

Contrôle de production par vision linéaire

L'intérêt de ce TP est de s'initier à l'acquisition d'images linéaires.

Le matériel utilisé pour ce TP est fourni par Euresys, un fabricant belge de cartes d'acquisition pour capteurs linéaires et autres. La caméra utilisée est une caméra quadrilinéaire de marque Tattile.

DANS CE TP, UN SOIN PARTICULIER EST ABSOLUMENT NÉCESSAIRE DANS LA MANIPULATION DU MATÉRIEL AFIN DE NE PAS ENDOMMAGER CELUI-CI. LE MATÉRIEL SERA DONC MANIPULÉ AVEC PRÉCAUTIONS ET SOIGNEUSEMENT RANGÉ APRÈS CHAQUE UTILISATION.

Un compte-rendu de TP doit être remis au professeur. Ce compte-rendu devra faire apparaître les points suivants :

- **une introduction,**
- **une réponse justifiée à chaque question,**
- **une conclusion.**

1 L'application

L'objectif du TP est de détecter des objets sur une feuille de papier passant sur un rouleau à l'aide d'une caméra linéaire. Ces objets peuvent représenter aussi bien des défauts que des décors imprimés sur la feuille. L'image de la figure 1 montre une partie de cette feuille de papier.

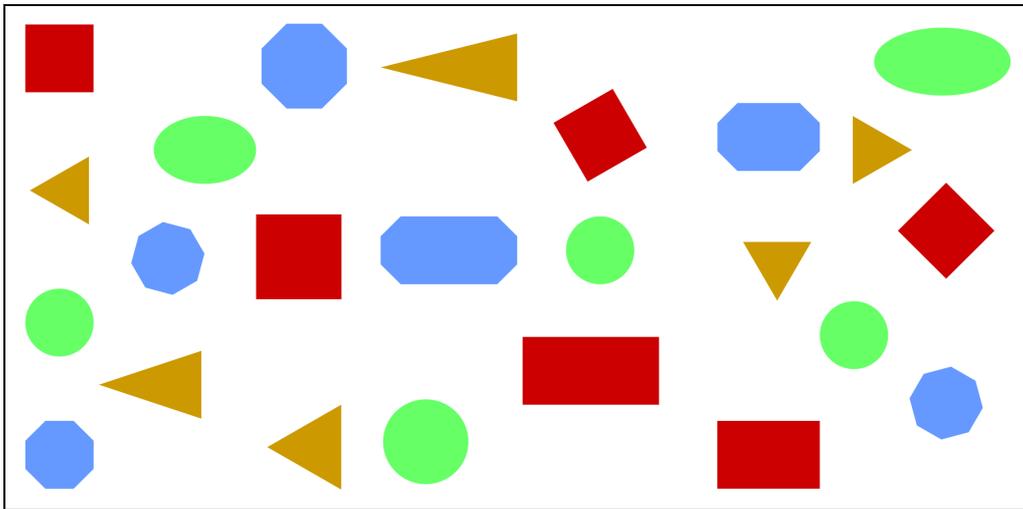


Figure 1 – Feuille de papier défilant sur un rouleau

Quatre type d'objets apparaissent sur cette feuille :

- des rectangles de couleur rouge (dont 1 carré de côté égal à 4 cm),
- des ellipses de couleur verte (dont 1 cercle de diamètre égal à 4 cm),
- des hexagones de couleur bleue,
- des triangles de couleur jaune.

La feuille possède une largeur $L = 42$ cm et défile sur un rouleau de diamètre $\Phi = 226,5$ mm et de largeur $l = 500$ mm. Une alimentation continue permet de commander le moteur entraînant ce rouleau. La tension d'alimentation peut varier jusqu'à 30V. La vitesse de défilement V est ainsi réglée grâce à un potentiomètre placé près de l'écran.

Un codeur incrémental de résolution $N = 5000$ points (voir annexe) est couplé à l'arbre moteur entraînant le rouleau. Ce codeur envoie ainsi à la carte d'acquisition 5000 impulsions par tour.

Plusieurs sources d'éclairage sont à disposition pour éclairer la feuille en défilement continu :

- une source à Leds de couleur blanche,
- une source halogène associée à une fibre optique,
- une source fluorescente classique,
- une source fluorescente munie d'un ballast gradable haute fréquence.

Chaque éclairage est monté sur un profilé en aluminium venant se positionner au dessus du rouleau à l'emplacement prévu (voir figure 2 et 3). Il ne reste alors plus qu'à les câbler sur les connections prévues et les alimenter à l'aide des commutateurs placés près de l'écran.



Figure 2 – Différentes sources d'éclairage

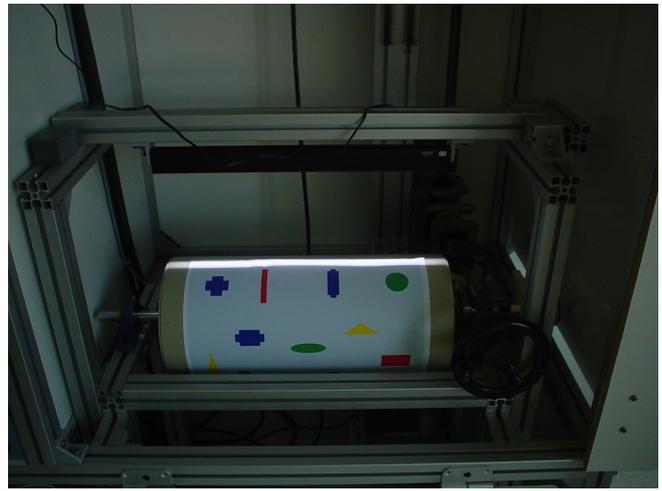


Figure 3 – Système d'éclairage

Le tout est placé à l'abri de l'éclairage ambiant et est relié à un PC. Un volet placé sur le côté droit de la maquette permet de faire entrer la lumière ambiante sur le produit à inspecter.

La caméra est montée sur un système de translation permettant de la déplacer en hauteur afin de régler la distance de travail D entre la surface à inspecter et l'objectif de la caméra ainsi qu'un système de rotation permettant de la faire pivoter sur elle-même afin de viser la zone éclairée.

Enfin un tachymètre, visible sur la figure 2, est disponible pour mesurer la vitesse de défilement du produit. La notice d'utilisation est disponible en annexe.

2 Le système de vision linéaire

2.1 Présentation du matériel

Le matériel est composé de deux éléments : une carte d'acquisition Euresys et une caméra linéaire Tattile.

2.1.1 La caméra linéaire

La caméra est une caméra numérique de marque Tattile, fabricant italien. C'est une caméra quadri-linéaire (capteur Kodak KLI-4104 possédant 1 ligne monochrome et 3 lignes pour la couleur) de modèle Tapix LXD 8000@14000, à monture F et au standard Camera Link. Le capteur monochrome possède une résolution $R_T = 8160$ pixels et une fréquence ligne maximale $F_{max} = 14$ kHz. Le capteur couleur possède une résolution $R_T = 4096$ pixels et une fréquence ligne maximale $F_{max} = 7$ kHz (voir documentation en annexe). La figure 4 montre cette caméra.



Figure 4 – Caméra Tapix LXD 8000@14000

2.1.2 La carte d'acquisition

Le système de vision linéaire est bâti autour d'une architecture PC et d'une carte d'acquisition d'images (voir figure 5).



Figure 5 – Carte d'acquisition au format Camera Link

La carte d'acquisition utilisée est la carte Grablink Avenue de marque Euresys (voir documentation en annexe). Cette carte, au format PCI, permet d'échanger les données avec une caméra au standard Camera Link en configuration de base. Elle dispose d'une mémoire de 32 Mo.

La fréquence pixel maximale de la carte est de 85 MHz sur 24 bits en configuration de base. Elle dispose de 4 entrées / sorties logiques, 2 entrées / sorties différentielles et d'une sortie opto-isolée permettant de recevoir et synchroniser des signaux de codeurs et/ou de triggers.

La carte d'acquisition est placée dans un PC sous environnement Windows 7.

2.2 Présentation des logiciels

Deux logiciels différents sont utilisés :

- **Le logiciel de contrôle de la caméra**, qui permet de configurer la caméra.
- **Le logiciel de contrôle de la carte d'acquisition**, qui permet de dialoguer avec la carte d'acquisition.

2.2.1 Logiciel de contrôle de la caméra

La caméra quadrilinéaire numérique Tapix LXD 8000@14000 est livrée avec un logiciel de paramétrage (voir figure 6). Le manuel d'utilisation de ce logiciel est fourni en annexe.

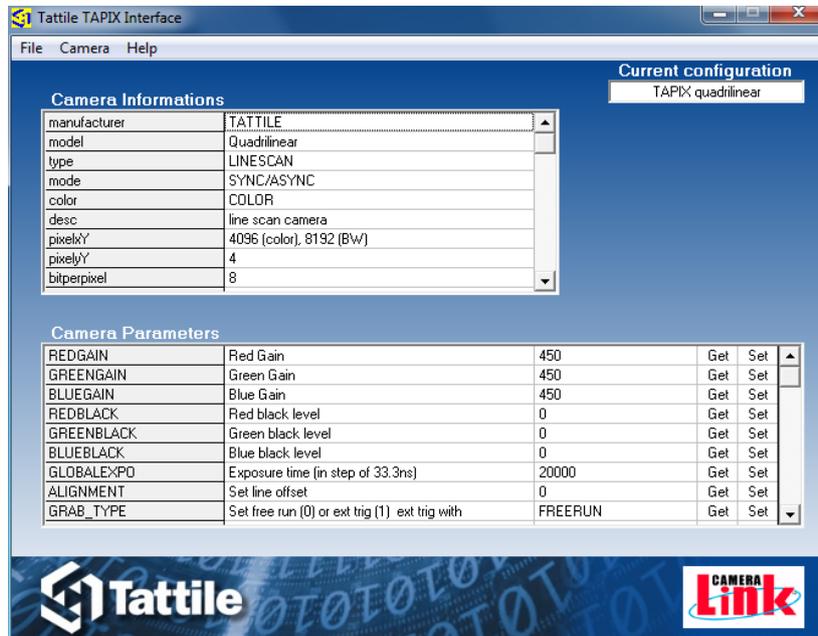


Figure 6 – Logiciel de contrôle des caméras Tapix

Le paramétrage de la caméra se fait via la carte d'acquisition où le port Camera Link est vu comme un port série. Pour établir la communication avec la caméra, il est donc nécessaire d'utiliser une librairie (DLL) fournie par le constructeur de la carte.

L'ouverture de cette DLL est réalisée dans le menu "Camera" ► "Connect" (voir figure 7). Cette DLL se trouve dans le dossier : Program Files/CameraLink/Serial.

Ce fichier ne doit, en aucun cas, être modifié, déplacé, renommé, ou supprimé !

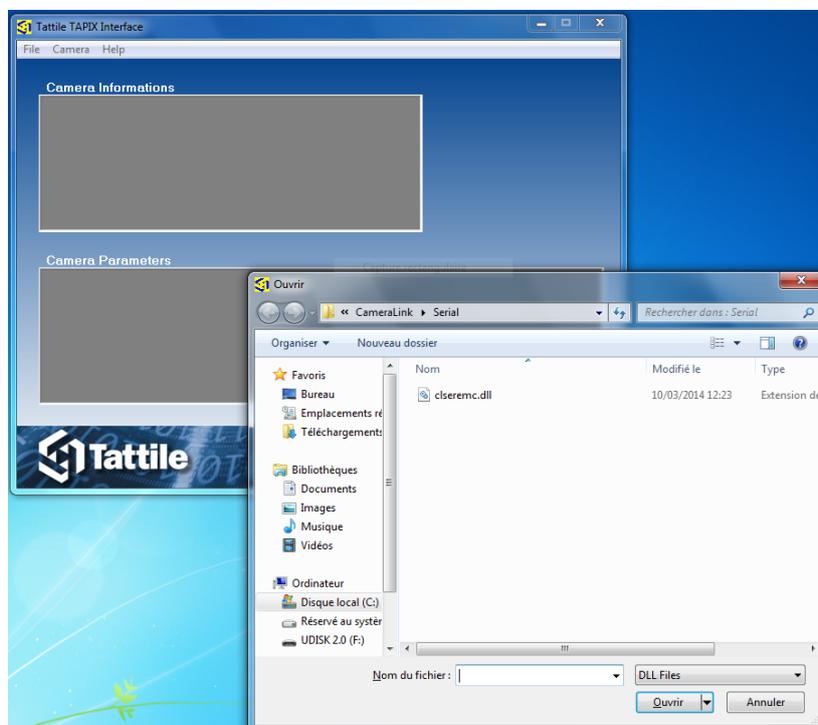


Figure 7 – Ouverture de la DLL permettant la communication avec la caméra via la carte d'acquisition

Il faut ensuite créer (ou ouvrir) un fichier de configuration de la caméra quadrilinéaire (menu "File" ► "New"). Il est alors possible de régler les 33 paramètres du tableau 1 et d'enregistrer ce paramétrage dans un fichier au format "tpl".

Paramètre	Description	Valeurs possibles
REDGAIN GREENGAIN BLUEGAIN	Gain composante rouge Gain composante verte Gain composante bleue	[0, 1024] [0, 1024] [0, 1024]
REDBLACK GREENBLACK BLUEBLACK	Offset composante rouge Offset composante vert Offset composante bleue	[0, 1024] [0, 1024] [0, 1024]
GLOBALEXPO ALIGNMENT GRAB_TYPE	Temps d'intégration par pas de 100/3 ns Décalage spatial Mode de déclenchement des acquisitions	[1, 65535] [-128, 128] FREERUN, EXTTRIG, EXT-TRIG_PROG
GAIN_LUMA_AO GAIN_LUMA_BO GAIN_LUMA_AE GAIN_LUMA_BE	Gain composante monochrome gauche impaire Gain composante monochrome droite impaire Gain composante monochrome gauche paire Gain composante monochrome droite paire	[0, 1023] [0, 1023] [0, 1023] [0, 1023]
CALC_SHADING SAVE_SHADING SHADINGCORRECTION	Calcul de la loi de correction d'éclairage Sauvegarde de la loi de correction d'éclairage Autorise la correction d'éclairage	DISABLE_SHADING, EN-ABLE_SHADING
SAVE_PARAMETERS	Sauvegarde des paramètres dans la mémoire flash de la caméra	
SOFT_VER	Indique la version du logiciel	
TEMP	Indique la température de la caméra	$Temp = Value/128$
SIZEX SIZEY		
FPGA_VERSION	Indique la version du FPGA	
ENABLE_ONLY_LUMINANCE	Autorise l'utilisation du capteur monochrome seulement ou du capteur couleur aussi	ENABLE_CHROMA_LUMINANCE, ENABLE_ONLY_LUMINANCE
START_LVAL STOP_LVAL		
SET_LUT ENABLE_LUT SAVE_LUT_COEFFICIENT	Définit une LUT Autorise l'application d'une LUT Sauvegarde de la LUT définie	DISABLE, ENABLE
SEL_PATTERN	Sélectionne une ligne spécifique de la caméra	DISABLE, RED_PATTERN, GREEN_PATTERN, BLUE_PATTERN, Y_PATTERN
LOGR LOGG LOGB LOGL		

Tableau 1 – Paramètres de la caméra

La lecture d'un paramètre est effectuée en cliquant sur "GET". L'écriture d'un paramètre est validée en cliquant sur "SET".

2.2.2 Logiciel de contrôle de la carte d'acquisition

La carte d'acquisition est configurée à l'aide du logiciel Multicam Studio. Multicam Studio est un logiciel interactif d'acquisition et d'affichage d'images pour carte Euresys. Il permet donc à l'utilisateur de configurer la carte et d'afficher les images acquises.

Il dispose également d'outils de visualisation et d'enregistrement des images (voir figure 8).

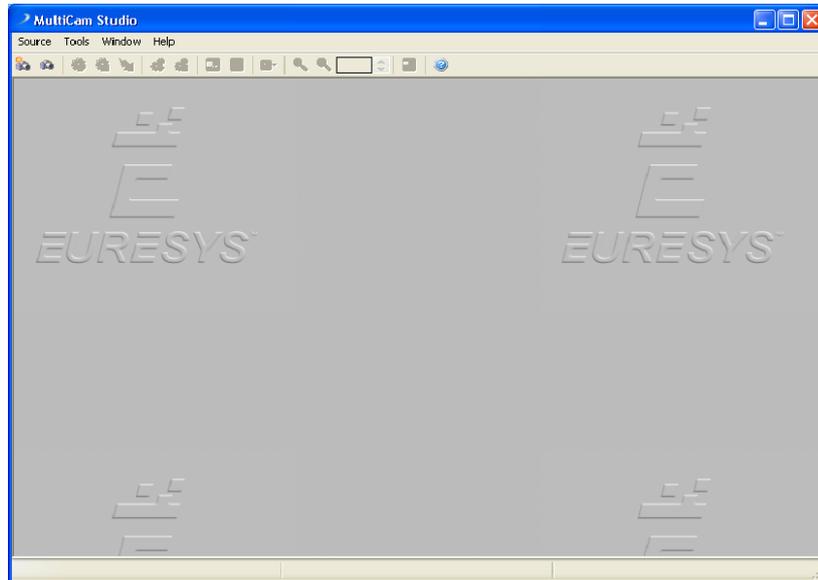


Figure 8 – Logiciel Multicam Studio d'acquisition d'images pour carte Euresys

Il faut ensuite créer (ou ouvrir) un fichier de configuration de la carte en allant dans le menu "Source" ► "New" et choisir le standard Camera Link (voir figure 10).

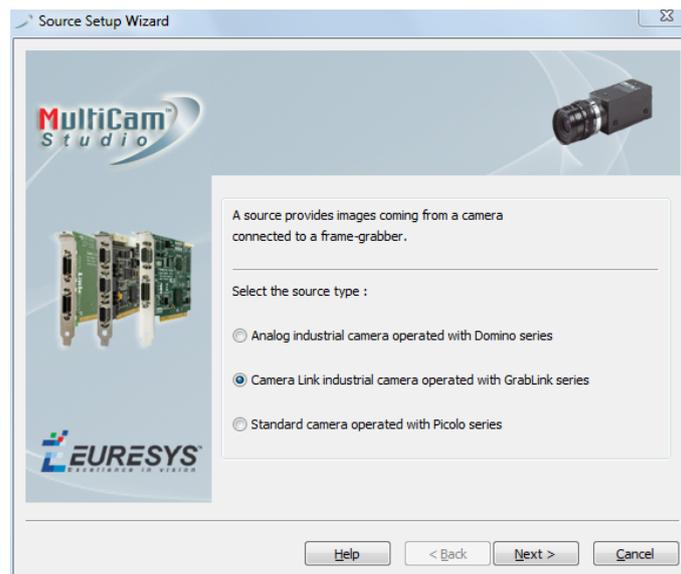


Figure 9 – Création d'un fichier de configuration

Le logiciel ouvre alors la liste des caméras au standard Camera Link qu'il est possible d'interfacer avec la carte (voir figure 10). Il faut donc sélectionner la marque TATTILE et la caméra Tapix-LCD-8000-14000. Une liste de fichiers de configuration de dialogue avec la caméra est alors proposée (voir figure 11).

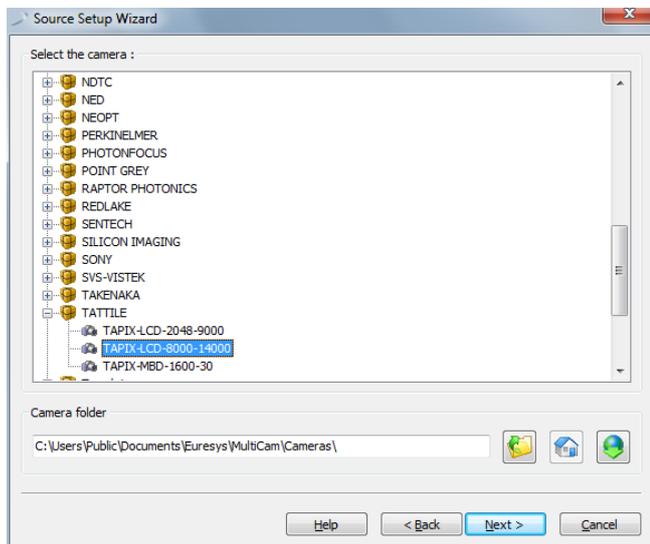


Figure 10 – Liste des caméras

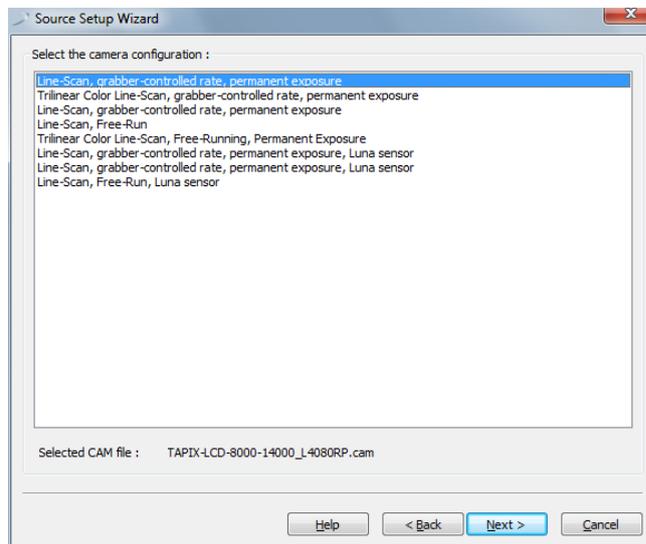


Figure 11 – Liste des fichiers de configuration

Les fichiers de configuration disponibles et présentés en annexe sont les suivants :

- Pour une utilisation en caméra monochrome :
 - L8160SP : utilisation de la caméra en mode "free-running" avec temps d'exposition permanent. Le temps de cycle (readout) est égale au temps d'intégration qui est directement réglé sur la caméra. La caméra envoie à la carte une image-ligne acquise périodiquement à une période égale à ce temps. La fréquence ligne (line rate) est alors l'inverse du temps d'intégration.
 - L8160RP : utilisation de la caméra en mode "external-trigger" avec temps d'exposition permanent. Le temps de cycle (readout) est égale au temps d'intégration qui est défini par le paramètre "Expose_us" de la carte d'acquisition. Ce paramètre correspond à la période du signal envoyé par la carte pour demander l'acquisition d'une image-ligne et indique la durée de l'exposition. La fréquence ligne (line rate) est alors l'inverse de cette durée.
 - L8160RP_DR : même configuration que L8160RP avec activation de la fonctionnalité ADR (voir documentation en annexe).
- Pour une utilisation en caméra couleur :
 - L4080SP : voir L8160SP,
 - L4080SP_ColorScan : configuration en mode SP pour une carte Grablink Quickpack ColorScan (inutile ici),
 - L4080RP : voir L8160RP,
 - L4080RP_ColorScan : configuration en mode RP pour une carte Grablink Quickpack ColorScan (inutile ici),
 - L4080RP_DR : voir L8160RP_DR.

Il est également possible de créer son propre fichier de configuration.

L'ouverture d'un fichier permet d'accéder à différents modes d'acquisition :

- **WEB** : dans ce mode, la carte d'acquisition capture l'image d'un objet de longueur infinie ou indéterminée (produit en défilement continu). L'image de cet objet est divisée en plusieurs images contenues dans des pages successives. Chaque page stocke un nombre d'images-lignes définie par l'utilisateur (paramètre "PageLength_Ln"). Dès que ce nombre est atteint, l'image correspondante est affichée et une nouvelle série d'images-lignes est acquise parallèlement pour être ensuite affichée à son tour...
- **PAGE** : dans ce mode, la carte d'acquisition fait l'acquisition successive d'un ensemble d'images-lignes contigus (page) pendant le défilement du produit devant la caméra. Dès que le nombre

d'image-lignes, défini par l'utilisateur, est atteint, l'image à deux dimensions correspondante est affichée. Ce mode est utilisé lors de l'inspection d'objets multiples de dimension finie apparaissant devant la caméra.

- **LONGPAGE** : ce mode est utilisé lorsque la taille de l'image de l'objet à acquérir est très grande et ne peut pas tenir dans une seule page. Plusieurs pages sont nécessaires pour enregistrer un seul objet. Ce mode est particulièrement utilisé lorsque la dimension de l'objet dans le sens du défilement n'est pas connue à l'avance et peut varier.

L'image en deux dimensions stockée dans la mémoire de la carte correspond donc à l'acquisition successive de plusieurs images-lignes. Le début (et la fin) de l'acquisition de cette image obéit à plusieurs mode de déclenchement :

- **IMMEDIATE** : l'acquisition des images-lignes commence dès que la caméra est connectée.
- **HARD** : l'acquisition des images-lignes commence dès que l'entrée trigger reçoit un signal provenant de l'extérieur.
- **SOFT** : l'acquisition des images-lignes commence dès que l'utilisateur le demande via le logiciel.
- **COMBINED** : l'acquisition des images-lignes commence en mode HARD ou en mode SOFT.

Différents modes de capture (paramètre "LineCaptureMode") sont alors possibles :

- **ALL** : les images-lignes sont acquises au rythme de la fréquence ligne (line rate).
- **PICK** : toutes les images-lignes sont acquises mais un ré-échantillonnage de l'image est effectué en utilisant un signal externe de manière à maintenir un rapport d'aspect constant.
- **ADR** : ce mode est similaire au mode PICK mais la méthode de ré-échantillonnage est différente et donne une image de meilleure qualité.

En fonction du mode de capture, différents modes de déclenchement d'acquisition des images-lignes (paramètre "LineRateMode") existent :

- **PULSE** : l'acquisition d'une image-ligne est déclenchée en fonction d'un signal externe (codeur incrémental).
- **PERIOD** : l'acquisition des images-lignes est déclenchée par un signal périodique provenant de la carte d'acquisition.
- **CONVERT** : l'acquisition des images-lignes est déclenchée en fonction d'un signal externe mais l'image est ré-échantillonnée de telle sorte à maintenir un rapport d'aspect constant.
- **CAMERA** : en mode ALL et sous exposition permanente (mode SP), l'acquisition des images-lignes est faite au rythme de la fréquence ligne de la caméra.
- **EXPOSE** : en mode ALL et sous exposition contrôlée (mode RP), l'acquisition des images-lignes est faite au rythme de la fréquence ligne imposée par la carte.

3 Travail à effectuer

3.1 Création du projet

Afin d'acquérir des images, il faut suivre la procédure suivante :

1. Ouvrir le logiciel de pilotage de la caméra, se connecter à celle-ci et régler les paramètres après avoir lu leurs valeurs ("GET ALL").
2. Ouvrir Multicam Studio et configurer la carte d'acquisition.
3. Démarrer et stopper l'acquisition des images afin de visualiser les images acquises (se placer au centre de l'image puis sur les bords).
4. Ajuster les paramètres de la caméra et/ou de la carte si nécessaire avant de procéder à une nouvelle acquisition.

5. Enregistrer l'image acquise si nécessaire.

Les coordonnées et les niveaux d'un pixel de l'image pointé avec la souris apparaissent en bas de la fenêtre de cette image ainsi que d'autres informations.

3.2 Acquisition d'images-lignes

Après avoir effectué les réglages de la caméra, l'acquisition des images-lignes sera effectuée sans codeur incrémental dans un premier temps et les paramètres d'acquisition seront étudiés. Dans un second temps, l'acquisition des images-lignes sera déclenchée par le signal du codeur incrémental.

3.2.1 Réglages

La procédure de réglage du système de vision linéaire est la suivante :

1. Ouvrir le logiciel de contrôle de la caméra, connecter la caméra quadrilinéaire et régler les paramètres souhaités.
2. Ouvrir le logiciel de contrôle de la carte, puis ouvrir le fichier de configuration voulue et régler les paramètres souhaités.
3. Positionner l'éclairage choisi sur le support prévu puis câbler et allumer cette éclairage.
4. Alimenter le rouleau afin de le faire tourner. La vitesse peut être mesurée en rpm (tour/min) ou en m/min grâce au tachymètre.
5. Fixer le nombre de lignes à acquérir à la valeur souhaitée (paramètre "PageLength_Ln"). Ce paramètre définit le nombre de lignes de l'image mise en mémoire dans la carte d'acquisition et qui seront affichées après chaque demande d'acquisition.
6. Régler le temps d'exposition (noté t_e) à la valeur souhaitée, soit sur la caméra en mode SP (dans ce cas, la valeur saisie est un multiple de $1/30 \mu s$ et le paramètre GRAB_TYPE de la caméra doit être fixé à FREERUN), soit sur la carte en mode RP (dans ce cas le paramètre "Expose_us" indique la durée de l'exposition en μs et le paramètre GRAB_TYPE de la caméra doit être fixé à EXTTRIG). Dans ces deux modes, le temps de cycle (noté t_c , c'est l'inverse de la fréquence ligne F), est égal au temps d'exposition ($t_c = t_e$).
7. Pour effectuer les réglages, activer le mode d'acquisition continue sur la carte (mode WEB), et visualiser les images 2D acquises.
8. Déplacer la caméra de sorte à obtenir toute la largeur de la ligne de visée dans une image.
9. Ajuster la position de la caméra et/ou de l'éclairage afin d'obtenir une image avec un maximum de luminosité tout en ouvrant l'objectif le moins possible afin de réduire les problèmes dues à la distorsion, au vignettage et à la profondeur de champs.
10. Régler la mise au point afin d'obtenir une image la plus nette possible. Pour cela, on pourra stopper la rotation du rouleau afin d'observer une transition entre le fond et un objet et effectuer le réglage afin d'obtenir un contour le plus net possible.
11. Affiner votre réglage en répétant les opérations précédentes. Attention, avant de changer la valeur d'un paramètre, il est préférable de stopper l'acquisition d'images-lignes.

Dans un premier temps, fixer le nombre de lignes à acquérir à 800 et mettre le rouleau en rotation à une vitesse minimale. Utiliser l'éclairage à Leds. On utilisera un fichier de configuration de la carte d'acquisition en mode SP (voir figure 12) pour piloter le capteur monochrome en mode "FREERUN". L'acquisition des images sera faite en mode "WEB" avec le mode de capture "IMMEDIATE" tandis que les images-lignes seront acquise en mode "ALL" avec le mode de capture "CAMERA".

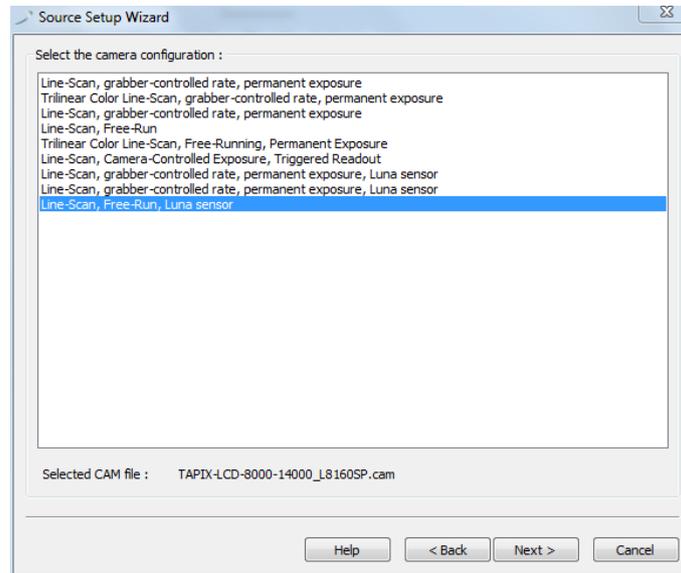


Figure 12 – Sélection du fichier de configuration "TAPIX-LCD-8000-14000_L8160SP.cam"

1) Mise au point du système :

- Régler les paramètres de telle sorte à obtenir une fréquence ligne de 1000 Hz (la valeur à saisir correspondant à l'inverse de cette fréquence est égale à 30000).
- Effectuer le réglage de votre système de vision linéaire comme indiqué précédemment.
- Indiquer sur votre compte-rendu les valeurs des paramètres d'acquisition, la taille mémoire de l'image, ainsi que la valeur de la vitesse mesurée avec le tachymètre.

2) Calcul optique :

- Après avoir relevé la focale de l'objectif utilisé et la dimension du capteur, déterminer la distance D à laquelle il faut placer la caméra pour obtenir toute la largeur L de la feuille de papier sur l'image acquise.
- Une fois le réglage effectué, mesurer la distance entre la feuille et l'objectif et comparer cette mesure avec la théorie.

3.2.2 Acquisition sans codeur

3) Modification du temps d'exposition et de la fréquence ligne :

- Régler le temps d'exposition t_e à la valeur $500 \mu s$ (la valeur à saisir est égale à 15000). Quelle est la fréquence ligne correspondante ?
- Faire une nouvelle acquisition et expliquer les phénomènes observés.
- Que faut-il faire pour obtenir une quantité de lumière identique à la précédente ($F = 1000 \text{ Hz}$) ? Effectuer ce réglage.

Dans la suite du TP, régler le système pour avoir une fréquence ligne F égale à 2 kHz. A l'aide du tachymètre, fixer la vitesse de défilement du produit à $V = 30 \text{ m/min}$ ($= \frac{V}{\Phi \times \pi} = 42,16 \text{ tr/min}$) . Fixer le nombre de lignes à acquérir à 800.

4) Précisions transversale et longitudinale :

- Calculer la précision transversale P_T (sens du capteur) et la précision longitudinale P_L (sens du défilement) théoriques en mm/pixel ainsi que la résolution longitudinale R_L du système (nombre de lignes par tour).
- En mesurant, en pixels, la taille des objets dont la dimension est connue, déterminer expérimentalement la précision transversale et la précision longitudinale et en déduire la résolution longitudinale du système (nombre de lignes par tour).
- Comparer avec les valeurs théoriques.

5) Modification de la vitesse de défilement :

- Exprimer la vitesse V en fonction de la fréquence d'acquisition F de la caméra, la résolution R_T de la caméra et la dimension L du produit à inspecter de telle sorte que la précision longitudinale soit égale à la précision transversale ($P_L = P_T$). Calculer V en m/min et en tr/min.
- Modifier progressivement la vitesse jusqu'à obtenir une précision longitudinale le plus proche possible de la précision transversale et expliquer les phénomènes observés.
- Relever la vitesse de défilement du produit et comparer avec la théorie.

6) Acquisition de l'image selon un signal externe :

- Configurer l'acquisition des images en mode "PAGE" de telle sorte que le début des acquisitions commence sur le front descendant du signal fourni par le capteur de présence (mode "HARD"). Attention, ce capteur fournit une entrée de 12 V à la carte, il faut donc spécifier ce type d'entrée dans les paramètres avancés (Paramètres "Trigger Control" : TrigCtl = I12V, TrigEdge = GOLOW de la figure 13).
- Que se passe-t-il lorsqu'on utilise ce mode de déclenchement ?

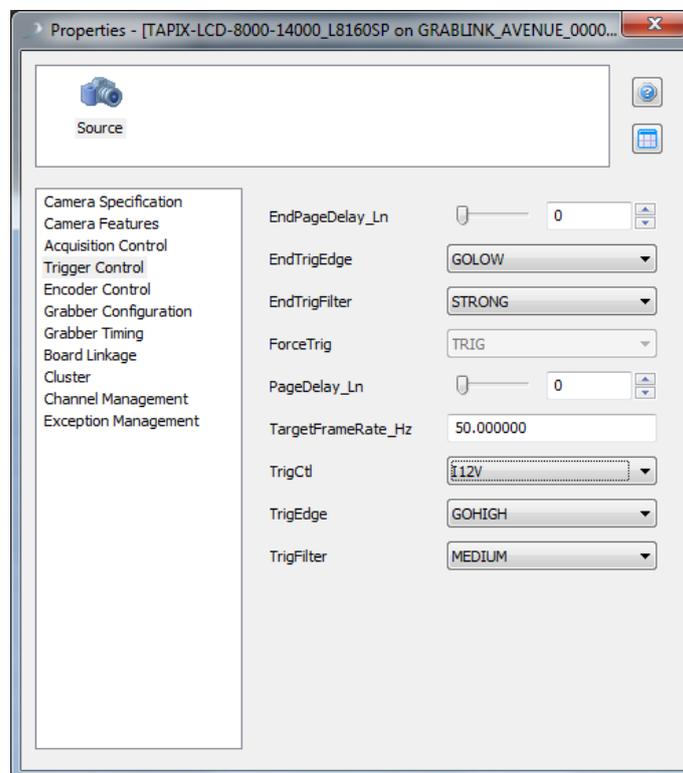


Figure 13 – Configuration de l'acquisition selon un signal externe

3.2.3 Acquisition avec codeur

Le système va maintenant être configuré de façon à ce que les images-lignes soient acquises sur chaque front du codeur incrémental. Pour cela, il faut sélectionner le mode de capture "PICK" et le mode de déclenchement d'acquisition des images-lignes "PULSE".

Dans la suite du TP, on utilisera un fichier de configuration de la carte d'acquisition en mode SP pour piloter le capteur monochrome en mode "FREERUN". L'acquisition des images sera faite en mode "PAGE" avec le mode de capture "HARD" tandis que les images-lignes seront acquises en mode "PICK" avec le mode de capture "PULSE". Le nombre de lignes à acquérir sera fixé à 5000

7) Précision longitudinale :

- Configurer la carte de manière à ce que les impulsions reçues par le codeur incrémental soient utilisées pour déclencher l'acquisition des images-lignes.
- Calculer la précision longitudinale P_L théorique en mm/pixel ainsi que la résolution longitudinale R_L du système obtenues en utilisant le codeur incrémental.
- Déterminer expérimentalement la précision longitudinale, en déduire la résolution longitudinale de l'image et comparer avec la théorie.

8) Variation de la vitesse de défilement :

- Donner l'expression de la vitesse de défilement maximale V_{max} du produit à inspecter en fonction de la fréquence d'acquisition F de la caméra, du diamètre Φ du rouleau et de la résolution N du codeur incrémental. Calculer V_{max} en m/min et en tr/min.
- Modifier progressivement la vitesse et continuer à acquérir les images. Expliquer le phénomène observé.
- Quel phénomène observe-t-on lorsque la vitesse maximale de défilement est dépassée.

Formulaire

Précision

$$P = \frac{\delta}{S}$$

- δ , la taille du plus petit élément à observer
- S , le facteur de sécurité

Caméra matricielle

Précision

$$P = \frac{H}{R}$$

- H , la largeur ou la longueur du champ de vision
- R , la résolution du capteur en largeur ou en longueur

Cadence de production maximale

$$V = \frac{d}{t}$$

- V , la vitesse de défilement des objets
- d , la distance séparant deux objets en défilement
- t , le temps séparant l'apparition de deux objets en défilement (temps de cycle)

Temps d'exposition maximale

$$\Delta t = \frac{P \times \Delta p}{V}$$

- V , la vitesse de défilement des objets
- Δp , le seuil de perception du flou de bougé

Caméra linéaire

Précision transversale

$$P_T = \frac{L}{R}$$

- L , la longueur de la ligne de visée
- R , la résolution de la caméra

Précision longitudinale sans codeur

$$P_L = \frac{V}{F}$$

- V , la vitesse linéaire de défilement du produit à observer
- F , la fréquence ligne de la caméra

Précision longitudinale avec codeur

$$P_L = \frac{\Delta d}{N}$$

- Δd , le déplacement du produit à observer pour un tour du codeur
- N , la résolution du codeur (nombre d'impulsions délivré par tour)

Vitesse linéaire maximale de défilement avec codeur

$$V_{max} = \frac{F \times \Delta d}{N}$$

- Δd , le déplacement du produit à observer pour un tour du codeur
- N , la résolution du codeur
- F , la fréquence ligne de la caméra

Optique

Focale

$$f = \frac{C \times D}{H}$$

- C , la largeur ou la longueur du capteur
- D , la distance de travail
- H , la largeur ou la longueur du champ de vision

Nombre d'ouverture relative

$$N = \frac{f}{\Phi}$$

- f , la distance focale
- Φ , le diamètre du diaphragme

Profondeur de champs

$$pdc = \frac{2N \times c \times f^2 \times D \times (D - f)}{f^4 - N^2 \times c^2 \times (D - f)^2}$$

- f , la distance focale
- D , la distance de travail
- N , le nombre d'ouverture
- c , le diamètre du cercle de confusion (taille du pixel)

Mémoire image

$$M = \frac{N_{pixels} \times N_{bits} \times N_{couleur}}{8}$$

- M , la taille mémoire de l'image en octet
- N_{pixels} , le nombre de pixels de l'image
- N_{bits} , le nombre de bits pour le codage
- $N_{couleur}$:
 - $N_{couleur} = 1$ pour une image monochrome
 - $N_{couleur} = 3$ pour une image couleur