

Pointé automatique sur cible passive en utilisant la caméra coaxiale d'une multistation Leica MS50

■ Loïc SABAU

Les barrages et tours aéroréfrigérantes des centrales nucléaires d'EDF font l'objet d'une surveillance régulière qui garantit la sûreté de ces installations. A cette fin, des auscultations topographiques sont réalisées par pointé manuel sur des cibles constituées de cercles concentriques. La sortie de la dernière génération de tachéomètres Leica, équipés d'une caméra coaxiale couleur, a incité EDF à proposer en partenariat avec Leica un Projet de Fin d'Etudes. L'objectif était d'étudier la faisabilité d'un pointé automatique sur ces cibles à partir de l'analyse de l'information récupérée par la caméra coaxiale d'une Leica MS50, et de vérifier la pertinence de son utilisation pour les missions d'auscultation d'EDF. L'article résume différentes possibilités en matière de traitement d'image et présente les solutions choisies pour le cas particulier de la détection des cibles d'EDF. Il montre également quelques cas d'applications en conditions réelles et propose enfin des axes d'amélioration.

■ MOTS-CLÉS

Reconnaissance de cible, pointé automatique, traitement d'images, MS50

désormais d'automatiser le pointé fin sur ces cibles, afin d'optimiser encore le temps consacré aux campagnes d'auscultation sur le terrain. Précisons qu'au vu de l'importance du nombre d'ouvrages, il n'est pas envisageable de les équiper tous de prismes, et ce pour de nombreuses raisons : rupture avec l'historique, modification des modélisations et des bases de données, coût prohibitif...

Moyens du PFE

L'appareil utilisé dans le cadre du PFE est une multistation Leica MS50, mise à disposition à titre gracieux par Leica Geosystems pour la durée du stage. Sa précision angulaire est de 3 déci-milli-grades à 1σ .

La caméra coaxiale RVB est un capteur CMOS de 5 mégapixels avec un champ de vision d'environ $1.5 \times 1.0^\circ$. Cette caméra profite du zoom optique x30 de la lunette, ce qui permet une bonne définition des cibles avec un pixel objet valant 1 millimètre à 100 mètres.

L'appareil propose également une fonction scan avec une fréquence d'acquisition maximale de 1 000 Hz. Cependant, son utilisation dans le cadre du PFE n'a pas été considérée au vu des résultats obtenus par Benjamin Lie (cf. bibliographie).

Le développement a été réalisé en langage C++ sur les conseils de Leica, dans l'optique d'une intégration future à l'appareil. Nous avons utilisé la bibliothèque externe OpenCV pour la lecture et l'écriture d'images et flux vidéo, le traitement d'images et certaines fonctions mathématiques. La communication et le pilotage de la MS50 ont été permis par l'utilisation du GeoCOM, bibliothèque propriétaire Leica.

Contexte du projet

Le service Ingénierie Topographie d'EDF-DTG basé à Lyon, service au sein duquel j'ai réalisé mon Projet de Fin d'Etudes (PFE), a pour mission notamment de réaliser les mesures d'auscultation. On dénombre environ 200 barrages et 50 ouvrages nucléaires faisant l'objet de mesures à une fréquence annuelle ou biannuelle. Leur moyenne d'âge étant de 40 ans, la majorité de ces ouvrages ne sont pas équipés de prismes mais plutôt de cocardes en lave émaillée (cf. figure 1). Ce sont des plaques en pierre de lave sur lesquelles sont peints une cocarde de diamètre 8 ou 10 centimètres, ainsi qu'un numéro permettant son identification. La surface est vitrifiée pour garantir la pérennité de la cible.

A l'heure actuelle, les mesures sur ces cibles sont réalisées par pointé manuel. Depuis environ 5 ans, les tachéomètres sont pilotés via une tablette par un logiciel d'auscultation interne à EDF.



Figure 1. Image d'illustration d'une cocarde

Celui-ci réalise le pointé approché sur les cibles à mesurer en fonction des mesures de la campagne précédente. L'utilisation de ce programme a permis la réalisation d'économies de temps considérables. La volonté d'EDF est

◉ Algorithme de détection de cibles

■ *Reconnaissance de formes*

La première question qui s'est logiquement soulevée est la suivante : comment identifier une cocarde sur une image ? Pour répondre à cette question, nous avons fait l'inventaire des techniques couramment utilisées en détection de forme.

Corrélation d'images

La corrélation d'image est une méthode très souvent utilisée en photogrammétrie aérienne (cf. *bibliographie*, Krauss & Waldhäusl). On dispose d'une matrice de référence représentant la cible et une matrice de recherche, dans laquelle on veut trouver la position la plus cohérente pour la matrice de référence. La corrélation se fait habituellement en deux étapes :

- Le calcul du coefficient de corrélation entre la matrice de référence et chaque subdivision de la matrice de recherche de même taille. Cette étape permet de calculer une position avec une résolution pixellaire.
- On calcule ensuite par les moindres carrés un ajustement sub-pixellaire entre la matrice de référence et la matrice de recherche.

Le problème rencontré lorsque nous avons essayé d'appliquer cette méthode est la détermination de la matrice de référence. En effet, si la distance à la cible peut à la limite permettre de calculer sa taille, nous n'avons a priori aucune information sur l'angle d'incidence. Pour calculer la matrice de référence, nous devons donc commencer par analyser l'image afin de trouver une ellipse. Ceci rend la corrélation complètement dépendante du traitement en amont. De plus, ce traitement préliminaire est suffisant pour déterminer la présence et la position d'une cible.

Analyse en composante principale

Cette méthode souvent utilisée en traitement d'images équivaut à réaliser une régression linéaire orthogonale sur un ensemble de points (correspondant en réalité à un ensemble de pixels de l'image). Cette méthode présente l'avantage de pouvoir être utilisée pour des formes quelconques.

En réalisant une analyse en composantes principales sur un nuage de points ayant la forme d'une ellipse, on peut obtenir indirectement toutes les caractéristiques de l'ellipse. Cependant, d'autres méthodes plus robustes sont à conseiller dans le cas de la détection de formes géométriques simples comme une ellipse.

Transformée de Hough

La transformée de Hough est une technique de reconnaissance de formes, qui fut à l'origine développée pour la détection de droites. Le principe consiste à établir une projection entre l'espace de recherche à deux ou trois dimensions et l'espace des paramètres de la fonction caractérisant la forme à reconnaître. A un point dans l'espace correspond une droite dans l'espace des paramètres de la forme, et l'on recherche des zones de concentration de ces droites.

Pour les ellipses, des approches alternatives proposent de scinder le problème en étapes pour gagner en vitesse d'exécution. L'implémentation MBAI de Telecom-Paristech (cf. *références internet*), propose par exemple de n'utiliser la transformée de Hough que pour la recherche des centres, et de trouver ensuite les trois autres paramètres par les moindres carrés.

Ellipse fitting par les moindres carrés

Il existe de nombreuses méthodes de calcul d'ellipse par les moindres carrés. La plus immédiate utilise l'équation des coniques comme équation d'erreur. D'autres plus élaborées utilisent certaines propriétés géométriques de l'ellipse pour calculer rapidement certains paramètres. La fonction `fitEllipse` d'OpenCV utilise la méthode proposée par Fitzgibbon (cf. *bibliographie*), qui renvoie toujours une ellipse quels que soient les points utilisés.

RANSAC

La méthode RANSAC est une méthode itérative de résolution de systèmes d'équations surdéterminés, qui se base sur une approche statistique. Le principe est d'effectuer un grand nombre de résolutions en utilisant à chaque fois un sous-échantillon des données choisi de manière aléatoire.

Une fois le modèle résolu par une méthode donnée à partir du sous-

échantillon, on recalcule les erreurs de l'ensemble des données d'origine par rapport à ce modèle et l'on retient l'erreur médiane la plus faible, qui n'est pas influencée par la présence de valeurs aberrantes. L'avantage de cette méthode est donc d'être particulièrement robuste.

Synthèse

La corrélation et l'analyse par composantes principales ont été abandonnées très tôt pour les raisons évoquées dans leurs présentations respectives. La transformée de Hough a été testée mais laissée de côté, car beaucoup trop gourmande en ressources informatiques (retenons malgré tout sa capacité surprenante à reconstituer des cocardes en très mauvais état).

La méthode retenue est donc l'ellipse-fitting par les moindres carrés. Le choix de cette méthode a d'ailleurs beaucoup de sens vu les cibles que l'on cherche à détecter. De plus, la méthode étant implémentée dans OpenCV, il est facile d'afficher les ellipses sur l'image d'origine, ce qui permet l'obtention d'un rendu visuel immédiat servant de contrôle pour l'opérateur.

La méthode RANSAC utilisant l'ellipse-fitting a montré de bons résultats lorsqu'utilisée sur des photos de cibles tachées ou présentant des éclats importants. Malheureusement, son temps d'exécution est trop important, et elle n'a donc pu être testée avec succès pour des mesures en conditions réelles sur le flux vidéo. De plus, les cocardes situées sur les sites EDF sont en général propres et en bon état ce qui, indépendamment des problèmes de temps d'exécution, ne justifie pas l'utilisation d'une méthode robuste.

La sélection entre les différentes méthodes s'est faite conjointement au développement de l'algorithme de traitement d'images (cf. *figure 2*), présenté ci-après.

■ *Traitement d'images*

L'étape préliminaire au traitement d'images est l'acquisition de cette image depuis la caméra coaxiale couleur de l'appareil. Il existe pour cela deux manières de procéder :

- Faire prendre une photo à l'appareil et la rapatrier sur l'ordinateur.

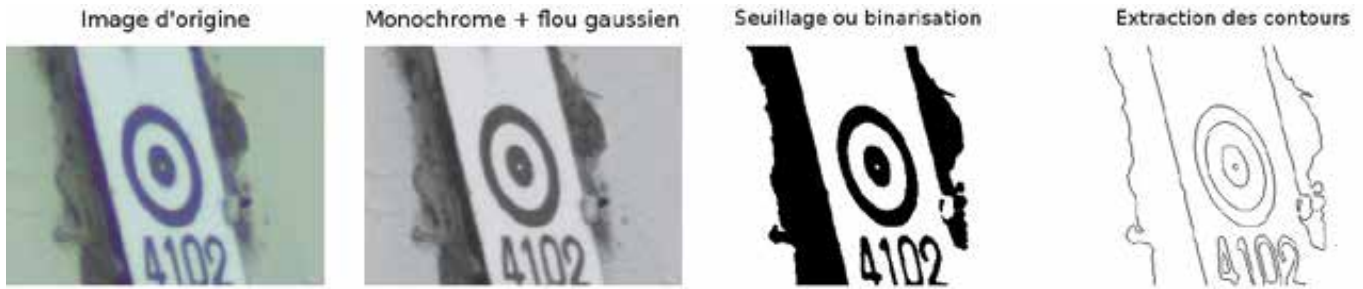


Figure 2. Application du traitement d'images au cas réel

- Se connecter à un flux vidéo hébergé dans le MS50 et traiter les images qu'il contient.

La première solution prend quelques secondes pour récupérer une image, alors que la deuxième permet d'obtenir jusqu'à 10 images par seconde. Cette dernière a été préférée, en effet l'idée est de se rapprocher du pointé manuel, et donc de l'œil humain qui moyenne intuitivement pour réaliser un pointé. De plus, la durée d'un pointé automatique doit être comparable au pointé manuel, car l'un des objectifs est de gagner du temps.

Nous allons voir dans la suite l'ensemble des choix qui permettent d'améliorer les chances de détection des cocardes.

Niveaux de gris

La première étape du traitement d'images consiste en la conversion de l'image couleur en niveaux de gris. Il existe des méthodes linéaires (moyennage, isolement d'un canal, etc.) ou non (plus grande valeur, médiane, etc.). Comme le capteur photographique de la MS50 est un CMOS doté d'un filtre de Bayer, nous avons choisi d'isoler le canal vert car il est en théorie mieux défini. Ce choix a été validé par l'observation d'images prises en conditions réelles.

Flou gaussien

La deuxième étape consiste à appliquer un flou gaussien sur l'image. Cette étape réduit le bruit numérique, ce qui permet de rendre les contours plus homogènes et par extension d'augmenter les chances de détection d'ellipse. Le flou est réalisé à l'aide d'un noyau de convolution gaussien de taille 3x3 avec un sigma de 0.8, ce qui représente un bon compromis entre diminution du bruit et conservation des détails.

Binarisation

La troisième étape est la binarisation, qui consiste à transformer une image en niveaux de gris (valeurs comprises entre 0 et 255 inclus) en une image binaire (0 ou 1, soit noir ou blanc).

Habituellement, on utilise des algorithmes de détection de bord (Sobel, Prewitt, Canny...) car ils détectent spécifiquement les contours en recherchant des gradients de couleur dans l'image. Ces algorithmes sont cependant inadaptés à notre cas car les images du capteur sont relativement bruitées, ce qui fait qu'il existe de nombreux pixels ayant des valeurs aberrantes. Ces algorithmes ont alors tendance à générer des portions de contour plutôt que des contours entiers, coupés aux endroits où l'on retrouve ces pixels aux valeurs anormales. Ceci n'empêche pas la détection d'ellipses, mais rend en revanche le calcul de paramètres d'ellipses imprécis car la répartition des points est défavorable.

Ainsi, nous nous sommes plutôt orientés vers les algorithmes utilisant des méthodes statistiques, et plus particulièrement la méthode d'Otsu et une méthode adaptative, toutes deux intégrées dans OpenCV. La première présente l'avantage d'être totalement automatique, mais montre ses limites lorsque les cibles sont très éloignées ou inclinées. La deuxième donne de meilleurs résultats dans les cas défavorables, mais nécessite de fixer des paramètres.

Vectorisation

La quatrième et dernière étape du traitement d'images consiste à récupérer les contours. La fonction `findContours` d'OpenCV renvoie à partir d'une image binaire une liste contenant autant de listes de points qu'il existe de contours dans l'image.

La vectorisation ramène le problème

de détection d'ellipses dans une image à un problème purement mathématique. Nous allons voir dans la suite comment passer des contours obtenus aux ellipses contenues dans l'image, et de ces ellipses à la cible.

■ Discrimination des contours

La fonction d'ellipse-fitting intégrée dans OpenCV crée une ellipse quelle que soit la forme d'origine, et ne permet pas de récupérer les appoints aux coordonnées des points. Le but de la discrimination est de ne garder que les ellipses issues de contours ayant une forme plutôt ellipsoïdale. Nous devons donc calculer un critère pour pouvoir évaluer la qualité de l'ellipse obtenue. Au lieu d'utiliser des distances point-ellipse vraies ou approchées, dont les calculs sont respectivement complexes ou itératifs, nous sommes revenus à l'équation cartésienne de l'ellipse. Après une translation-rotation de l'ensemble des points, on peut calculer des écarts donnés par l'égalité :

$$e = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 1$$

La variance de ces écarts donne un indicateur de qualité de l'ellipse (cf. figure 3) avec trois calculs par point seulement. Notons que l'utilisation de l'équation cartésienne rend les écarts indépen-

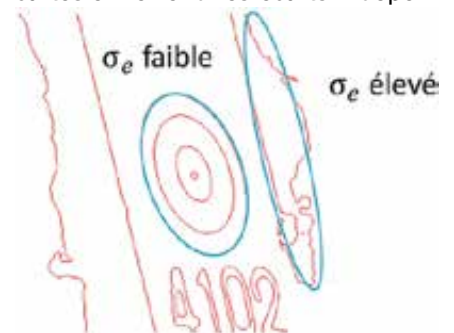


Figure 3. Indicateur de qualité pour deux contours



Figure 4. Exemple de détection d'ellipses parasites



dants de la taille de l'ellipse, ce qui nous arrange car la distance à la cible n'est pas connue lors de la mesure.

■ Traitement des ellipses

La donnée de sortie de l'étape de discrimination des contours est une liste de points, correspondant aux centres des ellipses. Il est nécessaire de réaliser un filtrage de ces points, car l'apparition d'ellipses parasites est courante et difficilement évitable (cf. figure 4).

Les hypothèses de départ sont que l'on recherche des cercles concentriques, et que le logiciel d'auscultation TANGO évoqué dans l'introduction a réalisé le pointé approché. Pour cette raison, l'objectif du traitement de points est de conserver le n-uplet de points le plus au centre de l'image, avec n supérieur ou égal à deux. Les étapes de ce traitement sont :

- Le calcul des distances deux à deux entre points et l'extraction de tous les points qui sont situés en dessous d'une certaine distance d'un autre point, soit la suppression des ellipses solitaires.
 - La recherche du point le plus proche du centre de l'image, parmi les points non solitaires isolés précédemment.
 - Un deuxième calcul des distances deux à deux entre les points non solitaires, pour ne garder que les points proches du point non solitaire situé le plus au centre.
 - Le calcul d'une pondération de ces points, qui donne le centre de la cible.
- La première cible mesurée définit une référence pour les points suivants, qui ne peuvent être situés à plus d'un certain nombre de pixels de cette référence. Ceci permet d'éviter la prise en compte accidentelle d'une cible autre que celle voulue dans le calcul de la moyenne des points. Il pouvait en effet arriver que la cocarde ne soit pas détectée pour une



raison quelconque, et que la mesure ne fasse le temps d'une image sur le zéro du numéro de cocarde !

L'ensemble du processus (cf. figure 5) est répété sur un nombre N d'images du flux vidéo, et la moyenne arithmétique des N points obtenus donne les coordonnées pixel de la cible.

Essais en conditions réelles

Cette dernière partie présente les trois essais les plus marquants : la définition des conditions de détection, l'étude des relations entre la distance, l'incidence de la cible et la précision de la mesure, et enfin des tests sur site en conditions réelles.

■ Conditions de détection

L'augmentation de la distance entraîne une diminution de la taille en pixels des cibles. Les effets du bruit numérique et de crénelage sont alors d'autant plus



Figure 5. Processus de traitement d'une image

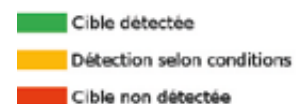
importants, avec le risque de rejeter un contour appartenant à une cible.

L'augmentation de l'angle d'incidence α , quant à elle, a deux conséquences :

- La diminution du nombre de pixels, qui augmente également les effets des bruits numérique et de crénelage.
 - La diminution du contraste au niveau de la cible : les cocardes étant vitrifiées, la réflexion des rayons lumineux l'emporte sur la réfraction à de fortes incidences. La diminution du contraste augmente les effets du bruit numérique et rend le seuillage plus délicat.
- Pour déterminer les intervalles de détection des cocardes, nous avons réalisé des observations de 50 à 400 mètres par intervalle de 50 mètres. L'angle d'incidence varie de 0 à l'incidence maximale permise, par intervalle de 10 degrés. Pour chaque position, nous avons noté si la cocarde était détectée et si cette détection était systématique

incidence (degrés)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
distance (m)									
50	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
100	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
150	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red
200	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red
250	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red
300	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red
350	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
400	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red

Figure 6. Conditions de détection des cibles



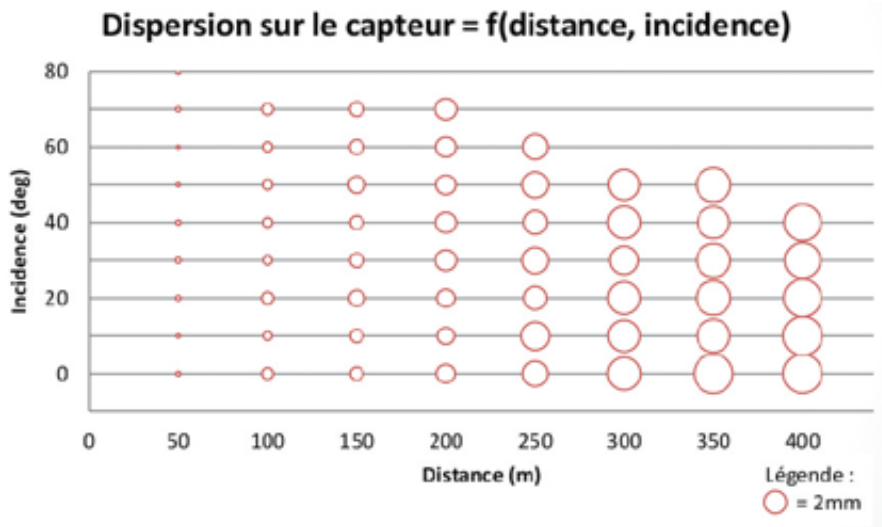


Figure 7. Lien entre dispersion, distance et incidence

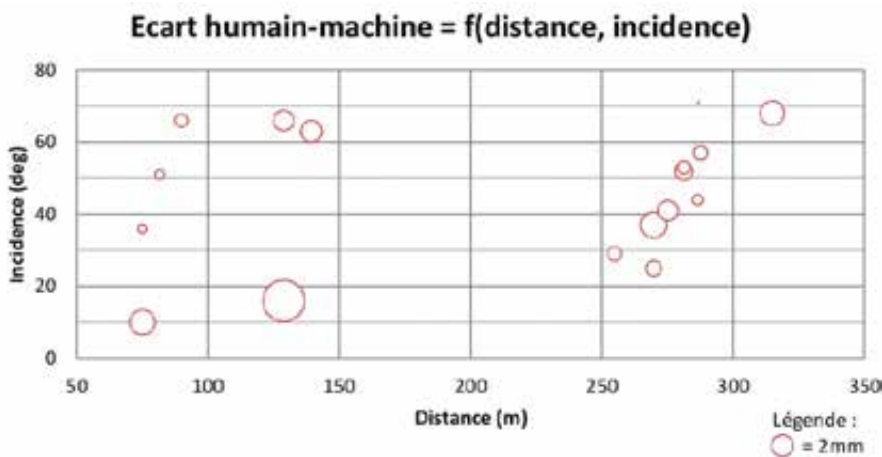


Figure 8. Écart entre pointé manuel et automatique

ou non (cf. figure 6). La détection des cibles dans le cas de la "détection selon conditions" (cf. légende fig. 6) dépend principalement de la présence d'effluves.

■ Distance, incidence et précision

Cette deuxième expérience a pour but d'étudier les liens pouvant exister entre ces trois paramètres.

Les observations sur cible vont de 50 à 400 mètres par intervalle de 50 mètres. L'angle d'incidence varie de 0 à l'incidence maximale permise, par intervalle de 10 degrés. Chaque mesure est le résultat de l'analyse de 100 images issues du flux vidéo, et l'on calcule la dispersion des 100 coordonnées obtenus sur le capteur (cf. figure 7).

Deux résultats intéressants sont à retenir. Premièrement, on constate sur le graphique que la dispersion est la même pour une incidence donnée.

Ainsi, la précision de la mesure pour une distance donnée n'est a priori pas dépendante de l'angle d'inclinaison de la cible. Deuxièmement, cette dispersion est constante du point de vue du capteur : environ un pixel, soit 1 millimètre à 100 mètres, et ce quelle que soit la distance et l'incidence. Conséquence directe de ce constat, la précision décroît linéairement avec la distance.

■ Comparaison manuel / automatique

Des essais en conditions réelles ont eu lieu sur le site de la centrale nucléaire de Bugey, située à 35 kilomètres à l'est de Lyon. S'y trouvent 4 réacteurs nucléaires, dont une partie du refroidissement est assurée par 4 tours aéroréfrigérantes de 130 mètres de hauteur.

Nous avons réalisé deux sorties sur ce site, au cours desquelles nous avons

réalisé des séquences de mesures manuelles et automatiques sur 17 cibles avec des configurations variées (distance, angle et éclairage). Chaque séquence se compose de deux tours d'horizon dans les deux positions de la lunette, soit quatre mesures au total. Les écarts entre séquences manuelles et automatiques peuvent être visualisés dans la figure 8.

La variance des écarts observés est de 4 déci-milligrades en horizontal comme en vertical, ce qui s'approche de la précision théorique de l'appareil. En termes de distance sur la cible, la variance des écarts est de 1,5 millimètre, tandis que l'écart maximal vaut 2,3 millimètres, sur une cible à 314 mètres inclinée à 70 degrés (cas très défavorable).

L'analyse des résultats a montré que la somme des composantes horizontales et verticales des écarts est proche de zéro, ce qui laisse penser que les écarts entre humain et machine sont globalement aléatoires. De plus, la valeur des écarts ne semble pas avoir de relation ni avec l'incidence ni avec la distance.

Conclusion

Nous avons montré que le pointé automatique sur des cibles par traitement d'images issues de la caméra coaxiale de la MS50 est aujourd'hui une réalité technique. A la suite des essais en conditions réelles, pointé humain et automatique semblent suffisamment proches (en termes de précision et de résultat obtenu) pour que le pointé automatique puisse être employé par EDF. Malgré tout, l'échantillon est assez faible et d'autres tests doivent être réalisés pour confirmer les résultats obtenus.

D'autres questions restent ouvertes, notamment sur les améliorations éventuellement apportées par l'usage d'une TS50, dont la précision angulaire est meilleure que celle de la MS50, ou encore l'influence des conditions climatiques et d'éclairage sur la position mesurée.

■ Avantages

Grâce à l'utilisation du pointé automatique, le confort de l'opérateur se



trouve grandement amélioré, comme c'est le cas pour le pointé automatique sur prisme. De plus, l'interprétation de la cible ou la fatigue visuelle de l'opérateur n'entre plus en compte dans le bilan des erreurs.

■ Axes d'amélioration

L'algorithme actuel de détection des cibles pourrait être amélioré. En effet, on n'utilise à l'heure actuelle que les pixels des contours des cercles pour déterminer le centre de la cible. Or la mesure serait sans doute plus stable si l'on utilisait tous les points contenus dans le cercle le plus extérieur (qui appartient à la cible, après tout), en étant notamment bien moins sujette au bruit numérique et de crénelage.

La méthode RANSAC et la transformée de Hough ont été écartées car elles causaient des ralentissements du programme amenant à des arrêts inopinés du programme à court ou moyen terme. Mais il y a fort à parier qu'une optimisation du code, notamment le multithreading (exécution de tâches en parallèle), permettrait de mettre en œuvre ces méthodes, qui n'ont pas vraiment pu être testées sur le flux vidéo, mais ont prouvé leur intérêt sur l'analyse d'images isolées. L'utilisation de ces algorithmes pourrait augmenter notamment le potentiel de détection des cibles.

■ Perspectives

Le service Ingénierie Topographie d'EDF va réaliser à très court terme plus d'essais en laboratoire et sur le terrain, afin de confirmer la pertinence de l'utilisation du pointé automatique pour les campagnes d'auscultation. Si ces essais supplémentaires sont concluants, un programme d'auscultation sera réalisé à court terme, dans l'optique d'une utilisation à moyen terme par EDF du pointé automatique sur cocarde pour l'auscultation des ouvrages hydrauliques et nucléaires. ●

Contact

Loïc SABAU
loic.sabau@outlook.fr
Ingénieur INSA, spécialité Topographie

Bibliographie

- Fitzgibbon, A. Pilu M. & Fisher, R.B. [1999] *Direct Least Square Fitting of Ellipses*, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 21, no. 5, Mai 1999.
- Krauss, K. Waldhäusl, P. [1998] *Manuel de photogrammétrie, principe et procédés fondamentaux* - Traduction de P. Grussenmeyer, O. Reis, Edition Hermès, Paris. ISBN 2-86601-656-4. 407 pages.
- Lie, B. [2012], *Optimisation des techniques de calage et de contrôle des relevés lasergrammétriques des aérorefrigérants de la société EDF*, Mémoire d'ingénieur de l'INSA de Strasbourg, spécialité Topographie.
- Yuen, H.K. Princen, J. Illingworth, J. & Kittler, J. [1989] *A comparative study of Hough Transform methods for circle finding*, Image and Vision Computing, vol. 8, issue 1, February 1990, p 71-77.

Références internet

Million, O. Rouilly, V. Module MBAI : *Détection d'ellipses par transformation de Hough*. [Consulté le 17 juin 2014], disponible sur <http://www.tsi.telecom-paristech.fr/pages/enseignement/ressources/beti/ellipses/mbai.html>

ABSTRACT

Key words: target recognition, MS50, automatic aiming, image processing

Electricité De France's dams and nuclear power plant cooling towers are subject to regular inspection, which ensures the safety of these facilities. For this purpose, topographic monitoring is done by manual pointing on targets made of concentric circles. The release of the latest generation of Leica total stations, equipped with an on-axis color camera, led EDF to propose an end of studies project (Projet de Fin d'Etudes). Its objective was to investigate the feasibility of the automatic aiming on these targets, using information collected from the coaxial camera of a Leica MS50, as well as its suitability in the context of EDF's building monitoring. This article summarizes various possibilities for image processing and presents the chosen solutions for the detection of EDF targets. It also shows actual cases of utilization and suggests improvement opportunities.

COMITÉ DE LECTURE D'XYZ

- BAILLY André,
ingénieur, Paris
- BOTTON Serge,
ingénieur, ENSG Marne-la-Vallée
- CHRISMAN Nicholas,
professeur, RMIT (Australie)
- DUQUENNE Françoise,
ingénieur général des Ponts honoraire,
Saint-Mandé
- DURAND Stéphane,
maître de conférences, ESGT Le Mans
- FLACELIÈRE Bernard,
ingénieur topographe, Pau
- GRUSSENMEYER Pierre,
professeur des universités,
INSA Strasbourg
- HULLO Jean-François,
Dr.-Ing., ingénieur de recherche,
EDF R&D, Clamart
- KASSER Michel,
professeur des universités,
HEIG-VD (Suisse)
- KOEHL Mathieu,
maître de conférences, INSA Strasbourg
- LANDES Tania,
maître de conférences, INSA Strasbourg
- MAILLARD Jean-Pierre,
géomètre-expert foncier,
Marne-la-Vallée
- MAINAUD DURAND Hélène,
ingénieur topographe, CERN Genève
- MISSIAEN Dominique,
ingénieur topographe, CERN Genève
- MOREL Laurent,
maître de conférences, ESGT Le Mans
- NATCHITZ Emmanuel,
ingénieur, EIVP Paris
- PANTAZIS N. Dimos,
professeur, TEI Athènes
- POLIDORI Laurent,
professeur CNAM, ESGT Le Mans
- REIS Olivier, ingénieur,
traducteur Sarreguemines
- ROCHE Stéphane,
professeur, Université Laval (Québec)
- TROUILLET Michel,
ingénieur topographe, Lyon
- VINCENT Robert,
ingénieur, Paris