



VISIO NERF

PRINCIPE de la TRIANGULATION Laser



Introduction à la triangulation laser

1. Introduction à la triangulation laser

Le présent document consiste en une présentation succincte du principe de la triangulation basée sur la mise en œuvre d'un laser associé à une caméra matricielle. Le terme de triangulation trouve son origine d'une part dans la disposition des composants du système (source laser, caméra et objet à digitaliser forment les trois sommets d'un triangle, voir Figure 1 ci-dessous) ainsi que dans l'emploi des relations sur les triangles semblables utilisées pour passer de l'espace 2D de l'image numérique au repère 3D du monde réel.

2. Mise en œuvre

2.1 Étapes de la triangulation

Une mise en œuvre du système de triangulation laser/caméra est illustrée par la Figure 1 ci-dessous.

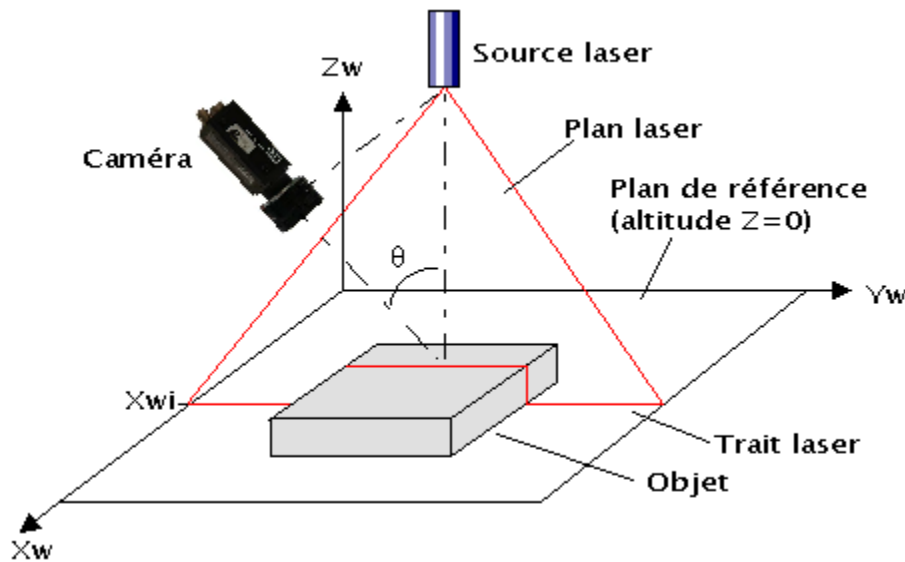


Figure 1 - Mise en œuvre triangulation laser/caméra

Les étapes de la triangulation sont les suivantes :

1. Un trait laser est projeté à la verticale de l'objet à digitaliser.
2. Une caméra, inclinée d'un angle θ par rapport à l'axe du laser, filme la scène pour une position X_{wi} de l'objet (voir Figure 2 au § 2.3 ci-après).
3. Le trait numérisé est transformé en une suite de points 3D d'abscisse commune X_{wi} .
4. L'objet est décalé, suivant l'axe des abscisses X_w , à la position $X_{w_{i+1}}$ pour réaliser la prise de vue suivante.

2.2 Caractéristiques du montage

Les caractéristiques du montage sont les suivantes :

- le plan laser de projection est perpendiculaire au plan de référence
- le plan laser de projection est parallèle au plan ($Y_w; Z_w$) (le trait laser sur le plan de référence est parallèle à l'axe Y_w)
- l'axe « source laser / caméra » est parallèle à l'axe X_w
- l'axe « caméra / objet » est inclinée par rapport l'axe « source laser / objet » d'un angle θ suivant axe Y_w
- les lignes du capteur CCD de la caméra (axe image U) sont parallèles à l'axe Y_w



Introduction à la triangulation laser

2.3 Image perçue

L'image du trait laser perçue par la caméra est illustré Figure 2 ci-dessous. Le trait laser apparaît déformé en fonction du relief de l'objet. La coordonnée v d'un point du trait dans l'image croît avec l'altitude du point sur l'objet réel.

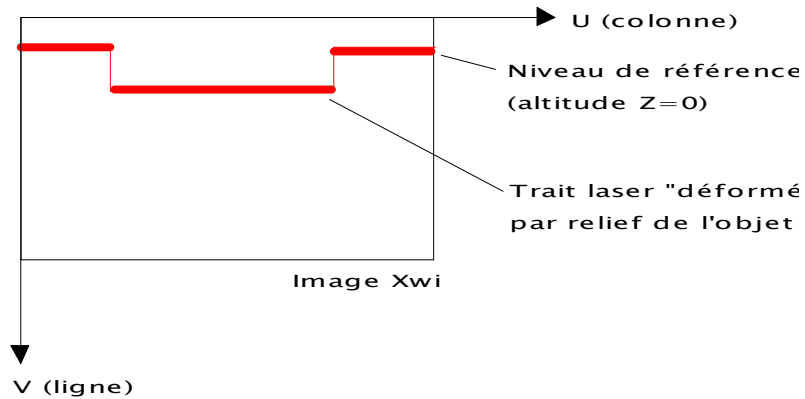


Figure 2 - Image filmée par la caméra pour l'objet en position Xw_i

2.4 Choix de l'angle de triangulation

Le choix de l'angle θ de triangulation, très important, doit permettre de percevoir le relief de façon satisfaisante tout en garantissant que le trait généré par le laser soit toujours visible dans son entier par la caméra, sans qu'une portion soit masquée par une variation de relief de la pièce (voir Figure 3 ci-dessous).

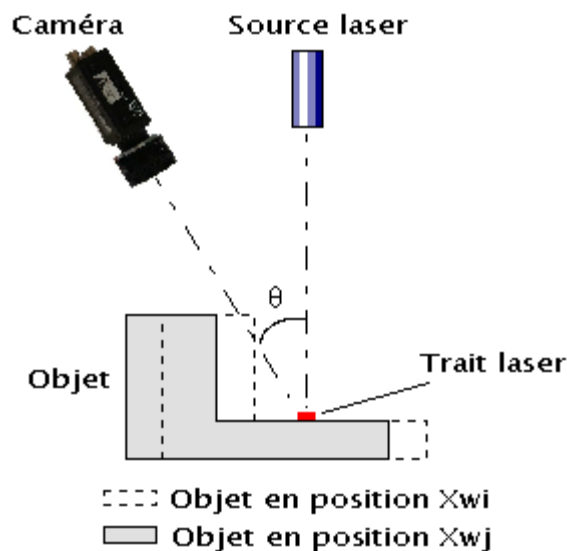


Figure 3 - Trait laser invisible en position Xw_i , visible en Xw_j

La variation Δv dans l'image est proportionnelle au sinus de θ : $\Delta v = \Delta \text{relief} * \sin \theta$ (voir Figure 4 § 3.2).

À 0° (axe du laser et axe de la caméra alignés), la caméra ne perçoit aucun relief ($\sin \theta = 0$).



Introduction à la triangulation laser

À 90° les variations de relief perçues sont maximum ($\sin \theta = 1$), mais la moindre partie surélevée empêche la caméra de voir le trait projeté par le laser.

Dans le cas général, θ est fixé à 30° ce qui permet de percevoir 50% de la variation de relief ($\sin \theta = 0.5$).

3. Passage de l'image 2D au monde réel 3D

3.1 Coordonnée X

La coordonnée X est donnée par la position de la projection du trait laser sur l'objet au moment de la prise de vue. En pratique, elle correspond souvent à une information de type nombre de pas codeur (axe codeur C).

3.2 Coordonnées Y et Z

L'image numérisée donne une description 2D du trait laser qui en l'absence de relief est une ligne droite sur le plan de référence.

Le plan laser étant parallèle aux lignes du capteur CCD de la caméra matricielle, pour chaque point du trait laser :

- la coordonnée Y est déterminée par le numéro de colonne dans l'image (axe image U),
- l'élévation Z par rapport au plan de référence est fonction du numéro de ligne dans l'image (axe image V) et du sinus de l'angle θ (voir Figure 4 ci-dessous et Figure 2 au paragraphe 2).

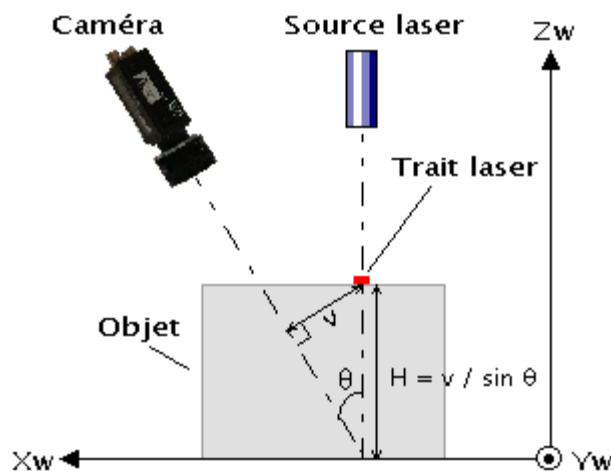


Figure 4 - Relation entre ligne image et hauteur de l'objet

3.3 Coordonnées 3D du monde réel

Une procédure de calibration est nécessaire pour convertir les triplets de coordonnées (C;U;V) du système de triangulation en coordonnées métriques ($X_w; Y_w; Z_w$) du monde réel.



Introduction à la triangulation laser

4. Résolutions

Le principe de la triangulation laser/caméra conduit à des résolutions différentes suivant chacun des axes X_w , Y_w et Z_w .

La résolution du codeur de position (axe C) et la distance qui sépare deux prises d'image détermine la résolution métrique obtenue pour la coordonnée X_w .

La résolution en colonne de l'image (axe U) détermine la résolution métrique pour la coordonnée Y_w .

La résolution en ligne de l'image (axe V) influe directement sur la résolution métrique pour la coordonnée Z_w . Cette résolution dépend :

- de l'angle de triangulation
- et des paramètres optiques (focale de l'objectif, ...).

La résolution sur l'axe V peut être supérieure au nombre de lignes de l'image si des algorithmes subpixels sont mis en œuvre.

D'autres paramètres interviennent dans la qualité de la triangulation :

- la puissance et la mise au point du laser qui jouent sur l'épaisseur du trait projeté,
- le temps d'intégration de la caméra qui règle l'intensité des pixels.