l'art en niveau de gris :

- Moravec (1977),
- Beaudet (1978),
- Kitchen et Rosenfeld (1982),
- Harris et Stephens (1988),
- Deriche et Faugeras (1990),
- Heitger (1992),
- Förstner (1994),
- Harris précis (1996),
- Susan (Smith et Brady, 1997),
- SIFT (1999, 2004)

- État de l'art en couleur :

- Kitchen et Rosenfeld couleur (1998),
- Harris précis couleur (1998).

Analyse de l'image numérique

Extraction de points d'intérêt

- Exemple du détecteur de Kitchen et Rosenfeld :

- Détecteur de coins, ordre 2.

- Principe :

Un coin est détecté sur un contour aux endroits de plus forte courbure.

➤ Courbure et gradient élevés.

- Algorithme de détection :

1. Détection des contours,

2. Calcul de la courbure des isophotes :

3. Maximisation de K sur les contours
(voisinage local).

$$K = \frac{I_{xx}I_y^2 - 2I_{xy}I_xI_y + I_{yy}I_x^2}{(I_x^2 + I_y^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Image numérique

75

Analyse de l'image numérique

Extraction de points d'intérêt

- Exemple de détection :



Image numérique

76

Analyse de l'image numérique

Extraction de points d'intérêt

- Exemple de détection :

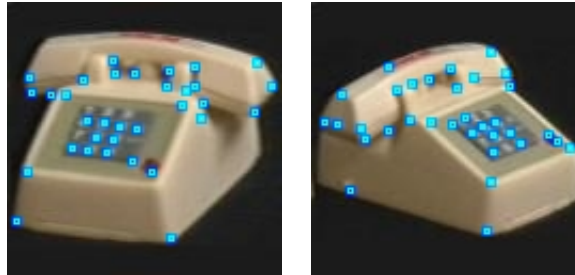


Image numérique

77

Analyse de l'image numérique

Extraction de points d'intérêt

- Problème de précision :

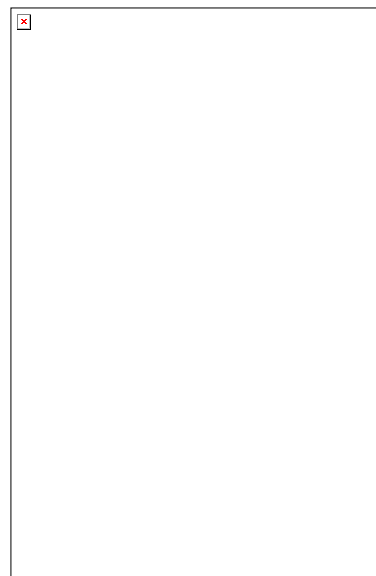


Image numérique

78

Analyse de l'image numérique

Segmentation en régions

- Segmentation en région :
 - Définition d'une région : zone de l'image contenant des couleurs similaires (cohérence spatiale et colorimétrique).
 - Formulation mathématique :
 - Partition $S = R_1, R_2, \dots, R_n$ de I telle que :
 1. $I = \bigcup R_i \quad \forall i \in [1..n]$
 2. $R_i \cap R_j = \emptyset \quad \forall i, j \quad i \neq j$
 3. R_i est connexe $\forall i \in [1..n]$
 4. $P(R_i) = \text{vrai} \quad \forall i \in [1..n]$
 5. $P(R_i \cup R_j) = \text{faux} \quad \forall i \neq j$

Image numérique

79

Analyse de l'image numérique

Segmentation en régions

- Segmentation en région (suite) :
 - Espace des couleurs :
 - Segmentation par seuillage
 - Segmentation par classification
 - Espace image (deux approches duales) :
 - Approche par les régions :
 - Segmentation par croissance de régions
 - Méthode Division-fusion (« split and merge »)
 - Approche par les contours
 - Segmentation par fermeture de contours

Image numérique

80

Analyse de l'image numérique

Segmentation en régions

- Segmentation par seuillage :
 - Seuillage simple
 - Seuillage par hystérésis



$s = 128$

Image numérique

81

Analyse de l'image numérique

Segmentation en régions

- Segmentation par seuillage (suite) :

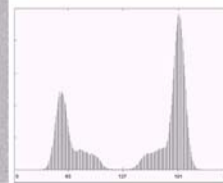


FIGURE 10.29
(a) Original image. (b) Image histogram. (c) Result of segmentation with the threshold estimated by iteration. (Original courtesy of the National Institute of Standards and Technology.)

Image numérique

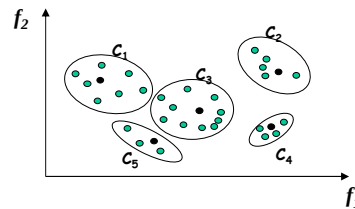
<http://www.prenhall.com/gonzalezwoods>

02

Analyse de l'image numérique

Segmentation en régions

- Segmentation par classification :
 1. Classification de l'espace des couleurs (Luv, Lab)
 - Algorithmes supervisés/non supervisés.



2. Retro-projection dans l'image
3. Calcul des ensembles maximaux de pixels connexes

Image numérique

83

Analyse de l'image numérique

Segmentation en régions

- Segmentation par classification (suite) :



Images originales



Images segmentées

<http://www-rocq.inria.fr/~fauqueur/ADCS/>
Image numérique

Éléments de géométrie

- Modélisation géométrique de la caméra
- Géométrie des systèmes binoculaires

Image numérique

85

Éléments de géométrie

Modélisation géométrique de la caméra

- Un modèle de projection perspective : le modèle *Sténopé*
 - Suppose que la transformation perspective est parfaite

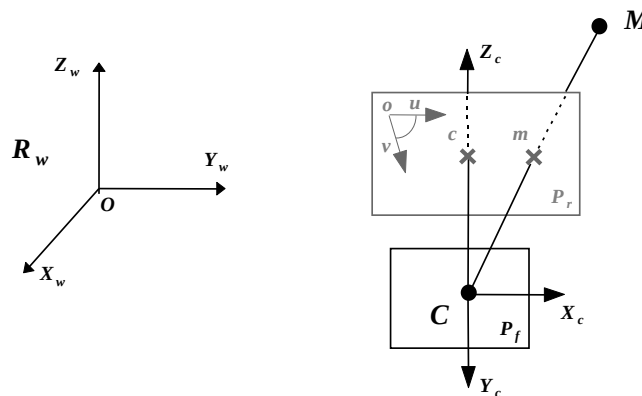


Image numérique

86

Éléments de géométrie

Modélisation géométrique de la caméra

- Formulation projective :
 - Matrice de projection perspective (définie à un facteur d'échelle près)

$$\begin{pmatrix} su \\ sv \\ s \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{avec } P = AP_0D$$

$$D = \begin{pmatrix} R & t \\ 0_3^T & 1 \end{pmatrix} \quad P_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} \alpha_u & -\alpha_u \cos \theta & u_0 \\ 0 & \alpha_v \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

A matrice des paramètres intrinsèques

P_0 matrice de projection

D matrice des paramètres extrinsèques

Image numérique

87

Éléments de géométrie

Modélisation géométrique de la caméra

- Notion d'espace projectif :

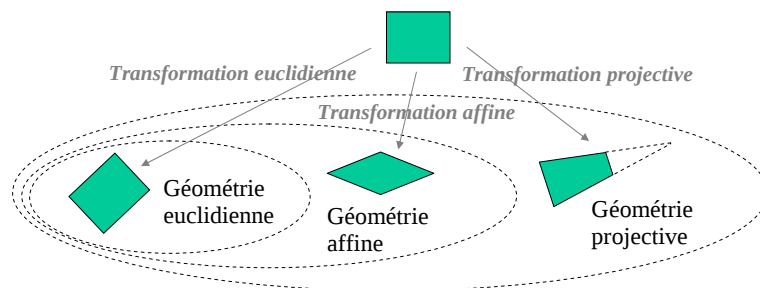


Image numérique

88

Éléments de géométrie

Géométrie des systèmes binoculaires

Pour voir en 3 dimensions, une seule caméra ne suffit pas...

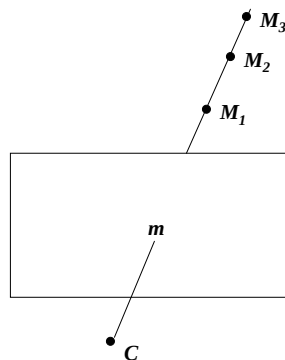


Image numérique

89

Éléments de géométrie

Géométrie des systèmes binoculaires

Il faut au moins 2 caméras

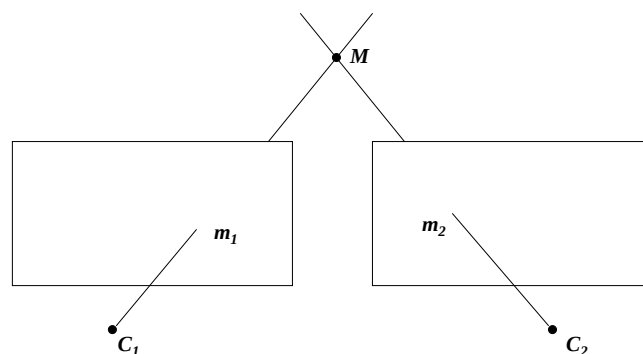


Image numérique

90

Éléments de géométrie

Géométrie des systèmes binoculaires

- Relation géométrique entre 2 vues : la géométrie épipolaire

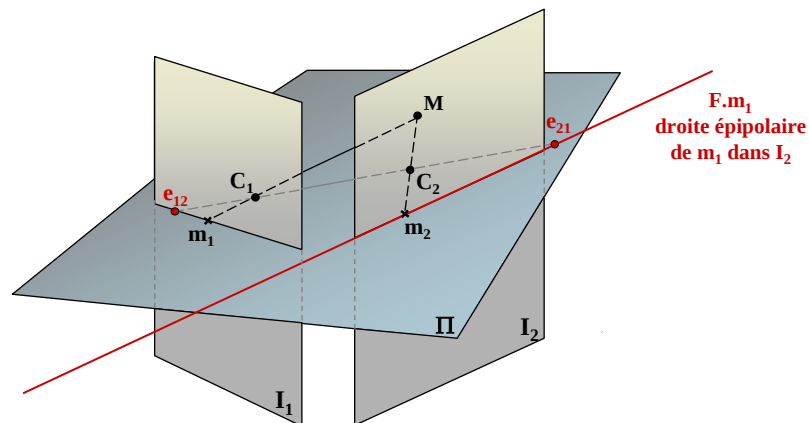


Image numérique

91

Éléments de géométrie

Géométrie des systèmes binoculaires

- Mise en correspondance et estimation de la géométrie épipolaire

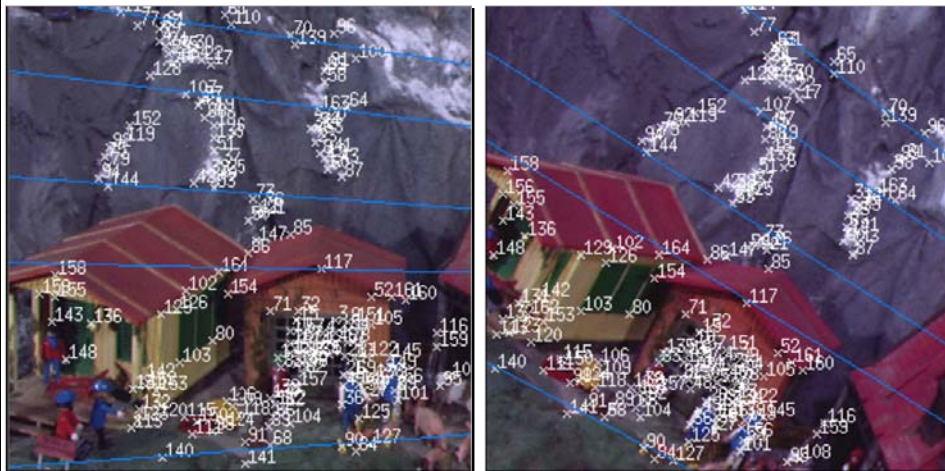


Image numérique

92