

CND PAR RADIOGRAPHIE ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION

B. LAVAYSSIÈRE, E. FLEUET, M. LEFÈVRE

Électricité de France, Direction des Études et Recherches
Département Surveillance, Diagnostic, Maintenance
6 quai Watier, B.P. 49, 78401 Chatou.

RÉSUMÉ

Électricité de France (EDF), entreprise chargée de la production et de la distribution d'électricité en France, possède environ 50 réacteurs nucléaires, ce qui correspond à 75% de sa production. Le contrôle non destructif joue un rôle primordial dans la surveillance et la maintenance des centrales nucléaires. Les techniques les plus modernes de traitement du signal et des images peuvent être utilisées pour extraire des informations et accroître la performance des inspections réalisées. Cet article présente quelques exemples de l'expérience d'EDF dans le domaine de la radiographie.

ABSTRACT

Électricité de France (EDF) is the french national company in charge of production and distribution of electricity in France. With around fifty nuclear reactors, its production is mainly nuclear (75%). The maintenance program of EDF includes non destructive testing and monitoring of the main components of the plants.

The most sophisticated techniques in signal and image processing can be used to extract information and to increase the performance of the inspections. Some examples coming from the EDF's experience are briefly presented.

INTRODUCTION

La sûreté des installations nucléaires rend indispensable le contrôle non destructif (CND) de ses composants, afin d'assurer l'aptitude au fonctionnement d'un matériel, via la vérification de l'intégrité des matériaux. Pour détecter, localiser et caractériser d'éventuels défauts dans la matière, le CND utilise des techniques physiques diverses, dont la radiographie X ou γ . Le CND donne lieu, très souvent, à des problèmes complexes de traitement de l'information, soit pour débarrasser le contrôleur des tâches fastidieuses et sujettes à erreur, soit pour aider l'expert à analyser des cas difficiles. Cet article présente la démarche retenue à la Direction des Études et Recherches d'EDF pour améliorer la chaîne de traitement des données en radiographie industrielle.

AIDE À L'INTERPRÉTATION DE RADIOGRAPHIES INDUSTRIELLES

Électricité de France utilise le Contrôle Non Destructif par radiographie X ou gamma pour l'inspection régulière des tubulures dans les centrales nucléaires. Les zones contrôlées de type soudures ou pièces moulées, soumises à des contraintes physiques importantes, peuvent présenter divers défauts, répertoriés par des normes officielles. Les clichés sont examinés par des experts radiographes dont le rôle est de détecter, reconnaître et quantifier des défauts éventuels. Pour

interpréter les films, le contrôleur reste de longues heures devant un projecteur puissant, radiographies en main. Il est à l'affût de toute anomalie, d'une tache plus ou moins discernable, signe d'un défaut volumique ou non volumique, réel ou fantôme. Mais la qualité médiocre des radiogrammes et les faibles dimensions des défauts recherchés rendent son travail difficile. La quantification des défauts dans de telles conditions est sujette à une certaine subjectivité qui risque de biaiser le suivi d'évolution.

Après numérisation du film radiographique étant l'image projetée d'une pièce à contrôler, il est possible de modifier son contenu par traitement d'images, afin d'aider le contrôleur dans les cas de diagnostic délicat et de répondre aux questions qu'il se pose :

- comment mieux extraire l'information utile de l'image radiographique ?
- comment interpréter les informations recueillies ?
- comment accéder à la position et à la dimension des défauts détectés ?

C'est l'objectif du système ENTRAIGUES¹ [1], qui a été développé pour des utilisateurs ne connaissant pas les techniques de traitement d'images et qui comprend d'un point

¹ENTRAIGUES, Ensemble Numérique pour le TRaitement et l'Aide à l'Interprétation d'images Générées par les contrôles radiographiqUES



de vue matériel, un micro-ordinateur de type compatible PC, un prototype de numérisation réalisé d'après un cahier des charges EDF et un processeur standard de traitement d'images (Série 151 d'Imaging Technology). La partie logicielle comprend des utilitaires (lecture/écriture de fichiers, ...), des outils spécialisés en traitement d'images (visualisation, aide à l'interprétation, mesures sur image, opérations géométriques) et des procédures spécifiques pour l'interprétation des radiographies industrielles :

- traitement de fissures ou de retassures,
- visualisation en mode double film par recalage sur amers,
- mode de comparaison avec des radiogrammes de référence, eux-mêmes numérisés.

Les principaux problèmes posés par ces images sont leur faible contraste, leur fort niveau de bruit et la taille variable, mais en général faible, des défauts recherchés. La majorité des techniques classiques de traitement d'images s'adaptant mal à ce type d'images, il a été nécessaire de définir de nouvelles méthodes de détection de défauts de taille faible dans un environnement fortement bruité et peu contrasté ([2], [3]). Le premier type de traitements consiste à améliorer la qualité visuelle des radiogrammes numérisés et donc la perception visuelle d'éventuels défauts, à l'aide de fonctions de :

- correction des distorsions induites par la chaîne d'acquisition et de numérisation,
- normalisation des données permettant ainsi les comparaisons entre images, comme le suivi de l'évolution de défauts,
- mise à plat des images afin de supprimer le dégradé de fond d'image relatif à la pièce radiographiée,
- réduction du bruit par lissage.



Image initiale

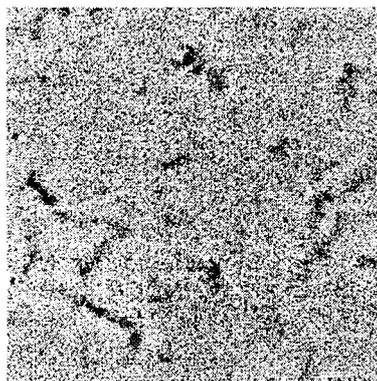


Image après mise à plat

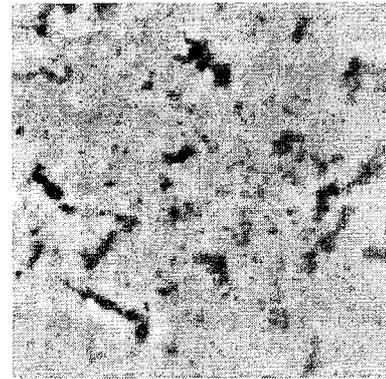


Image après lissage

Le second type de traitements a pour objectif la segmentation et la reconnaissance des défauts.

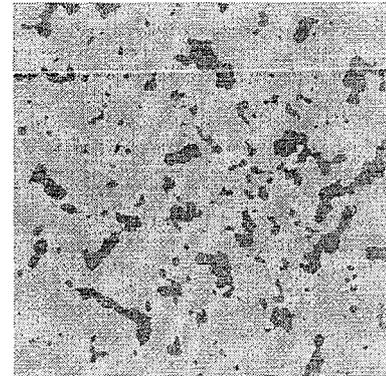


Image segmentée



Image des défauts après classification

RECONSTRUCTION 3D

Le système ENTRAIGUES a permis de franchir une première étape : fournir un outil ergonomiquement acceptable pour l'aide à l'expertise et à l'interprétation des images radiographiques. Mais il ne délivre qu'une information approximative concernant le contenu des matériaux. En effet, en chacun de ses points, une radiographie ne contient qu'une indication moyenne de ce que le rayonnement a rencontré dans le matériau depuis la source. Les contrôleurs restent donc confrontés au délicat problème du positionnement exact des défauts dans l'épaisseur de la pièce contrôlée. L'atout supplémentaire des techniques numériques est de pouvoir calculer la troisième dimension, à partir de l'information contenue dans les films radiographiques ([4], [5], [6]). Reconstruire en 3D se ramène en général à résoudre une équation intégrale de première espèce, ce qui en présence de bruit de mesure, s'appelle mathématiquement, un problème mal posé.

Une première solution peut être trouvée en introduisant une information a priori sur la solution recherchée par le biais d'une méthode régularisante comme l'ART (Algebraic Reconstruction Technique). Cette approche déterministe calcule, de manière itérative, la fonction inconnue.

Une seconde approche consiste à n'estimer que la localisation et la forme du défaut dans le matériau. L'information obtenue sera une information géométrique seule, sans estimation des densités de l'objet étudié. La méthode retenue consiste à utiliser des modèles de contours déformables qui donnent une estimée du squelette de l'objet 3D à partir de la connaissance des défauts segmentés dans les projections. De très bons résultats sont obtenus, mais leur précision dépend de la qualité de la procédure expérimentale d'acquisition des projections.

Issues des mathématiques appliquées, les méthodes de résolution de problèmes inverses ont prouvé, par la qualité des résultats obtenus, leur intérêt dans le domaine du CND et plus particulièrement en radiographie industrielle. Utilisant des modèles physiques plus ou moins fins du processus de formation de l'image radiographique, elles permettent de bien représenter les indications de défaut survenant au sein des matériaux et par le biais d'outils mathématiques puissants, d'en déduire un diagnostic plus précis du matériau.

FUSION

À l'heure actuelle, en CND, étant donné un objet à inspecter, une première méthode de contrôle est mise en œuvre, les données résultantes étant analysées et traitées par un algorithme spécifique. Si, pour des raisons de mise en doute du diagnostic ou d'insuffisance de ce contrôle, une deuxième modalité est appliquée sur ce même objet, les données résultantes sont elles-mêmes analysées et traitées de façon disjointe. Le diagnostic final est établi par comparaison de ces deux résultats. L'avenir dans ce domaine consiste à mettre en œuvre une méthode d'analyse utilisant de manière conjointe, les résultats des deux contrôles, qui ne se contente pas de réaliser une amélioration pour visualiser des données, mais qui recalcule chaque volume élémentaire de la pièce inspectée et établit un diagnostic.

La fusion n'est ni une nouvelle théorie mathématique, ni une nouvelle discipline du traitement de l'information : simplement une nouvelle orientation de toutes ces disciplines "classiques", qui leur ajoute une composante multi-méthodes. Son objectif consiste à fusionner des informations d'origines diverses, provenant de capteurs possédant des propriétés physiques différentes et des degrés de fiabilité différents, afin d'obtenir une performance globale du système résultant, supérieure à celles qui auraient été obtenues en traitant chaque information de manière isolée dans un système séparé.

Fusionner des informations hétérogènes implique en premier lieu, de définir un référentiel commun, dans lequel ces données pourront être mises en correspondance ou "recalées" en terme de traitement d'images. Une fois le référentiel défini, l'étape suivante consiste à faire un ou des choix parmi des méthodes, qui sont elles bien connues. Cela revient à élaborer une stratégie de fusion. En terme d'architecture, plusieurs options sont envisageables : de la version centralisée à une version totalement décentralisée du problème. Le "niveau" où l'on décide d'implanter l'opération de fusion (restauration, reconstruction, interprétation, ...) est en soi une partie de l'étude. Cette approche nécessite :

- une bonne connaissance des propriétés physiques de chaque modalité de contrôle, envisageable dès à présent étant donné les nombreuses modélisations des divers phénomènes mis en jeu en propagation ultrasonore ou en radiographie par exemple,
- l'application d'un algorithme de fusion de données tenant compte des propriétés et complémentarités de chaque modalité et pour lequel plusieurs voies de recherche sont actuellement explorées (estimation bayésienne, logique floue, intelligence artificielle, combinatoire).

Une première méthode de fusion, dite fusion simple, consiste à utiliser les méthodes existantes en imagerie X et ultrasonore pour compenser les "zones d'ombre" de chaque capteur et tirer profit des "résolutions" différentes. En fait, elle ne met en jeu que des combinaisons de méthodes existantes de reconstruction, qui, prises de manière isolée, ne s'appliquent qu'à un seul type de données. Pour la méthode mise en œuvre pour les données de type 1, les données de nature physique différente, de type 2, ne seront utilisées que sous forme d'informations a priori (par exemple de type "contrainte de support" en reconstruction 3D). Celles-ci seront estimées à partir d'une autre méthode de reconstruction calculée de manière indépendante. La difficulté de cette approche ne réside que dans la mise en forme des informations a priori et dans le choix d'une combinaison astucieuse d'outils connus depuis longtemps.

Une deuxième démarche possible consiste à fusionner des informations de natures différentes préalablement traitées. Cette approche peut donner de bons résultats, mais ceux-ci dépendront de la robustesse des traitements initiaux appliqués aux données et de la robustesse des outils de fusion. La fusion de haut niveau qui correspond à une architecture de fusion décentralisée, consiste à effectuer une prise de décision globale à partir d'un ensemble de décisions locales, qui résultent



chacune de différents traitements adaptés à la nature physique des données considérées. Ces décisions élémentaires, qui peuvent être des variables aléatoires binaires, dans le cas, par exemple, d'une décision bayésienne décentralisée, doivent être alors associées entre elles, afin de permettre une prise de décision finale.

Dans un cadre bayésien, la structure décentralisée optimale fusionne toutes les décisions locales par l'intermédiaire d'un rapport de vraisemblance. Lorsque les probabilités de détection et de fausse alarme sont identiques d'un capteur à l'autre et en supposant les décisions locales statistiquement indépendantes, le critère de fusion se ramène, dans ce cas particulier, à une moyenne pondérée. D'un point de vue probabiliste, ce traitement est optimal, mais requiert des connaissances précises sur les performances théoriques relatives à chaque organe de décision local.

D'autres critères de fusion peuvent être alors utilisés par l'intermédiaire de concepts non-probabilistes. En particulier, les théories des ensembles flous, des possibilités et de l'évidence offrent un formalisme peu rigide, qui, grâce à de nombreux opérateurs de combinaison d'informations, permet d'envisager d'autres techniques de fusion de données. En outre, certaines de ces approches permettent de modéliser des notions comme l'imprécision, le doute ou l'ignorance que la théorie des probabilités n'est pas en mesure de formaliser.

Les premiers essais effectués confirment l'intérêt d'une telle démarche. Toutefois il serait encore plus intéressant d'améliorer ce résultat en envisageant une méthode de fusion de bas niveau qui combinerait des données de natures physiques différentes peu ou pas traitées. Cette dernière approche reste la plus prometteuse car aucune information n'est perdue lors d'une phase de traitement préalable, mais certainement la plus complexe vis-à-vis de la méthode de combinaison à mettre en œuvre.

Faire de la fusion de données en CND est sans doute en partie un effet de mode, mais ce n'en est pas pour autant une approche, qui se résoudrait à l'aide de solutions naïves ou simplistes. C'est un domaine de recherche nouveau, très innovant dans de nombreux domaines industriels. En effet, en CND, la demande d'une amélioration du diagnostic par la fusion est bien réelle. L'objectif visé est de montrer que les opérations courantes, que réalisent manuellement les experts par superposition des images, pour laquelle l'œil et le cerveau de l'opérateur réalisent les opérations de fusion, peuvent être facilitées par une approche méthodologique de la fusion. Seuls quelques contrôles particuliers et d'enjeu très important, seront concernés par une telle approche, car le procédé restera très coûteux.

CONCLUSION

Pendant de nombreuses années, le contrôle non destructif a été une affaire de métallurgistes, de spécialistes en capteurs et en instrumentation, de physiciens. Aujourd'hui, le CND fournit des problèmes de traitement difficiles, qui exigent une bonne connaissance des données elles-mêmes, mais aussi de la physique et de l'objectif visé.

RÉFÉRENCES

- [1] E.Fleuet, B.Lavayssière
"ENTRAIGUES, un système d'aide à l'interprétation de radiographies industrielles", 6^{ème} Congrès Européen sur les Contrôles Non Destructifs, Nice, octobre 1994.
- [2] F-Y. Briand
"Conception d'outils de traitement d'images pour l'analyse et l'interprétation de radiographies industrielles", Thèse de Doctorat, IRESTE Nantes, septembre 1991
- [3] M. Lefèvre
"Détection de défauts en radiographie industrielle : approches multiéchelles", Thèse de Doctorat, Télécom Paris, mai 1995.
- [4] C. Klifa
"Reconstruction 3D d'objets à partir d'un nombre très limité de projections. Application à la radiographie industrielle", Thèse de Doctorat, Télécom Paris, mai 1991
- [5] B. Chalmond, B. Lavayssière, F. Coldefy
"3D curve reconstructions from degraded projections", Curves and Surfaces II, 1994
- [6] B. Lavayssière, E. Fleuet, B. Georgel
"3D reconstruction : a challenge in non destructive testing", Proc. of 2nd Int. Symposium on Inverse Problems, Paris, november, 1994.
- [7] B. Georgel, B. Lavayssière
"Fusion de données : un nouveau concept en CND", 6^{ème} congrès européen sur les CND, Nice, 1994.
- [8] S. Gautier
"Vers la fusion de données gammagraphiques et ultrasonores", colloque GRETSI, Juan Les Pins, septembre 1995