

# VISION INDUSTRIELLE - 1

Christophe BLANC

INSTITUT PASCAL  
IUT Montluçon  
Université Blaise Pascal

2014

- Le chercheur en **vision par ordinateur** conçoit et analyse les aspects calculatoires et algorithmiques des processus d'acquisition, de traitement et d'interprétation des images numériques. Son outil est la modélisation mathématique et algorithmique.
- La **vision industrielle** est " l'application des techniques de vision artificielle à des problématiques de production : contrôle qualité ou guidage pour l'automatisation d'une chaîne de production ".

# Avantages et inconvénients de la vision

Les systèmes de **vision industrielle** présentent plusieurs avantages :

- Le contrôle est **précis** (mesures géométriques, quantité,..)
- La mesure est **répétitive** et **objective**
- Le temps de calcul est **rapide**
- Il n'y a aucune **fatigue**
- Le système s'adapte à des **environnements difficiles**
- Le **contrôle** intègre des connaissances d'experts

## Avantages et inconvénients de la vision

Il présente néanmoins des inconvénients :

- Le système est optimisé pour une application
- L'évolution et la flexibilité du système sont limitées
- Le système est sensible aux changements des conditions d'environnement

# Forces et faiblesses de l'opérateur humain

L'opérateur humain est souple et adaptable. Confronté à un nouveau défaut non prévu dans un cahier des charges initial, le système de vision risque bien de ne rien détecter, au contraire de l'opérateur humain. Par contre, les opérateurs humains sont plus lents et moins précis. Il s'agit donc de laisser au système de vision les tâches qu'il fait bien (les mesures rapides, précises et répétitives ; l'extraction de l'information) et les autres à l'opérateur humain.

# Justification financière de la vision

La vision industrielle permet de gagner sur :

→ le coût des matériaux

→ le coût de travail

→ le coût de la qualité

- Tout d'abord, la totalité des produits peut en effet être inspectée sans interruption, hors ou en ligne. Associée à un système de SPC (Statistical Process Control), la vision permet de diminuer la proportion de produits finis défectueux. Le retour sur investissement peut être court, en particulier si le prix des produits finis est élevé.
- Ensuite, les tâches ingrates peuvent être exécutées par des machines de vision, et la main d'œuvre précédemment affectée à ces tâches reconverties pour des travaux plus valorisants pour l'individu et valorisables par l'entreprise.
- Enfin, la vision permet d'optimiser l'usage des matériaux, de vérifier la qualité des fournisseurs et de garantir la qualité des produits finis. Il en résulte une meilleure satisfaction de client, gage d'acquisition de nouveaux clients et de fidélisation.

Dans le domaine du contrôle industriel, les applications sont nombreuses et variées :

- **contrôle** des dimensions et de l'état de surface d'objets manufacturés
- la **qualité** d'impression des étiquettes
- le **contrôle** de montage de composants électroniques
- le **monitoring** de l'usure des machines
- l'**inspection** de produits alimentaires (fruits, par exemple)
- la **détection de défauts** dans des produits plans (verre, papier, textiles, acier, bois, céramique).
- ...

# Les cinq étapes d'un système de vision

Un système de vision fonctionne en cinq phases. Il s'agit de :

- l'acquisition
- le traitement
- l'analyse
- l'interprétation
- la communication



# Les cinq étapes d'un système de vision

- L'**acquisition** concerne l'extraction de l'image sous une forme numérique. Eclairages, optiques, caméras et cartes d'acquisition sont nécessaires pour cette étape. Il s'agit d'une étape importante car, bien réalisée, l'**acquisition** permet de simplifier les étapes de traitement et d'analyse.
- Souvent appelé prétraitement, le **traitement** regroupe un ensemble de techniques destinées à améliorer la qualité de l'image. Une première étape, appelée **restauration**, vise à corriger les déformations géométriques, provoquées par l'optique de la caméra, et les variations d'éclairage. Une seconde étape, appelée **amélioration**, vise à réduire le bruit et à augmenter les caractéristiques de l'objet contenant les informations souhaitées.
- L'**analyse** a pour but l'extraction de l'information caractéristique contenue dans une image. Elle recourt à diverses techniques telles que celles de **segmentation** (seuillage, détection de frontière, etc).
- Sur base de caractéristiques extraites - telles que la taille et la position des défauts, la position des contours, la couleur des objets et leur orientation -, le système de vision peut réduire le nombre de données et ensuite, soit rapporter le résultat, soit prendre une **décision**. Suit alors une dernière étape, celle de **communication**.

# Concevoir un système de vision

La conception des systèmes de vision ont été simplifiées suite à l'apparition sur le marché de systèmes de vision modulaires et d'outils de programmation visuelle intégré. Sept étapes doivent néanmoins être respectées :

- la définition du **cahier des charges**
- l'étude de **faisabilité**
- la conception de l'**éclairage**
- le choix du **capteur**
- la conception **logicielle**
- les **tests**
- la mise en **production**

# Concevoir un système de vision

- La définition du **cahier des charges** permet de préciser les critères visuels, en traduisant les paramètres humains et physiques en normes et mesures. Les exigences de qualité seront ainsi quantifiées. Sur la base du cahier des charges, il faut ensuite déterminer si l'application demandée est réalisable, compte tenu de l'environnement, de l'état de la technique et de l'investissement concédé.
- L'**éclairage** est fondamental car il permet de fiabiliser et de simplifier les étapes de traitement et d'analyse. Ainsi, le choix du spectre permet d'optimiser le contraste dans les images en choisissant une couleur particulièrement révélatrice de l'objet. Mais d'autres paramètres interviennent : la puissance, la géométrie, etc.
- Une fois conçu l'éclairage, le **capteur** peut être choisi. Trois grands critères interviennent : la **nature du capteur** (qui détermine sa sensibilité dans les différentes zones du spectre), son **type** (linéaire ou matriciel) et sa **couleur** (monochrome ou couleur).
- Une fois ces quatre étapes achevées, le **choix des algorithmes et leur implémentation** peut être menée à bien. Cette étape peut inclure un prototypage sur site, permettant de travailler dans des conditions proches des conditions de production (éclairages notamment).
- L'implémentation est suivie par une phase de **tests**, d'autant plus critique que l'application influe sur le bon fonctionnement d'une chaîne de production, par exemple. Le processus se termine par la **mise en production**.

# Contrôles de câbles de bougies pour l'automobile - Contexte de l'application



CRAFELEC<sup>1</sup> a été sélectionné pour développer et mettre en oeuvre une solution de contrôle par vision pour le marquage et la coupe de câbles de bougies. Le client final est un fabricant de faisceaux électriques pour l'automobile. Le marquage consiste à appliquer par tampographie un numéro de traçabilité et un repère visuel.

---

1. Implantée en Basse Normandie depuis plus de 14 ans, la société CRAFELEC intervient sur l'ensemble du grand ouest dans les domaines de l'automatisme, de l'informatique industrielle, de l'électricité et de la maintenance industrielle.

# Contrôles de câbles de bougies pour l'automobile - Contexte de l'application

- Ce contrôle était réalisé par des opérateurs (vérification visuelle) avec les erreurs que cela engendre. Le coût de ces erreurs (gestion des retours clients, tri des lots défectueux...) a motivé le fabricant pour investir dans une solution de vision automatisée.
- Le câble est ensuite sectionné et nécessite un deuxième contrôle pour éliminer ceux où la coupe est défectueuse (dépassement de brins...).
- Les contraintes de l'application sont multiples :
  - ① **intégration** sur machine existante (volume réduit et forte contrainte vibratoire)
  - ② **localisation** aléatoire du marquage du fait de la rotation du câble pendant son déplacement
  - ③ **cadence** de 2800 pièces par heure
  - ④ **caractérisation** précise des défauts à déterminer

# Contrôles de câbles de bougies pour l'automobile - Les objectifs

- ① **Contrôler** unitairement le marquage de câbles de bougies pour l'automobile, comportant un numéro de traçabilité et un repère visuel.
- ② **Contrôler** unitairement la coupe des câbles.

# Contrôles de câbles de bougies pour l'automobile - Une solution performante et évolutive

Pour le 1er système de vision (vérification du marquage), la solution retenue a été d'installer sur posage indépendant de la machine :

- ➡ 1 contrôleur **EVS-1464RT<sup>2</sup>** de National Instruments



---

2. système de vision embarqué (Embedded Vision System) proposé par National Instruments pour le contrôle industriel et qui, grâce à son traitement multicœur pour plusieurs caméras, permet de construire des systèmes de vision industrielle temps réel haute vitesse pour des applications telles que le tri, la vérification d'assemblage et dans le cas présent, le contrôle qualité

# Contrôles de câbles de bougies pour l'automobile - Une solution performante et évolutive

- ⇒ 3 caméras Sony XCD-V60 CR implantées chacune à  $120^\circ$  pour couvrir  $360^\circ$  et ainsi lire les informations quelle que soit l'orientation du câble lors de son déplacement



- ⇒ 3 objectifs Pentax C1614-M (haute résolution)





# Contrôles de câbles de bougies pour l'automobile - Une solution performante et évolutive

⇒ 3 éclairages linéaires à leds blancs LAL14 de Vision & Control



# Contrôles de câbles de bougies pour l'automobile - Une solution performante et évolutive

Pour le 2ème système (contrôle de la coupe), la solution est basée sur le même principe :

- ⇒ 1 contrôleur **EVS-1464RT** de National Instruments
- ⇒ 2 caméras Sony XCD-V60 CR dotées de 2 **télécentriques T100** Vision & Control



- ⇒ 2 éclairages **télécentriques TZB10-R** Vision & Control



# Contrôles de câbles de bougies pour l'automobile - Les tests de mise en oeuvre plus que concluants

- ➡ La mise en oeuvre s'est déroulée dans un laps de temps très court en tenant compte des contraintes de production et notamment du peu de temps disponible pour implanter et valider le système.
- ➡ Cette solution a permis de libérer l'opérateur du contrôle visuel de chaque cordon et ainsi éviter les erreurs.
- ➡ Les objectifs sont clairement atteints : un seul retour client en 3 mois de fonctionnement. Après analyse de ce retour, celui-ci est dû à une erreur humaine.

# Autres exemples

⇒ Alliance Vision

⇒ Keyence

⇒ Cognex

## Disciplines présentes

- ➡ Traitement du signal
- ➡ Géométrie
- ➡ Optimisation
- ➡ Statistiques
- ➡ Infographie
- ➡ Informatique
- ➡ ...

# Une image

Plusieurs points de vue :

- ⇒ **Informaticien** : tableau d'*unsigned char*
- ⇒ **Physicien** : l'observation d'un environnement par un capteur optique (signal 2D numérisé)
- ⇒ **Mathématicien** : la projection d'un espace de dimension 3 sur un plan

## Définitions principales (image)

Image : forme bidimensionnelle discrète d'un phénomène continu obtenue après discrétisation (tableau) :

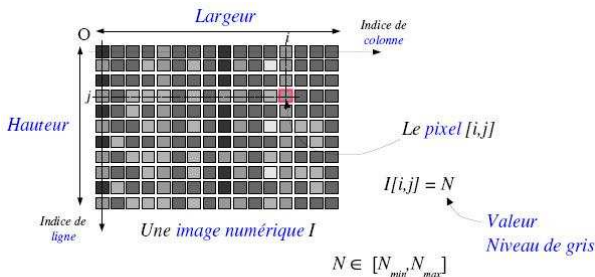
$$I : [0, L - 1] \times [0, C - 1] \rightarrow [0, M]^p$$

$$I = f(x, y)$$

définit une image de  $L$  lignes et  $C$  colonnes dont l'information portée est définie dans un espace à  $p$  dimensions.

- ➡ Si  $I$  est une image **binaire**, alors  $(p, M) = (1, 1)$
- ➡ Si  $I$  est une image en **niveaux de gris**, alors  $p = 1$  et le plus souvent  $M = 255$
- ➡ Si  $I$  est une image **couleur**, alors  $p = 3$  et le plus souvent  $M = 255$

# Définitions principales (image)

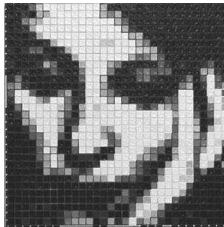


$(N_{max} - N_{min}) = \text{nombre de niveaux de gris}$



## Définitions principales (pixel)

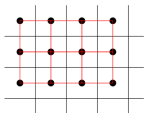
Un **pixel** (contraction de "picture element") est le nom associé à une unité de base de l'image qui correspond à un pas de discrétisation. Un **pixel** est caractérisé par sa position et sa valeur. Le plus souvent, ce vocable est utilisé pour représenter indifféremment l'un ou l'autre de ces attributs.



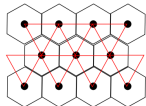
## Définitions principales (maillage)

Le **maillage** est l'arrangement géométrique des pixels dans l'image. On utilise généralement un des trois types qui résultent de différentes représentations du plan par des figures géométriques :

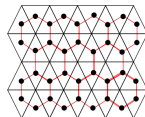
- ⇒ le maillage **carré** qui correspond à la réalité physique du capteur CCD.
- ⇒ le maillage **hexagonal** (maillage de référence pour le domaine de la morphologie mathématique).
- ⇒ le maillage **triangulaire**



Pavage Carré  
Maillage Carré



Pavage hexagonal  
Maillage triangulaire



Pavage triangulaire  
Maillage hexagonal

## Définitions principales (mesure de distance)

Tout pixel d'une image est caractérisé par un couple de coordonnées  $(x, y)$ . On peut donc calculer des distances entre pixels. Les distances les plus courantes sont (pour deux pixels  $P(x_p, y_p)$  et  $Q(x_q, y_q)$ ) :

⇒ **distance de Manhattan** :  $d_1(P, Q) = |x_p - x_q| + |y_p - y_q|$

⇒ **distance Euclidienne** :  $d_2(P, Q) = \sqrt{(|x_p - x_q|^2 + |y_p - y_q|^2)}$

⇒ **distance de l'échiquier** :  $d_{inf}(P, Q) = \text{Max}(|x_p - x_q|, |y_p - y_q|)$

Ces distances sont reliées par la propriété :

$$d_{inf}(P, Q) \leq d_2(P, Q) \leq d_1(P, Q)$$

## Définitions principales (notion de voisinage et ordre de connexité)

On appelle **voisinage d'ordre  $k$**  du pixel  $P$  et l'on note  $V_k(P)$  l'ensemble des pixels  $Q$  défini par :

$$V_k(p) = \{Q : 0 < d(P, Q) \leq k\}$$

Il existe principalement deux ordres de **connexité** : 4 et 8. Ce nombre correspond à la taille du plus petit voisinage non vide d'un pixel.

### Exercice 1 : Connexité

1. Sur les images binaires représentées figures 1(a), (b) et (c) (OBJET = 1, FOND = 0), indiquez le nombre d'objets au sens de la 4-connexité.

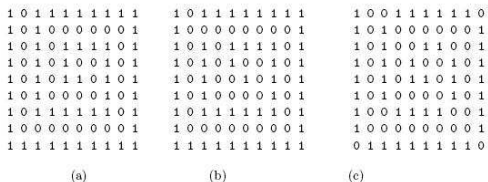


FIG. 1 – Question sur la 4-connexité.

2 Sur les images binaires représentées figures 2(a), (b) et (c)  
 (OBJET = 1, FOND = 0), indiquez le nombre d'objets au  
 sens de la 8-connextité.

1 0 1 1 1 1 1 1 1 1	1 0 1 1 1 1 1 1 1 1	1 0 0 1 1 1 1 1 1 0
1 0 1 0 0 0 0 0 0 1	1 0 0 0 0 0 0 0 0 1	1 0 1 0 0 0 0 0 0 1
1 0 1 0 1 1 1 1 0 1	1 0 1 0 1 1 1 1 0 1	1 0 1 0 0 1 1 0 0 1
1 0 1 0 1 0 0 1 0 1	1 0 1 0 1 0 0 1 0 1	1 0 1 0 1 0 0 1 0 1
1 0 1 0 1 1 0 1 0 1	1 0 1 0 0 1 0 1 0 1	1 0 1 0 1 1 0 1 0 1
1 0 1 0 0 0 0 1 0 1	1 0 1 0 0 0 0 1 0 1	1 0 1 0 0 0 0 1 0 1
1 0 1 1 1 1 1 1 0 1	1 0 1 1 1 1 1 1 0 1	1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1
1 0 0 0 0 0 0 0 0 1	1 0 0 0 0 0 0 0 0 1	1 0 0 0 0 0 0 0 0 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 1 1 1 1 1 1 1 1 0

(a)                      (b)                      (c)

FIG. 2 - Question sur la 8-connextité.

## Définitions principales (histogramme)

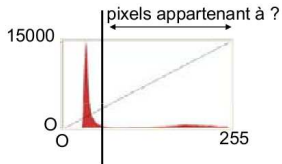
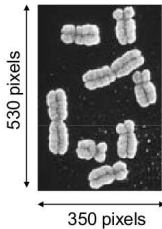
On appelle **histogramme** de l'image  $I$ , la fonction  $H$  définie sur l'ensemble des entiers naturels par :

$$H(x) = \text{Card}\{P : I(p) = x\}$$

C'est à dire que  $H(x)$  traduit le nombre d'apparitions du niveau de gris  $x$  dans l'image  $I$ . Cette définition se généralise aux images multi bandes, l'**histogramme** est alors une fonction de  $n$  variables où  $n$  désigne le nombre de canaux. L'**histogramme** est un outil privilégié en analyse d'images car il représente un résumé simple, mais souvent suffisant du contenu de l'image.

# Définitions principales (histogramme exemple)

## Binarisation des images de luminance par seuillage





# Les grands domaines

Ce cours aborde les techniques d'**acquisition**, de **traitement**, d'**analyse** et d'**interprétation** des images numériques dans l'objectif de construire un système de vision artificielle.

D'une façon plus abrupte nous pouvons dire qu'un système de vision est un ensemble capable de :

- ⇒ Saisir une image ou une représentation spatiale d'une scène
- ⇒ Extraire les informations intéressantes (relativement aux objectifs)
- ⇒ Interpréter ces informations pour décider d'une action à engager

D'où les trois étapes et 4 mots classiques que nous allons expliciter dans ce cours :

- ⇒ Acquisition
- ⇒ Traitement
- ⇒ Analyse
- ⇒ Interprétation/Décision

## Les grands domaines : acquisition

L'**acquisition** a pour objet le passage de la scène physique a une forme numérique observée.

Phénomène physique	Grandeur mesurée	Capteur
Emission et réflexion de la lumière visible	Réflectance, luminance	CCD, CMOS,...
Rayonnement infra-rouge	Luminance IR(chaleur)	Bolomètres
Echo ultrasonore	Distance, densité de tissus	Echographie, sonar,...
Résonance magnétique	Présence d'un corps chimique	IRM, ...
Echo électromagnétique	Distance, spécularité des surfaces, ...	Radar, ...
Absorption des rayons x	Densité de tissus	Radiographie, tomographie, ...

# Les grands domaines : traitement

Le **traitement** (souvent appelé prétraitement) regroupe toutes les opérations de manipulation de l'image qui permettent d'en améliorer la qualité. Ces manipulations produisent une nouvelle image. On y retrouve différentes techniques :

- ⇒ la **compression** : réduction du volume de l'image
- ⇒ la **restauration** : correction des défauts dus à une source de dégradation
- ⇒ l'**amélioration** : modification de l'image dans le but de la rendre plus agréable à l'œil

# Les grands domaines : analyse

L'**analyse** est une suite d'opérations permettant l'extraction de l'information essentielle contenue dans une image. En ce sens, l'analyse est une généralisation des techniques de compression. Elle est essentiellement composée par la phase de segmentation qui fournit une partition de l'image. A partir de cette segmentation, des techniques de description / modélisation permettent d'obtenir la description structurelle de l'image.

## Les grands domaines : interprétation

L'**interprétation** a pour but le passage de la description structurelle à la description sémantique en regard à certains objectifs. Cet objectif peut être très simple (mesure de certains paramètres sur des formes) ou beaucoup plus complexe (description du contenu de la scène en termes de concepts non mathématiques). Dans le cadre de la vision industrielle pour un objectif de qualité, les objectifs sont le plus souvent (en ordre croissant de complexité) :

- ⇒ contrôle **dimensionnel** (mesures simples)
- ⇒ contrôle d'**aspect** (mesure de texture)
- ⇒ contrôle **structurel** (analyse des composants d'un objet)
- ⇒ **tri** (reconnaissance)