

Luc DUVIEUBOURG et Thierry CARPENTIER
Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres Artois

Analyse de différentes méthodes de segmentation subpixel application a l'extensométrie

Résumé. Dans l'extensométrie des matériaux élastiques tels que le caoutchouc il est souvent difficile d'utiliser des extensomètres, vu que l'allongement du matériau dépasse souvent la plage d'allongements prévue par la construction de l'extensomètre. La mesure de l'allongement par une caméra ligne est convenable, mais sa précision est limitée par la résolution de la caméra. L'article présente l'application des méthodes de segmentation subpixel pour obtenir une précision supérieure.

ANALIZA RÓŻNYCH METOD SEGMENTACJI SUBPIKSELOWEJ W ZASTOSOWANIU DO BADAŃ NA ROZCIĄGLIWOŚĆ

Streszczenie. W badaniach na rozciągliwość materiałów elastycznych, takich jak kauczuk, użycie tensometrów jest często utrudnione ze względu na dużą procentową wartość osiąganego wydłużenia, która przekracza zakres pomiarowy tensometrów. Pomiar wydłużenia za pomocą kamery liniowej (baretki CCD) jest dogodną metodą, ale jej dokładność jest ograniczona przez rozdzielczość kamery. Artykuł opisuje zastosowanie metod segmentacji subpikselowej do uzyskania lepszej dokładności.

EVALUATION OF SEVERAL SUBPIXEL SEGMENTATION SCHEMES APPLIED TO EXTENSOMETRY

Summary. In the extensometry of elastic materials such as rubber the use of tensometers is often difficult because of strong elongations which often exceed the measurement range of the tensometers. Measuring the elongation with a linear camera is practical but its precision is limited by the resolution of the camera. The paper presents the use of subpixel segmentation methods to achieve better precision.

1. Introduction

1.1. Extensométrie classique

La mesure de l'allongement de l'éprouvette et plus exactement de la longueur L , est un point essentiel des essais de traction.

Les matériaux tels que le caoutchouc, les élastomères, les matières plastiques et les métaux sont testés à partir d'éprouvettes dont la section n'est pas uniforme. Ces éprouvettes, de forme haltère, présentent une partie centrale dont la largeur est plus faible, ceci pour éviter les ruptures dans les attaches. On utilise, pour la mesure de la longueur L , des extensomètres qui prennent en compte l'allongement de l'éprouvette entre deux repères placés dans sa partie calibrée.

L'utilisation des extensomètres est très courante, mais elle implique un certain nombre d'inconvénients:

Ces extensomètres doivent être fixés sur l'éprouvette, ce qui nécessite un temps de préparation des mesures qui n'est pas négligeable, surtout dans le cas où l'extensomètre n'est pas motorisé car il faut alors le déplacer et le mettre en place manuellement.

Chaque extensomètre est conçu pour une plage de longueurs à mesurer (par exemple pour une longueur initiale L_0 et un allongement de l'éprouvette de 80%). Dans le cas de très grands allongements, comme pour les éprouvettes en élastomère qui peuvent voir leur longueur multipliée par 10, leur utilisation n'est pas aisée car ils ne permettent pas de mesurer une telle gamme de longueurs. Enfin, le fait que l'extensomètre soit en contact avec la pièce perturbe les mesures entraînant une perte de précision. Il existe néanmoins des extensomètres sans contact, fonctionnant grâce à un système électro-optique, mais dont l'utilisation est limitée aux essais sur des éprouvettes ayant de relativement faibles allongements et pour les tests effectués à chaud.

Le traitement d'images par ordinateur est une technologie qui peut être utilisée pour obtenir des mesures précises d'objets dans une image.

Le rôle que joue en métrologie les instruments et les méthodes optiques apparaît particulièrement dans la mesure des positions et des déplacements linéaires et par suite dans le contrôle des formes et des dimensions. Ce nouveau principe de mesure permet de palier certains inconvénients évoqués dans le paragraphe précédent.

En effet, les avantages de la métrologie optique s'expliquent par la propagation rectiligne de la lumière et par la formation d'images immatérielles qui permettent des contacts presque parfaits.

On peut encore ajouter que la lumière a, sur les extensomètres classiques, l'avantage d'une inertie absolument négligeable, qu'elle permet donc des opérations très rapides et qu'elles n'exercent sur les pièces mesurées aucune action génératrice de déformations ou d'usures.

1.2. La mesure dans une image

En général, les mesures effectuées dans une image permettent de déterminer les attributs nécessaires à la phase de reconnaissance. Les grandeurs mesurées peuvent être une

longueur, un périmètre, une surface, un centre d'inertie, un moment d'inertie. etc.

Dans le cadre de la mesure de l'allongement d'une éprouvette, la mesure consiste à évaluer la distance, en pixels, entre les deux extrémités d'un segment.

Si les deux extrémités a et b du segment sont de coordonnées respectives (x_a, y_a) et (x_b, y_b) , la distance d entre ces deux points est donnée grâce à la norme euclidienne par la formule suivante:

$$d = ((x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2)^{\frac{1}{2}}$$

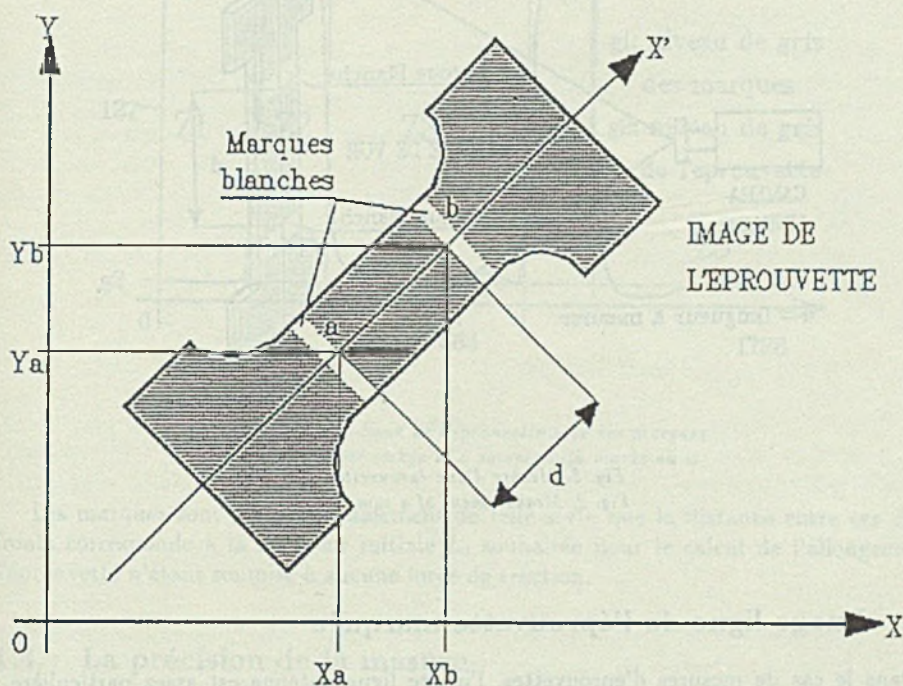


Fig. 1. Principe de la mesure d'un segment dans l'image
Fig. 1. The principle of measuring a segment in an image

Le calcul de la distance d peut être simplifié dans le cas de la mesure d'une longueur, en considérant la droite x' comme axe de mesure. Dans ce cas les points a et b ont pour coordonnées, suivant cet axe, x'_a et x'_b . La distance d se calcule alors par la formule:

$$d = x'_a - x'_b$$

Cette simplification peut être utilisée dans notre cas de figure puisqu'il n'y a qu'un segment à mesurer et qu'il se trouve toujours dans une direction perpendiculaire aux

marques blanches. L'utilisation d'une caméra linéaire s'avère parfaitement adaptée à la mesure unidimensionnelle de notre application.

L'éprouvette étant en position verticale, la caméra est placée de telle sorte que la droite passant par la barrette d'éléments photosensibles soit confondue avec l'axe de mesure.

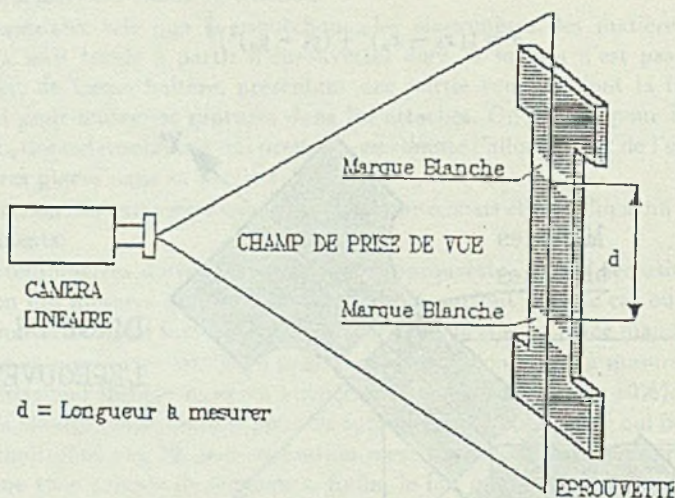


Fig. 2. Mesure d'une éprouvette
Fig. 2. Measurement of a sample

1.3. Image ligne de l'éprouvette marquée

Dans le cas de mesures d'éprouvettes, l'image ligne obtenue est assez particulière comme le montre la figure 2. L'éprouvette est noire et possède un niveau de gris moyen g_2 . Les deux marques blanches possèdent quant à elles un niveau de gris moyen g_1 . L'image obtenue est divisée en cinq zones: 3 zones noires (z_1 , z_3 et z_5) de niveau de gris g_2 correspondant à l'éprouvette entre lesquelles s'intercalent deux zones (z_2 et z_4) de niveau de gris g_1 correspondant aux deux marques blanches fixées sur l'éprouvette.

La longueur considérée pour la mesure de l'allongement de l'éprouvette correspond à la longueur de la zone noire centrale z_3 . Pour donner une estimation précise de cette longueur il faut déterminer la position des frontières (edges) au pixel près entre les zones z_2 et z_3 puis entre les zones z_3 et z_4 . Ainsi, nous obtenons la longueur L de l'éprouvette en pixels qu'il suffit, par la suite, de convertir en millimètres grâce à une comparaison avec une longueur étalon.

La mesure de cette zone centrale est rendue plus difficile par la présence d'un certain nombre de pixels (de 2 à 4) sur les frontières. La phase de segmentation détermine si

ces pixels appartiennent à la zone blanche ou à la zone noire. La précision des mesures dépend donc cruciallement de cette phase de segmentation.

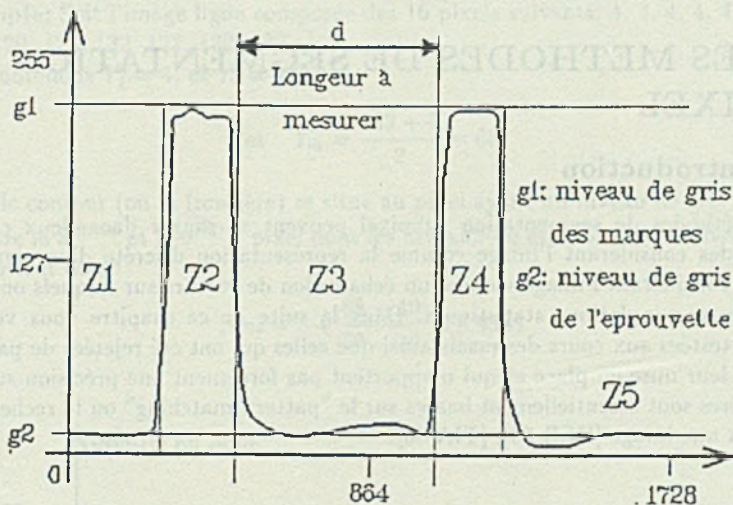


Fig. 3. Image ligne de l'éprouvette avec ses marques
Fig. 3. Linear image of a sample with marks on it

Les marques sont placées initialement de telle sorte que la distance entre ces deux fronts corresponde à la longueur initiale L_0 souhaitée pour le calcul de l'allongement, l'éprouvette n'étant soumise à aucune force de traction.

1.4. La précision de la mesure

La barrette photosensible de la caméra utilisée pour les essais possède 1728 pixels et couvre un champ de prise de vue de 250 mm. Ces données permettent facilement de déduire qu'un pixel représente une longueur l dans le plan de l'objet de:

$$l = \frac{250}{1728} = 0,14467 \text{ mm.}$$

Le calcul de l permet de déterminer la précision des mesures obtenues lorsqu'une segmentation par seuillage est effectuée pour les pixels des fronts. En effet, cette segmentation ne peut se faire qu'au pixel près et la mesure étant prise entre deux fronts, la précision de celle-ci est alors de plus ou moins deux pixels soit plus ou moins 0,289 mm.

Cette imprécision étant trop importante par rapport aux extensomètres classiques, on augmente la précision de la mesure par des méthodes de segmentation subpixel. De cette façon la position du front peut être déterminée à quelques dixièmes de pixel près.

Différentes méthodes de segmentation subpixel ont été évalués, ainsi que les résultats obtenus dans le cadre de mesures d'images de tests. Ces mesures ont pour but de déterminer la meilleure méthode en tenant compte de la précision, de l'influence des paramètres d'expérimentation.

2. LES METHODES DE SEGMENTATION SUB-PIXEL

2.1. Introduction

Les méthodes de segmentation subpixel peuvent se ranger dans deux catégories: les méthodes considérant l'image comme la représentation discrète d'un signal et les méthodes considérant l'image comme un échantillon de valeurs sur lesquels on peut appliquer des manipulations statistiques. Dans la suite de ce chapitre nous verrons les méthodes testées aux cours des essais ainsi que celles qui ont été rejetées de par la complexité de leur mise en place et qui n'apportent pas forcément une précision supérieure. Ces dernières sont essentiellement basées sur le "pattern matching" ou la recherche d'un motif dans une image [DER 89], [TIA 86].

2.2. L'interpolation linéaire

C'est la méthode la plus courante et la plus simple à mettre en place bien qu'elle nécessite tout de même un temps de calcul relativement important. L'interpolation linéaire est relativement efficace lorsque l'image est peu bruitée et que le contraste α entre les niveaux de gris du fond (E_0) et de l'objet (E_1) est excellent.

$$\alpha = \frac{E_1 - E_0}{E_1}$$

Elle est basée sur le principe du passage de la transition par un niveau de gris moyen Y_m . Le point où s'effectue ce passage est considéré comme étant la frontière entre l'objet et le fond.

On détermine dans un premier temps le niveau de gris du fond Y_f et le niveau de gris de l'objet Y_0 en faisant la moyenne des pixels appartenant à ces deux régions sans tenir compte des pixels du front. Il est à noter que les valeurs Y_f et Y_0 peuvent être aussi déterminées par séparation d'histogramme mais cette technique ne s'imposait pas avec les images que nous obtenions, car elles étaient suffisamment contrastées et relativement peu bruitées. Le calcul de Y_m s'effectue de la façon suivante:

$$Y_m = \frac{Y_f + Y_0}{2}$$

La dernière phase de cette méthode est la détermination du contour qui se fait par interpolation. On détermine deux points successifs du front X_i et X_{i+1} dont les niveaux de gris Y_i et Y_{i+1} encadrent Y_m , puis on calcule la position X_m de ce contour de la façon suivante [DER 89]:

$$X_m = X_i + \frac{Y_m - Y_i}{Y_{i+1} - Y_i}$$

Exemple: Soit l'image ligne composée des 16 pixels suivants: 4, 4, 4, 4, 4, 8, 20, 40, 70, 100, 120, 128, 132, 132, 132, 132.

Nous obtenons $Y_f = 4$, et $Y_0 = 132$.

$$\text{et } Y_m = \frac{132 + 4}{2} = 68$$

Ainsi le contour (ou la frontière) se situe au pixel ayant un niveau de gris de 68 c'est à dire entre le 8^{ième} et le 9^{ième} pixel dont les niveaux de gris sont respectivement 40 et 70. On obtient donc:

$$X_m = 8 + \frac{68 - 40}{70 - 40} = 8.9333$$

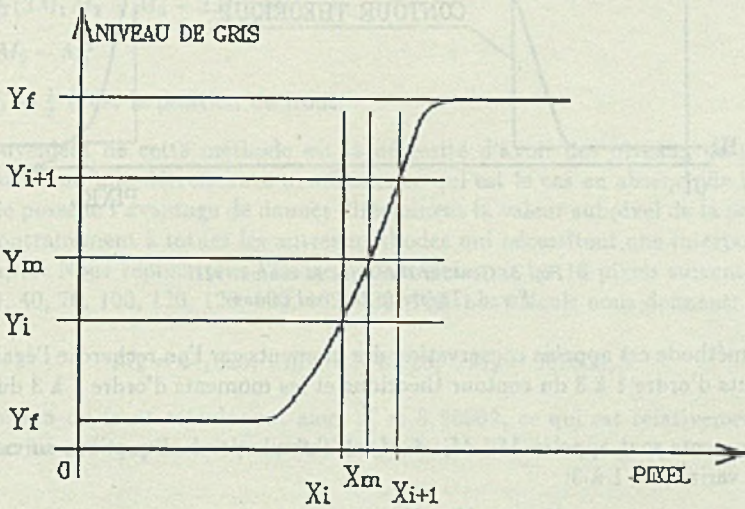


Fig. 4. Segmentation par interpolation linéaire
 Fig. 4. Segmentation by linear interpolation

2.3. La conservation des moments

Il s'agit de l'exemple type de méthode considérant l'image comme un échantillon statistique. Elle a été mise au point par TABATABAI et MITCHELL de l'Université de Perdue en 1984 [TAB 84].

Cette méthode s'appuie sur la détermination de la meilleure coïncidence entre un échantillon de N pixels de l'image et le contour théorique qui correspond à une transition rectangulaire (passage direct du niveau de gris du fond à celui de l'objet [DAV 75]).

Les paramètres de ce contour sont le niveau de gris H_1 du fond, le niveau de gris H_2 de l'objet et X la localisation du contour. On considère dans cette méthode que la valeur du niveau de gris du pixel s'applique au centre de celui-ci. Ainsi K , le nombre connu de points de l'échantillon situés avant le contour est égal à $X-1/2$ et il n'est pas entier.

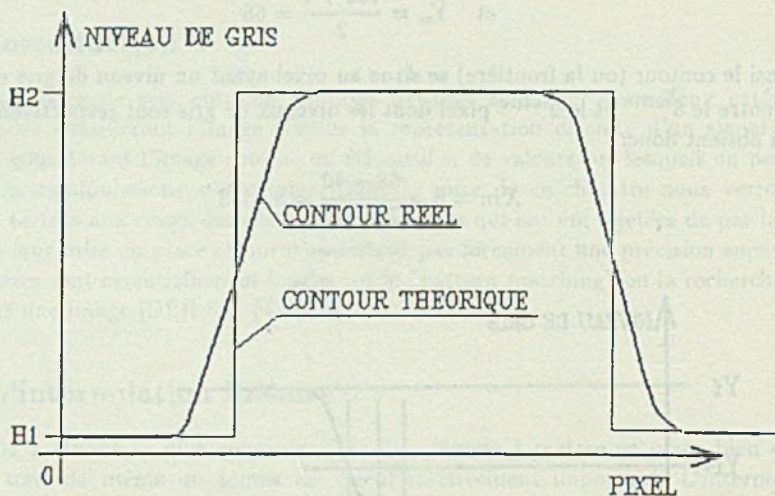


Fig. 5. Contour théorique et contour réel
Fig. 5. Theoretic and real contour

Cette méthode est appelée conservation des moments car l'on recherche l'égalité entre les moments d'ordre 1 à 3 du contour théorique et les moments d'ordre 1 à 3 du contour réel.

Ces moments sont appelés M_1 , M_2 et M_3 et obtenus par les équations suivantes:
Pour i variant de 1 à 3:

$$M_i = \frac{K}{N} H_1^i + \frac{N-K}{N} H_2^i \quad (1) \text{ par conservation}$$

$$M_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N G(j)^i \quad (2) \text{ par définition}$$

Où $G(i)$ est le niveau de gris du pixel i .

Nous obtenons donc le système suivant de trois équations en imposant l'égalité des moments:

$$\frac{K}{N} H_1 + \frac{N-K}{N} H_2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N G(j)$$

$$\frac{K}{N} H_1^2 + \frac{N-K}{N} H_2^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N G(j)^2$$

$$\frac{K}{N} H_1^3 + \frac{N-K}{N} H_2^3 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N G(j)^3$$

La résolution de ce système donne la valeur de K :

$$K = \frac{N}{2} \left(1 - \frac{C}{\sqrt{4+C^2}} \right) \text{ avec}$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{3}} (3M_1 M_2 - M_3 - 2M_1^3) \text{ et}$$

$$S^2 = M_2 - M_1^2$$

$$X = K + \frac{1}{2} C \text{ c'est la position du front.}$$

L'inconvénient de cette méthode est la nécessité d'avoir des niveaux de gris ayant une croissance ou une décroissance monotone, ce qui est le cas en absence de bruit. Par contre, elle possède l'avantage de donner directement la valeur subpixel de la position du contour contrairement à toutes les autres méthodes qui nécessitent une interpolation.

Exemple: Nous reprendrons l'image ligne définie par les 16 pixels suivants: 4, 4, 4, 4, 4, 8, 20, 40, 70, 100, 120, 128, 132, 132, 132, 132. Les calculs nous donnent:

$$M_1 = 64,625; \quad M_2 = 7345,25; \quad M_3 = 902553,5$$

La position du front calculée est alors $X = 8,90962$, ce qui est relativement proche de la valeur trouvée par la méthode de l'interpolation linéaire.

2.4. La méthode du Laplacien

Il s'agit d'une méthode basée sur la considération de l'image comme la discrétisation d'un signal. Cette méthode classique de segmentation consiste à dériver deux fois l'image et de déterminer la position du contour comme étant le passage par zéro de cette dérivée seconde [HAR 84].

Pour effectuer cette dérivée seconde de l'image on procède par convolution de celle-ci avec un Laplacien. Cette convolution est obtenue par le passage de proche en proche d'un masque Laplacien sur l'image. La construction du masque Laplacien peut s'effectuer grâce à une approximation entre le Laplacien recherché et une courbe du second degré [DER 89].

Posons $L(x)$ le Laplacien recherché, $f(x) = ax^2 + bx + c$ sa courbe d'approximation, $e = \sum (f(x) - L(x))^2$ l'écart pour x appartenant à $[-q, q]$ et $x' = x - k$. Nous obtenons:

$$\begin{aligned} e &= \sum [a(x' + k)^2 + b(x' + k) + c - L(x' + k)]^2 \quad \text{d'où:} \\ e &= \sum [ax^2 + (2ak + b)x + (ak^2 + bk + c) - L(x)]^2 \end{aligned}$$

Posons $f = ak^2 + bk + c$ et $f' = 2ak + b$

L'écart e est minimal quand:

$$\begin{aligned} \frac{de}{da} &= 0 \Rightarrow a \sum x^4 + f \sum x^2 = \sum x^2 L(x + k) \\ \frac{de}{df'} &= 0 \Rightarrow f' \sum x^2 = \sum x L(x + k) \\ \frac{de}{df} &= 0 \Rightarrow a \sum x^2 + (2q + 1)f = \sum L(x + k) \end{aligned}$$

Nous avons donc: $Da = (2q + 1) \sum x^2 L(x + k) - \sum L(x + k) \sum x^2$

et: $D = (2q + 1) \sum x^4 - (\sum x^2)^2 = \text{Constante.}$

or $L(x) = f''(x) = 2a$, $a = Da/D$, donc $L(x) = \alpha Da$

et $\sum x^2 = \frac{q(q+1)(2q+1)}{3}$

Donc $Da = (2q + 1) \{ \sum (x^2 - q(q + 1)/3) L(x + k) \}$

Par conséquent les coefficients d'un masque Laplacien d'ordre q sont du type $c_i = K(2q + 1)(i^2 - (q(q + 1)/3))$ dans $[-q, q]$ et K étant une constante.

Cas particulier: Dans le cas d'un masque d'ordre $q = 1$, les coefficients obtenus sont: $[1, -2, 1]$.

Cette méthode ne suffit pas en soi pour déterminer précisément la position du front, étant donné que nous n'avons que des niveaux de gris pour des nombres entiers de pixels. Il est donc nécessaire de procéder à une interpolation linéaire au niveau de l'annulation et le changement de signe de la dérivée seconde de l'image pour déterminer cette position.

Cette méthode, comme toutes celles évoquées jusque là, est sensible au bruit. On peut limiter cette sensibilité en utilisant un masque de taille supérieure mais ceci déprécie quelque peu la fiabilité de la mesure. Dans notre cas les images sont suffisamment bonnes pour n'utiliser qu'un masque d'ordre $q = 1$. Il est possible de ne convoluer avec le masque qu'une partie de l'image limitée autour de la zone du front. Ceci permet une économie importante du nombre de calculs et l'utilisation du Laplacien s'avérera par la suite la méthode la plus rapide pour déterminer la position des fronts.

Exemple: Considérons l'image de 16 pixels suivante: 4, 4, 4, 4, 4, 8, 20, 40, 80, 110, 120, 128, 132, 132, 132, 132. et le masque suivant: $[1, -2, 1]$

L'image obtenue après passage du masque de convolution est: 0, 0, 0, 0, 4, 8, 8, 20, -10, -20, -2, -4, -4, 0, 0, 0. Ainsi le front se situe entre le 8ième et le 9ième pixel et par interpolation linéaire entre ces deux pixels nous obtenons:

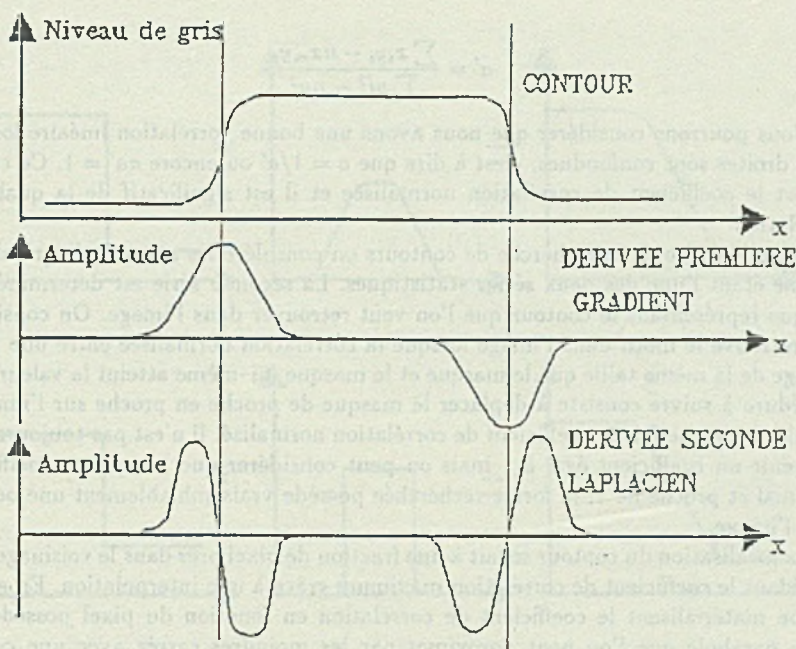


Fig. 6. Dérivation en présence d'un contour
 Fig. 6. Derivative of an image with contour

$$X = 8 + \frac{20}{20 + 10} = 8,6667$$

2.5. Autres méthodes de segmentation subpixel

2.5.1. La corrélation normalisée

La corrélation linéaire consiste à déterminer la similarité qui existe entre deux séries statistiques. La corrélation linéaire permet d'établir la droite caractérisant le mieux une série de points du plan de coordonnées x et y [DER 89]. Cette droite a pour équation $y = ax + b$ avec:

$$a = \frac{\sum x_i y_i - n x_m y_m}{\sum x_i^2 - n x_m^2} \quad \text{et} \quad b = y_m - n x_m$$

où x_m est la moyenne des x_i : $x_m = (\sum x_i)/n$

et y_m est la moyenne des y_i : $y_m = (\sum y_i)/n$

Après avoir effectué la régression de y en x , on peut aussi faire la régression de x en y suivant une droite $x = a'y + b$. De la même façon que précédemment le coefficient directeur de cette droite est:

$$a' = \frac{\sum x_i y_i - n x_m y_m}{\sum y_i^2 - n y_m^2}$$

Nous pourrions considérer que nous avons une bonne corrélation linéaire lorsque ces deux droites sont confondues, c'est à dire que $a = 1/a'$ ou encore $aa' = 1$. Ce coefficient aa' est le coefficient de corrélation normalisée et il est significatif de la qualité de la corrélation.

Dans le cadre de la recherche de contours on considère les niveaux de gris des pixels comme étant l'une des deux séries statistiques. La seconde série est déterminée par un masque représentant le contour que l'on veut retrouver dans l'image. On considère que l'on retrouve le motif dans l'image lorsque la corrélation normalisée entre une partie de l'image de la même taille que le masque et le masque lui-même atteint la valeur de 1. La procédure à suivre consiste à déplacer le masque de proche en proche sur l'image et de calculer à chaque fois le coefficient de corrélation normalisé. Il n'est pas toujours possible d'obtenir un coefficient égal à 1 mais on peut considérer que lorsque ce coefficient est maximal et proche de 1, la forme recherchée possède vraisemblablement une occurrence dans l'image.

La localisation du contour se fait à une fraction de pixel près dans le voisinage du pixel possédant le coefficient de corrélation maximum grâce à une interpolation. En général la courbe matérialisant le coefficient de corrélation en fonction du pixel possède l'allure d'une parabole que l'on peut approximer par les moindres carrés avec une courbe du second degré. L'interpolation consiste alors à déterminer le maximum de cette courbe qui coïncide avec la position du front.

Il est à noter que la symétrie du masque entraîne une symétrie de la courbe de corrélation et que la position du pixel est d'autant plus juste que le masque possède une taille importante.

Toute la difficulté de cette méthode consiste à déterminer le masque qui va servir à la reconnaissance du contour. Cette détermination est d'autant plus difficile que la forme recherchée est variée en fonction du temps car il faut utiliser un masque type et le faire coller au mieux au motif recherché.

Il existe de nombreuses techniques de construction du masque. On peut utiliser un masque rectangulaire de contour théorique, mais il est évident qu'il ne donnera pas de bons résultats puisqu'il reflète assez mal la réalité. Une solution consiste à adoucir ce masque en le convoluant avec un contour rectangulaire ou une fonction gaussienne.

Une autre solution consiste à utiliser un masque dont les valeurs suivent une courbe de Butterworth dont l'équation est:

$$G(v) = \frac{1}{(1 + \sum^2 (v/v_c)^{2n})} \quad \text{où } n \text{ est l'ordre du filtre,}$$

\sum et v_c deux paramètres.

On peut simplifier ce filtre en prenant par construction $\sum = 1$ et $v_c = 1$. On appelle ce masque un "demi-Butterworth en miroir".

On peut imaginer de nombreuses autres méthodes de construction de masques par modélisation du contour en courbe du type exponentielle ou arctangente [CAS 89].

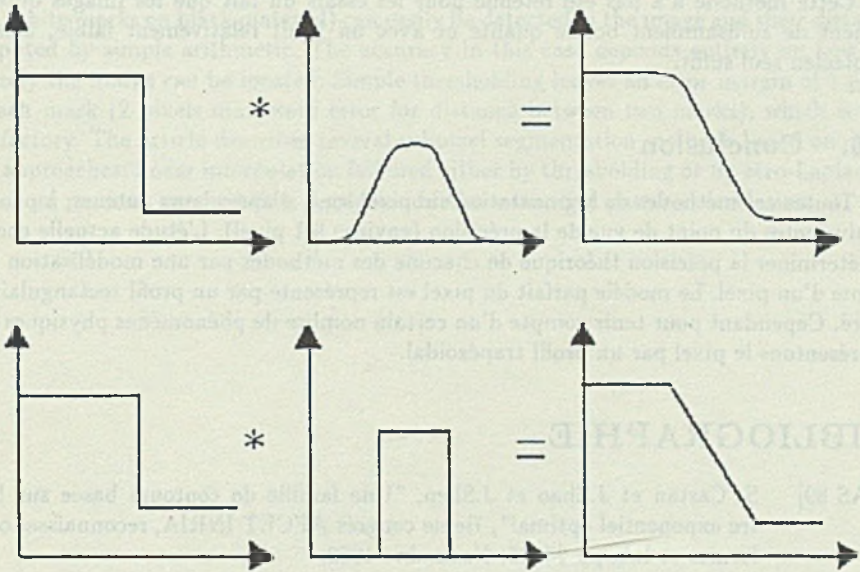


Fig. 7. Construction d'un masque à l'aide d'un produit de convolution
 Fig. 7. The use of a convolution product to construct a mask

Toutes ces méthodes basées sur la reconnaissance de contours "Pattern matching" sont relativement efficaces mais très difficilement utilisables dans notre cas. En effet, nous ne pouvons pas préjuger à priori de l'allure du contour et il faut donc effectuer un certain nombre de prises de vue afin de déterminer le masque du mieux possible. Ceci ne va pas dans le sens d'une procédure d'étalonnage simple, d'autant plus qu'entre chaque essai il faut recalculer ce masque. De plus les temps de calculs sont relativement longs étant donné l'importance de ceux-ci.

2.5.2. Le Laplacien de Gaussien

Nous avons vu précédemment que la méthode du Laplacien est très sensible au bruit que l'on peut rencontrer dans une image. Il est possible d'atténuer cette sensibilité en convoluant l'image avec le Laplacien d'un Gaussien ce qui a pour effet d'adoucir l'image au moment de l'extraction du Laplacien. Ainsi l'image $I(x, y)$ est convoluée avec ce Laplacien de Gaussien suivant:

$$V^2G(x, y) = \frac{1}{\pi\sigma^4} \left(1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right) \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

Ceci nous donne:

$$S(x, y) = \sum_{t, u} V^2G(t, u) I(x - t, y - u)$$

Cette méthode n'a pas été retenue pour les essais du fait que les images obtenues étaient de suffisamment bonne qualité et avec un bruit relativement faible, ainsi un Laplacien seul suffit.

2.6. Conclusion

Toutes ces méthodes de segmentation subpixel sont, d'après leurs auteurs, à peu près équivalentes du point de vue de la précision (environ 0,1 pixel). L'étude actuelle consiste à déterminer la précision théorique de chacune des méthodes par une modélisation de la forme d'un pixel. Le modèle parfait du pixel est représenté par un profil rectangulaire ou carré. Cependant pour tenir compte d'un certain nombre de phénomènes physiques nous représentons le pixel par un profil trapézoïdal.

BIBLIOGRAPHIE

- [CAS 89] S. Castan et J.Zhao et J.Shen, "Une famille de contours basée sur le filtre exponentiel optimal", 7ième congrès AFCET INRIA, reconnaissance des formes et I.A, pp 23-36, Novembre 1989.
- [DAV 75] L.S.Davis, "A survey of edge detection techniques", CGIP, Vol 4, pp 248-270, 1975.
- [DER 89] P.Derouard, "Etude des méthodes de contrôle dimensionnel par vision", Rapport de DEA, U.T. Compiègne, 1989.
- [HAR 84] R.M.Haralick, "Digital step edges from zero crossing of second directional derivatives", PAMI, Vol 6, pp 58-69, January 1984.
- [TAB 84] A.J.Tabatai and O.R.Mitchell, "Edge location to subpixel values in digital imagery", PAMI, Vol 6 N°2, pp 188-201, March 1984.
- [TIA 86] Q.Tian and M.N.Huns, "Algorithms for subpixel registration", CVGIP, Vol 35, pp 220-233, 1986.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Czachórski

Wpłynęło do Redakcji dnia 31.08.92

Abstract

The most widespread way to measure the change of dimensions of materials under strain is to attach extensometers to samples of the material being tested. However, if the material in question is highly elastic (like rubber), non-contact ways of measuring are more appropriate. For one-dimensional measurements (tensile stress only), a linear

camera is a reasonable solution. Two clearly visible marks painted on the sample (in our case, white marks on black material) can easily be detected in the image and their distance computed by simple arithmetic. The accuracy in this case depends entirely on how accurately the marks can be located. Simple thresholding leaves an error margin of 1 pixel at each mark (2 pixels maximum error for distance between two marks), which is not satisfactory. The article describes several subpixel segmentation methods based on different approaches: linear interpolation followed either by thresholding or by zero-Laplacian detection, moment preservation, Laplacian of Gaussian, and pattern correlation.

Un système d'inspection visuelle multi-poste de tôle galvanisée et peinte

Résumé. Nous proposons dans cet article une autre approche pour l'inspection automatique de la production de tôle galvanisée peinte. Un système est conçu à la recherche de la réalisation des défauts en temps réel. Le traitement des images est réalisé par le moyen de deux systèmes d'inspection. Le premier détecte les défauts spécifiques à l'état de surface de la tôle galvanisée et le second de l'inspection visuelle permet à l'opérateur de sélectionner les défauts dans une fenêtre et d'afficher les images logiques de deux systèmes d'inspection.

WIELOSTANOWISKOWY SYSTEM WIZYJNEJ INSPEKCJI BRZOSHY GALWANIZOWANEJ I MALOWANEJ

Streszczenie. Artykuł przedstawia nową koncepcję do automatycznej inspekcji brzozy galvanizowanej i malowanej. Systemy wizyjnej inspekcji, które pracują niezależnie, wykrywają w czasie rzeczywistym, poprzez wykrywanie i pomiarowy pomiar, błąd w produkcji brzozy i malowania. Pierwszy system wizyjny wykrywa błąd w brzozy, a drugi system wizyjny umożliwia operatorowi wybór i wyświetlenie obrazów logicznych z dwóch systemów inspekcji.

A MULTI-STAND VISUAL INSPECTION SYSTEM FOR GALVANIZED AND PAINTED SHEET METAL.

Summary. The article proposes a different approach to a formerly existing of galvanizing and painted sheet metal. The purpose of the process is to detect and classify faults in real time. The inspection is done by two systems placed at each stand of the technological process. Each workstation detects faults through work of the first program as the production line. The second workstation is for inspection and to display a standard software architecture to support the vision processing tasks of the workstation.