



DETECTION ET DIMENSIONNEMENT DE
DEFAUTS EN IMAGERIE ULTRASONORE

J.MOYSAN¹, G.CORNELOUP², I.MAGNIN³, P.BENOIST¹, N.CHAPUIS¹

1. Laboratoire de Contrôle par UltraSons, C.E.N. Saclay, 91191 Gif sur Yvette, France
2. Laboratoire de Contrôle Non Destructif, G.M.P., I.U.T. Aix, 13625 Aix en Provence, France
3. Laboratoire de Traitement du Signal et Ultrasons, INSA LYON, 69621 Villeurbanne, France

RÉSUMÉ

Cet article présente des traitements d'images, obtenus en contrôle non destructif par ultrasons, par l'intermédiaire du logiciel SPARTACUS. Ces traitements sont développés pour détecter et séparer du bruit les échos de défauts. Les méthodes employées se basent sur la segmentation d'image et sur les particularités des images ultrasonores.

1. INTRODUCTION

Les développements actuels dans le domaine du contrôle non destructif appliqué à l'industrie nucléaire ont permis d'obtenir des systèmes d'acquisition et de traitement entièrement numériques. Le système d'acquisition et de traitement des données SPARTACUS [1] développé par le Laboratoire de Contrôle par Ultrasons du Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay en est l'illustration. Les signaux ultrasonores sont entièrement stockés sous forme numérique pour la visualisation et les traitements. Deux possibilités de traitement d'image sont implantées sur la version de développement de ce logiciel. Ces traitements sont destinés à détecter des défauts en vue de leur dimensionnement. L'étude porte principalement sur des défauts de type fissure dans des aciers austénitiques qui se caractérisent par un bruit de grain très important. Le deuxième paragraphe introduit les notions de contrôle par ultrasons indispensables à la compréhension des traitements d'image présentés. Le premier traitement d'image issu des caractéristiques spécifiques au contrôle par ultrasons focalisés fait l'objet du paragraphe 3. Ce traitement retient des couples temps-amplitude pour chaque signal. Un regroupement spatial et temporel de ces couples permet de segmenter l'image dans l'espace balayage et temps de vol en fonction des caractéristiques du transducteur. Le quatrième paragraphe introduit le traitement d'image concernant l'utilisation d'un outil d'analyse de texture: la matrice de co-occurrence [2]. L'image est segmentée par seuillage automatique, le seuil est défini par l'étude de la répartition des coefficients de la matrice de co-occurrence. L'exploitation de ces traitements est définie en cinquième partie.

ABSTRACT

This paper introduces imaging processing developed with the SPARTACUS system in the field of ultrasonic testing. The aim of the imaging processing is to detect and to separate defects echoes from background noise. Image segmentation and particularities of ultrasonic images are the base of studied methods.

2. GESTION DES DONNEES NUMERIQUES
ULTRASONORES

2.1. Ultrasons focalisés

La technique des ultrasons focalisés est principalement utilisée dans le domaine nucléaire pour sa capacité de contrôle de pièces en aciers de fortes épaisseurs et la facilité de choix de l'angle de réfraction α dans la pièce à contrôler. La figure 1 représente deux positions de transducteurs séparés par un pas de balayage px . Dans la zone focale, pour des métaux isotropes et homogènes, les surfaces équiphases sont planes, parallèles entre elles et perpendiculaires à l'axe de propagation [3].

2.2 Numérisation

Le système d'acquisition SPARTACUS offre de nombreuses possibilités de numérisation tant en nombre de points d'échantillonnage, qu'en dynamique (8 ou 10 bits) et en mode d'enregistrement: signaux bruts issus du capteur (appelés hautes fréquences) et signaux redressés (appelés vidéo). On notera f_e la fréquence d'échantillonnage et f_c la fréquence centrale du transducteur, T_e et T_c seront les périodes respectives.

3. REGROUPEMENT SPATIAL ET TEMPOREL

Le premier traitement d'image implanté sur SPARTACUS est l'application directe de la propriété des plans équiphases dans la zone focale: entre deux signaux successifs décalés d'un pas d'échantillonnage px , l'information ultrasonore en phase dépend de l'angle de réfraction α et de ce même pas px . Les points A et B de la figure 1 sont en phase, ils sont dits corrélés spatialement et temporellement. L'image ultrasonore obtenue possède donc une pente



préférentielle d'angle β fonction de α , de T_e et de C_{us} , la célérité des ondes ultrasonores. Dans l'espace des pixels la tangente de l'angle β s'exprime par :

$$\tan\beta = \frac{2 * \sin\alpha * px}{T_e * C_{us}} \quad (1)$$

Le traitement regroupe suivant cette orientation préférentielle les maxima supérieurs à un seuil paramétrable. Les maxima appartiennent à la même série d'échos s'ils vérifient à plus ou moins un intervalle de temps la position temporelle théorique. Le résultat du traitement conduit à une image segmentée constituée des traces des maxima.

4. MATRICES DE CO-OCCURRENCE

4.1 Présentation des matrices

Une image BSCAN est considérée comme une fonction à deux variables sur un domaine fini et discret noté D . D est le produit cartésien $X \times Y$ de $X = \{0, 1, \dots, M-1\}$, l'ensemble des coordonnées sur l'axe x et de $Y = \{0, 1, \dots, N-1\}$, l'ensemble des coordonnées sur l'axe y . La fonction f prend ses valeurs dans l'ensemble fini et discret E de L éléments et s'écrit :

$$f: D \rightarrow f(x, y) \in E \quad (2)$$

Les valeurs $f(x, y)$ sont les intensités des pixels de l'image. La matrice de co-occurrence est une fonction paramétrée de $E \times E$ dans N . On note i et j les deux variables de la matrice de co-occurrence. Les paramètres de la matrice sont l'image f et le vecteur de déplacement d exprimé par $[dx, dy]$ en coordonnées cartésiennes ou par $[r, \theta]$ en coordonnées polaires selon la facilité d'utilisation. La matrice de co-occurrence est ainsi définie par :

$$c: E \times E \rightarrow N \\ (i, j) \rightarrow c(i, j, f, d) = |A_{ij}| \quad (3)$$

$|A_{ij}|$ est le cardinal de l'ensemble A_{ij} qui est défini en (4) :

$$A_{ij} = \{((x, y), (x', y')) \mid (x, y) \in D, (x', y') \in D \text{ et } (x', y') = t_d(x, y) \text{ et } f(x, y) = i \text{ et } f(x', y') = j\} \quad (4)$$

Dans cette expression (4) t_d est la translation de vecteur d . L'expression (4) indique que le cardinal $|A_{ij}|$ donne le nombre de paires de pixels séparés par le déplacement d et telles que les intensités de pixels soient i pour le premier pixel et j pour le second. Une matrice de co-occurrence symétrique est obtenue en considérant le coefficient C_{ij} tel que :

$$C_{ij} = c(i, j, f, d) + c(i, j, f, -d) \quad (5)$$

Pour permettre les analyses entre différentes images, les coefficients C_{ij} sont normalisés en divisant chaque coefficient par la somme totale des

coefficients. La matrice de co-occurrence est un descripteur de la répartition des intensités des pixels dans l'image.

4.2 Sélection du vecteur d

Le choix du vecteur d est prépondérant pour l'exploitation des matrices de co-occurrence. Pour chaque image f de nombreuses matrices peuvent être calculées. Il est impératif de pouvoir restreindre l'analyse aux matrices les plus significatives. Dans notre cas où une opération de segmentation est recherchée le vecteur d devra être calculé de sorte que la matrice sépare le bruit des défauts. Nous cherchons à mettre ici en valeur les transitions aux frontières, c'est à dire les couples (i, j) de pixels tels que i soit une intensité liée au bruit et j une intensité liée à un défaut. Les particularités de l'image ultrasonore décrites dans le paragraphe 2 permettent de retenir deux angles particuliers dont les valeurs sont β et $\beta - \pi/2$. L'orientation la plus adaptée, pour mettre en évidence les frontières est $\beta - \pi/2$, et impose la relation entre dy et dx par :

$$dy = dx * \tan(\beta - \pi/2) \quad (6)$$

La figure 2 illustre un choix de dy optimal pour séparer au mieux bruit et frontière dans la matrice de co-occurrence dans le cas de signaux bruts. Les coefficients C_{ij} associés au bruit seront sur la diagonale de la matrice ce qui les séparera des coefficients associés aux transitions entre bruit et défaut qui par définition sont des éléments hors diagonale. Ces valeurs dy sont calculées par :

$$dy = dx * \tan\beta + k * \frac{T_c}{T_e} \quad (7)$$

La première partie de l'expression correspond à la correction du paragraphe 2 pour chercher les informations en phase entre deux signaux distants de $dx * px$. La deuxième partie est la conversion en nombre de points de la fréquence centrale du traducteur. Ce sont les segments 1 et 2 de la figure 2. La périodicité introduit donc a priori plusieurs solutions suivant les valeurs de $k \in N$. Par contre si l'orientation est fixée à $\beta - \pi/2$ les solutions se réduisent aux solutions communes de (6) et (7).

Cependant les techniques de segmentation s'appliquent difficilement aux images non redressées car l'objet recherché, le défaut, est constitué de pixels d'intensités opposées dont la moyenne est équivalente à celle du bruit. Aussi un pré-traitement par le calcul de l'enveloppe du signal analytique [4] est appliqué. Le défaut devient alors séparable du bruit par un seul seuil. Le seuillage donnera de plus des objets continus. L'angle adapté $\beta - \pi/2$ reste inchangé, par contre le dy optimal est modifié puisque l'aspect périodique des signaux est perdu. Une valeur de référence, calculée sur l'enveloppe d'un écho de défaut artificiel connu, peut être obtenue. Elle dépend du rapport signal sur

bruit et n'est donc théoriquement adaptée que pour des échos de défauts similaires. Des techniques permettent, par le calcul de plusieurs matrices de co-occurrence, d'obtenir une valeur minimisant les couples liés au bruit. Ce point n'est pas détaillé ici.

La figure 3 représente plusieurs matrices calculées sur la même image pré-traitée. La première matrice (a) est calculée avec une orientation égale à β . La majorité des couples $((x,y),(x',y'))$ de pixels ont des intensités i et j voisines, de ce fait la matrice est pratiquement diagonale et se rapproche de l'histogramme de l'image. La deuxième matrice (b) est calculée avec l'orientation $\beta+\pi/2$ et un dy de référence. Les éléments hors diagonale ressortent nettement par rapport à une matrice (c) calculée avec cette orientation mais avec une valeur de dy non optimisée.

4.3 Sélection automatique du seuil

Le seuil qui sépare les défauts du bruit est noté t_0 . Un seuil quelconque t divise la matrice de co-occurrence en quatre blocs dont la taille dépend de cette valeur t (cf figure 3.a). Dans le premier bloc $B1[t]$ les coefficients C_{ij} sont ceux calculés pour des couples de pixels dont les intensités sont inférieures à t . Dans le cas où t est égal à t_0 ces couples sont ceux associés au bruit. Le bloc $B4[t]$ est une représentation des couples de pixels appartenant aux défauts. Pour les blocs $B2[t]$ et $B3[t]$, symétriques par définition, les couples de pixels correspondants ont un élément dont l'intensité est inférieure au seuil et un élément dont l'intensité est supérieure au seuil. Ces couples constituent les frontières fond/objet ou bruit/défaut. Le bloc $B3[t_0]$ se caractérise par des éléments hors diagonale. Le calcul de fonctions caractérisant la répartition des C_{ij} dans la matrice conduit à une sélection automatique du seuil [5]. La fonction, appelée mesure de la variation des niveaux de gris (Average Graylevel Variance Measure ou AVGM) [6], donne une valeur de seuil t_0 par la position de son maximum. Elle recherche une variation maximale de la position des éléments C_{ij} dans le bloc $B3$, variation caractéristique des coefficients associés à la frontière. Avec l'introduction de la fonction Busyness [5], cette fonction s'exprime par :

$$\text{Busy}[t] = \sum_{i=t}^{L-1} \sum_{j=0}^t C_{ij} \quad (8)$$

$$\text{AGVM}[t] = \frac{\sum_{i=t}^{L-1} \sum_{j=0}^t \frac{(i-\mu_i)^2 * (j-\mu_j)^2 * C_{ij}}{\text{Busy}[t]}}{\text{Busy}[t]} \quad (9)$$

5. EXPLOITATION DES TRAITEMENTS

La figure 4 présente deux BSCAN traités par les méthodes introduites ci-dessus. Celui de gauche (4.a) correspond au regroupement (lignes blanches) des maxima par corrélation 2D, la méthode utilisée permet de différencier les familles d'échos. La courbe échodynamique complète (sous le BSCAN dans la

figure 4.a) caractérisant les échos peut être ainsi extraite. Les données sont ensuite exploitables pour une visualisation 3D. Le BSCAN de droite représente l'image pré-traitée et segmentée, la courbe de détermination du seuil est positionnée sous le BSCAN. Les échos conservés sont une première étape pour un traitement de reconnaissance d'échos et de dimensionnement. L'inconvénient majeur de cette segmentation est qu'une valeur unique de t_0 peut masquer de petits échos. La mesure AGVM permet de séparer les défauts du bruit dans le cas de défauts de même type. Si plusieurs défauts différents, particulièrement ceux obtenus par effet de coin et par diffraction qui ont des dynamiques très différentes, sont présents, alors le maximum de variance de la position des C_{ij} dans les blocs $B3[t]$ peut être obtenu pour une valeur de seuil proche du bruit mais supérieure à la diffraction. Ceci se produit à cause de l'interaction dans la même matrice de défauts de dynamique très supérieure.

6. CONCLUSION

Comme l'illustre la figure 5, de bons résultats de segmentation sont obtenus sur des images de soudures austénitiques au rapport signal sur bruit important. Cependant chaque traitement a actuellement des limites de séparation défaut/bruit. Le premier traitement doit faire intervenir l'opérateur et intègre donc une part d'expérience. Le deuxième permet une procédure automatique, plus complexe, qui devra être adaptée dans le cas de plusieurs échos. Le développement se poursuit donc pour intégrer des images comportant plusieurs échos, dont certains sont dus à la géométrie des pièces, les traitements futurs se feront par régions ou par analyse multi-plans.

Références

- [1] P.BENOIST, F.CARTIER, G.PINCEMAILLE, J.CLICQUES, "Système pour l'acquisition, la recherche, le traitement et l'analyse des ultrasons (Spartacus)", Proc.1st Congress Cofrend on Nondestructive Testing, Nice 1990, pp365-369.
- [2] R.M.HARALICK, K.SHANMUGAN, I.DEINSTEIN, "textural features for image classification", IEEE Transaction on Sys.,Man, and Cyb., vol SMC-3 n°6, Nov.1973, pp610-621.
- [3] C.GONDARD, "Modélisation de l'interaction défaut/faisceau par échantillonnage du faisceau ultrasonore", Proc.1st Congress Cofrend on Nondestructive Testing, Nice 1990, pp365-369.
- [4] P.M.GAMMEL, "Improved ultrasonic detection using the analytic signal", Ultrasonics, Mar.1981, pp73-76.
- [5] B.CHANDRA, D.D.MAJUMBER, "A note on the use of the graylevel co-occurrence matrix in threshold selection", Signal Processing, n°15, 1988, pp149-167.
- [6] J.MOYSAN, G.CORNELOUP, I.MAGNIN, P.BENOIST, O.BASSET, "Cracklike defects sizing from co-occurrence matrix", Proc. of the 1990 IEEE Ultrasonics Symposium.

