



Éclairage Structuré et vision active pour le contrôle qualité de surfaces métalliques réfléchissantes

Olivier Morel*, Ralph Seulin, Christophe Stolz, Patrick Gorria

*o.morel@iutlecreusot.u-bourgogne.fr



Journée TSI, Éclairage structuré pour la vision active , Jeudi 27 Mai 2004



Éclairage Structuré et vision active pour le contrôle qualité de surfaces métalliques réfléchissantes

1. Introduction
2. Éclairage structuré dynamique
3. Images de polarisation
4. Application aux surfaces métalliques
5. Conclusion et perspectives



Journée TSI, Éclairage structuré pour la vision active , Jeudi 27 Mai 2004



1. Introduction

- Objectif :
 - Contrôle qualité non-destructif de surfaces métalliques très réfléchissantes
- 2 Techniques mises en œuvre :
 - Éclairage dynamique à franges
 - Capteur actif permettant d'obtenir des images de polarisation, pour l'extraction d'informations 3D

3



1. Introduction

- Éclairage dynamique à franges :
 - + Efficace pour les défauts d'aspect sur des surfaces lisses
 - Méthode pas adaptée pour détecter les défauts au niveau des décors



- Méthode complémentaire pour obtenir des informations 3D sur la surface :
 - Images de polarisation

4



Éclairage Structuré et vision active pour le contrôle qualité de surfaces métalliques réfléchissantes

1. Introduction
2. Éclairage structuré dynamique
3. Images de polarisation
4. Application aux surfaces métalliques
5. Conclusion et perspectives

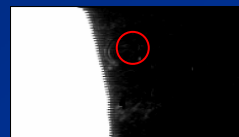
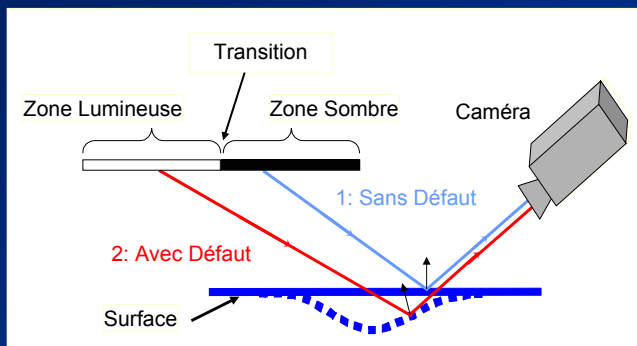


GDR, Éclairage structuré pour la vision active , Jeudi 27 Mai 2004

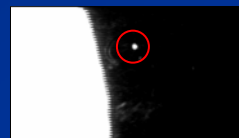


2. Éclairage structuré dynamique

- Principe de l'éclairage binaire (Aluze, Delcroix) :



1: Sans Défaut



2: Avec Défaut



2. Éclairage structuré dynamique

- Optimisation du système de projection de franges (Seulin):

Saturation du capteur



Éclairage dynamique



7

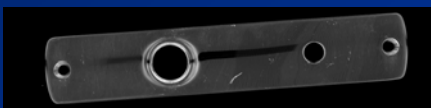


2. Éclairage structuré dynamique

- Système d'acquisition :



- Problème au voisinage des décors :



8



Éclairage Structuré et vision active pour le contrôle qualité de surfaces métalliques réfléchissantes

1. Introduction
2. Éclairage structuré dynamique
3. Images de polarisation
4. Application aux surfaces métalliques
5. Conclusion et perspectives



GDR, Éclairage structuré pour la vision active , Jeudi 27 Mai 2004



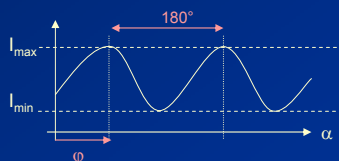
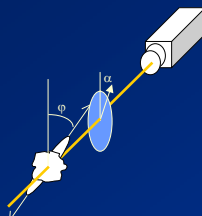
3. Images de polarisation

➤ Acquisition des images de polarisation :

But : étudier l'état de polarisation de la lumière

lumière non-polarisée
+ lumière polarisée linéairement

Lumière partiellement linéairement polarisée



• Intensité lumineuse :

$$I = I_{max} + I_{min}$$

• Angle de polarisation :

$$\varphi$$

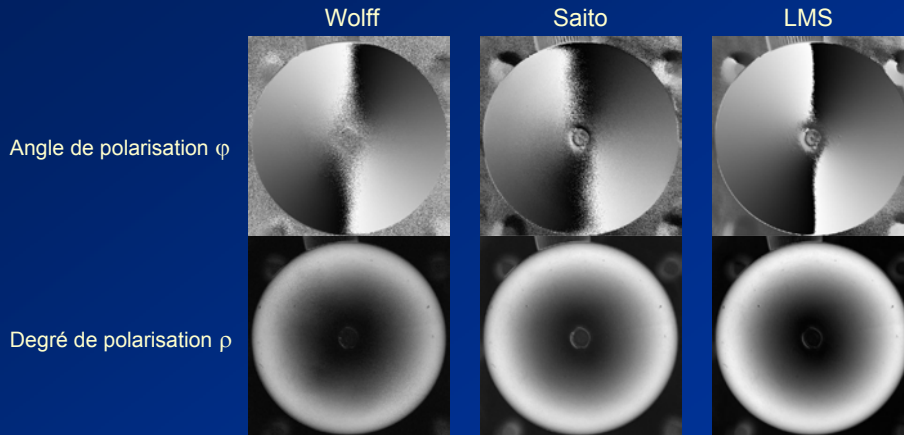
• Degré de polarisation :

$$\rho = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$



3. Images de polarisation

- Comparaison de méthodes :



Terrier : dispositif de mesure stéréo

11



3. Images de polarisation

- Principe de « Shape from Polarization » :

Images de polarisation



Informations sur l'orientation de la surface

Koshikawa : étude de la réflexion d'une onde circulairement polarisée

Wolff : étude de la réflexion d'une onde non-polarisée

Une onde lumineuse non-polarisée devient *partiellement linéairement polarisée* après réflexion sur une surface diélectrique ou métallique.

Miyazaki : reconstruction de surfaces transparentes

Rahmann : reconstruction de formes quadriques

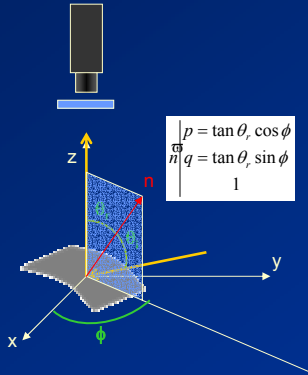
12



3. Images de polarisation

➤ Principe de « Shape from Polarization » :

- Éclairage non polarisé
- Surface réfléchissante



Coefficients de Fresnel :

$$F_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_r)}{\sin^2(\theta_i + \theta_r)}$$

$$F_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_r)}{\tan^2(\theta_i + \theta_r)}$$



- Angle de polarisation $\Rightarrow \phi$
- Degré de polarisation $\Rightarrow \theta_r$

13

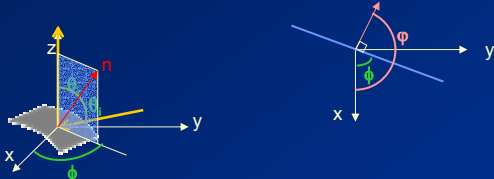


3. Images de polarisation

➤ Principe de « Shape from Polarization » :

- Angle de polarisation $\phi \Rightarrow \phi$

La composante linéairement polarisée est orthogonale au plan d'incidence



- Degré de polarisation $\rho \Rightarrow \theta_r$

$$F_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_r)}{\sin^2(\theta_i + \theta_r)}$$

$$F_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_r)}{\tan^2(\theta_i + \theta_r)}$$

$$\sin \theta_i = n \sin \theta_r$$



$$\rho = \frac{F_{\perp} - F_{\parallel}}{F_{\perp} + F_{\parallel}} = f(\theta_r)$$

Coefficients de Fresnel

Relation de Snell-Descartes

14



Éclairage Structuré et vision active pour le contrôle qualité de surfaces métalliques réfléchissantes

1. Introduction
2. Éclairage structuré dynamique
3. Images de polarisation
4. Application aux surfaces métalliques
5. Conclusion et perspectives



GDR, Éclairage structuré pour la vision active , Jeudi 27 Mai 2004



4. Application aux surfaces métalliques

- Objectifs :
 - Détection de défauts sur des décors de pièces métalliques obtenues par estampage
- Limitations :
 - Surfaces métalliques spéculaires
 - Surface continue
 - Décors sans arêtes vives
 - Modèle 3D 'global' de l'objet est connu

Surfaces métalliques \Rightarrow indice de réfraction complexe



- Faible degré de polarisation
- Inversion de la relation entre le degré de polarisation et l'angle de réflexion



4. Application aux surfaces métalliques

- Relation entre le degré de polarisation et l'angle d'incidence :

Indice de réfraction complexe, $\hat{n} = n(1 + i\kappa)$

Coefficients de Fresnel :

$$F_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_t - \theta_i)}{\sin^2(\theta_t + \theta_i)}$$

$$F_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_t - \theta_i)}{\tan^2(\theta_t + \theta_i)}$$

Approximation effectuée :

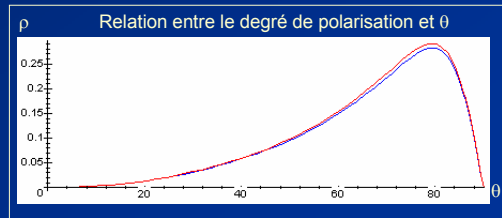
$$|\hat{n}|^2 = n^2(1 + \kappa^2) \gg 1$$



$$\rho(\theta) = \frac{2n \tan \theta \sin \theta}{\tan^2 \theta \sin^2 \theta + |\hat{n}|^2}$$



$$\theta = f^{-1}(\rho)$$



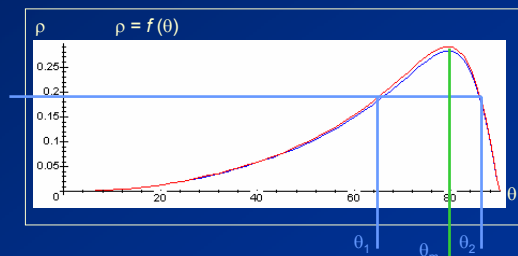
Relation théorique
Relation approchée

17



4. Application aux surfaces métalliques

- Relation entre le degré de polarisation et l'angle d'incidence :



θ_m : Quasi-polarizing angle = angle d'incidence principal

$\theta_m \approx 77^\circ \Rightarrow$ pente maximale

18



4. Application aux surfaces métalliques

- Reconstruction de surfaces :

Surface d'équation cartésienne : $z=f(x,y)$

$$\vec{n} = \begin{pmatrix} p \\ q \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Méthode itérative basée sur une approximation de Taylor au 2nd ordre :

$$f_{n+1}(x,y) = \frac{1}{4} H(x,y) * f_n(x,y) - \frac{\epsilon}{4} \left(\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \right)$$

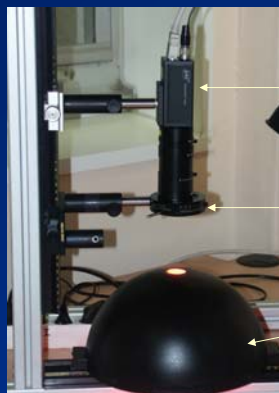
↑
Filtre moyenneur sur un 4-voisinage

19



4. Application aux surfaces métalliques

- Acquisition :



Caméra CCD 10 bits

Polariseur linéaire

Dôme d'éclairage diffus

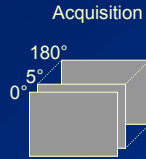
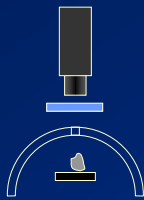
Backlight

20



4. Application aux surfaces métalliques

➤ Calcul des images de polarisation :



Interpolation

I

ϕ

ρ

Propriétés
de la polarisation

ϕ

θ

$$\begin{cases} p = \tan \theta \cos \phi \\ \frac{q}{p} = \tan \theta \sin \phi \\ 1 \end{cases}$$



I



ϕ



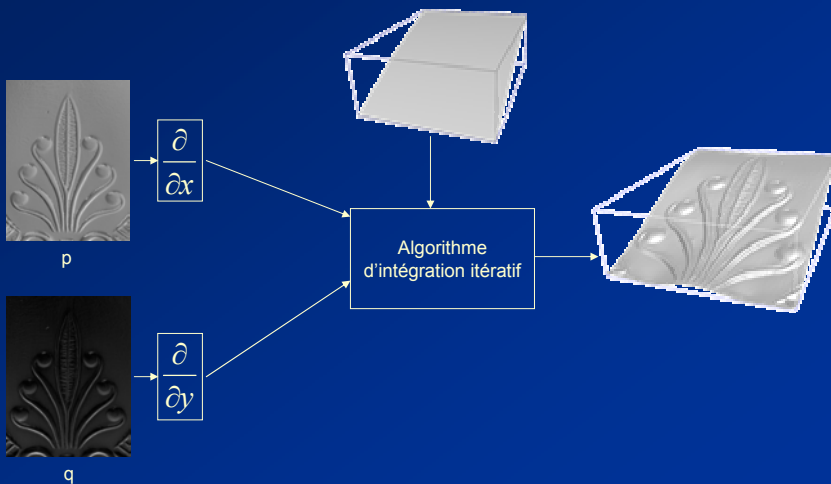
ρ

21



4. Application aux surfaces métalliques

➤ Calcul de la surface :



22

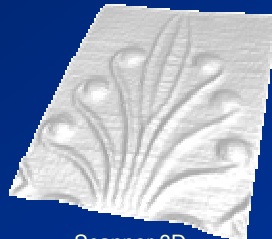


4. Application aux surfaces métalliques

➤ Résultats :



Scanner Replica, résolution x,y : 50µm et précision de 20 µm



Scanner 3D



Acquisition

23

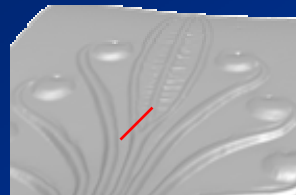


4. Application aux surfaces métalliques

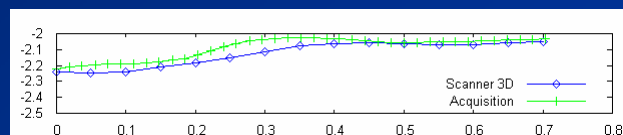
➤ Résultats :



Scanner 3D



Acquisition



24



Éclairage Structuré et vision active pour le contrôle qualité de surfaces métalliques réfléchissantes

1. Introduction
2. Éclairage structuré dynamique
3. Images de polarisation
4. Application aux surfaces métalliques
5. Conclusion et perspectives



GDR, Éclairage structuré pour la vision active , Jeudi 27 Mai 2004



5. Conclusion et perspectives

- Conclusion :
 - Éclairage structuré dynamique
Efficace sur les surfaces lisses
 - Images de polarisation
Extraction d'informations 3D vers les décors
- Perspectives :
 - Algorithme de détection de défauts à partir de la surface calculée
 - Remplacer le polariseur linéaire par un système avec retardateur
 - Associer les deux techniques pour créer une machine d'inspection complète