

Session 1 : Off-Shore - Inspection - Maintenance - Réparation

VIDEOGRAMMETRIE

Jean-Pierre Vial

20 avenue Robert Schuman
13002 Marseille

Le principe de la vidéogrammétrie est celui de la photogrammétrie où l'on a remplacé les appareils photo par des caméras vidéo CCD ou CID. Ce principe permet d'obtenir les coordonnées X, Y et Z de tout point de l'espace filmé, sans contact, en temps réel et avec une grande précision.

L'application qui nous intéresse ici concerne l'inspection de structures immergées : par exemple un noeud de jacket. Le champ couvert nécessaire est de 3 m x 3 m avec une profondeur de champ de 3 m. Le capteur employé sera un CHROMO 200 embarqué sur R.O.V. L'ombilical du R.O.V. servira au transfert d'informations. L'unité de traitement et de métrologie sera embarquée sur un support naval.

On projette un plan de surbrillance sur le noeud, on en fait l'acquisition, ce qui donne une coupe du noeud en 200 millisecondes, soit les coordonnées X, Y et Z de 512 points. Si l'on fait une coupe tous les 30 mm on a la cartographie du noeud en 20 sec avec une précision de ± 3 mm. Notons que c'est la cartographie réelle du noeud. Pour avoir le volume du noeud nous aurons besoin de faire 3 prises de vue de ce noeud.

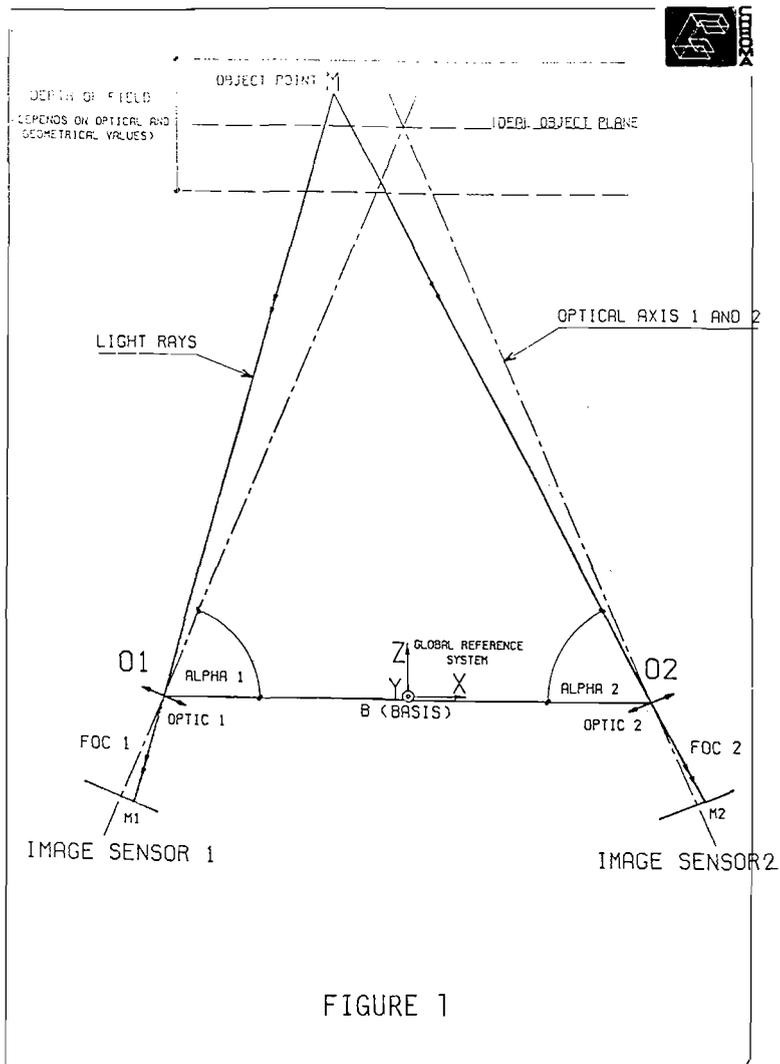
A partir de cette inspection d'ensemble du noeud on peut avoir besoin de plus de précision dans une zone déterminée ; on utilisera pour ce faire un second capteur (l'unité de traitement et de métrologie reste la même) : CHROMO 10. Avec lui on pourra inspecter par exemple un cordon de soudure ou autre chancre ou fissure. Le champ couvert de CHROMO 10 est de 24 mm x 36 mm ; sa profondeur de champ est 50 mm et sa précision de 7×10^{-2} à 1×10^{-1} .

The basic principle of videogrammetry is the one used in photogrammetry systems, except that videogrammetry systems use video or digital cameras instead of photo cameras and that all the processing which is needed to obtain object coordinates from the images is performed in real time, without contact and with a high level of accuracy.

One exemple of what kind of job could be achieved with videogrammetry systems, concerning the offshore field, is the inspection of a jacket node. The purpose of such an operation is to acquire the 3D characteristics of a complete jacket node. This means that the object covered field is 3 m x 3 m and that the depth of field is also 3 m. CHROMO 200 system used for such an operation is fitted on a R.O.V. for the picture taking device, the processing unit being on the supply boat, the links between these two subsets are those of the R.O.V. umbilical from the picture taking device.

An overbrightness light is projected on the node. This overbrightness line is acquired and the coordinates X, Y et Z of 512 points are calculated, which give a shape of the node. If we scan a shape every 30 mm which give a real cartography in 20 seconds with an accuracy of ± 3 mm. To get the complete information about the node we need at least 3 points of view.

From the global inspection performed with the previous CHROMO 200 system we may have the need to process a more accurate 3D metrology on a determined part of the node welding, pittings, holes, concretes and so on ... : This can be achieved by using a CHROMO 10 system whose the processing unit is the same as for the CHROMO 200. The object covered field of CHROMO 10 is 24 mm x 36 mm, the depth of field is about 40 mm to 50 mm and the accuracy system is from 7×10^{-2} to 1×10^{-1} .



- VIDEOGRAMMETRIE

- Jean-Pierre Vial

- 20 avenue Robert Schuman
13002 Marseille

1 - PRINCIPE

Le principe de base de la vidéogrammétrie est identique à celui de la photogrammétrie ; à partir d'une prise de vue stéréoscopique d'un objet et moyennant la connaissance d'un certain nombre de paramètres la concernant, on obtient l'ensemble des coordonnées des points de cet objet dans un repère trirectangle convenant au type de mesure à réaliser. A partir de la connaissance de ces coordonnées on peut alors obtenir une restitution de la morphologie spatiale de cet objet avec un niveau de précision déterminé à l'avance et en temps réel.

Compte tenu de sa fonction de contrôle dimensionnel il est évident que la vidéogrammétrie ne justifie son emploi que dans des cas où ce type de contrôle ne peut être réalisé de façon classique ; soit parce que l'objet à dimensionner interdit l'application d'une telle méthode, soit parce que l'ambiance de mesure rend une présence humaine difficile sinon impossible.

Si on se reporte à la figure 1, on remarque que la vidéogrammétrie se base sur l'obtention d'images stéréoscopiques, ceci à l'aide soit de deux caméras soit d'une seule caméra pourvue d'une optique stéréoscopique.

Pour cela il est nécessaire que les caractéristiques des optiques (distances focales) et de la géométrie du montage caméras/optiques (distance entre elles, angle de convergence des axes optiques) soient absolument connues avec une grande précision. Ce qui est obtenu grâce à une calibration.

A partir du pointage sur chaque image d'une paire stéréoscopique de "points homologues" relatifs à un même point objet, en fonction des paramètres énoncés précédemment, on obtient les 3 coordonnées de ce point objet dans un système de référence lié au capteur.

La même opération est effectuée avec autant de points de l'objet qu'il est nécessaire afin d'en avoir sa représentation complète en trois dimensions. (figure 1).

2 - ARCHITECTURE DU SYSTEME

Chaque système développé par CHROMA suivant le principe décrit ci-dessus est fonction des besoins du client : champ couvert objet, profondeur de champ, précision, cadence de travail, interface mécanique. Des fiches techniques des systèmes déjà réalisés sont incluses en annexe.

Chaque système à la même architecture.

- un dispositif de prise de vue ou capteur.
- une unité de traitement d'image et de métrologie tridimensionnelle.
- une liaison reliant ces deux sous-ensembles.

2. 1 Dispositif de prise de vue

Le but de ce sous-ensemble est l'acquisition de paires d'images stéréoscopiques les meilleures possible. Il est constitué d'une ou deux caméras vidéo ou numériques dont les caractéristiques des optiques sont fonction du champ couvert objet et de la précision des mesures exigées.

Dans les systèmes de vidéogrammétrie les caméras utilisées sont des caméras vidéo CCD ou CID.

L'intérêt des CCD est qu'elles répondent à un standard bien connu, elles sont donc disponibles sur le marché et relativement peu coûteuses. L'inconvénient des CCD est une diminution de la précision de la métrologie due au fait de la définition limitée des signaux vidéo.

Pour pallier à cet inconvénient nous employons des caméras numériques. Développées par CHROMA à partir de capteurs CID ces caméras permettent de récupérer la totalité des informations images délivrées par les capteurs images utilisés, pixel par pixel. Cette technique permet de bénéficier de la pleine définition de la prise d'image et d'assurer que le pixel image traité en mémoire est toujours identique au pixel image du capteur d'images. Ces capteurs sont des CID 512 x 512 pixels carrés, toute surface photosensible, lecture monocoup. Les caméras numériques délivrent en sortie, les informations de fréquence pixel (10MHz), fréquence image (30Hz) luminance pixel (sur 8 bits parallèles à 10MHz) sur des transmetteurs différentiels.

Les deux caméras, quelle que soit la technique utilisée, sont directement synchronisées l'une par rapport à l'autre afin que l'on puisse être assuré qu'elles constituent bien un couple stéréoscopique.

Les optiques montées sur le dispositif de prise de vue sont des optiques de très haute qualité afin d'assurer l'image la meilleure possible : définition, distorsion etc.

Ces optiques sont bien entendu définies selon le champ couvert objet exigé. Si ces derniers ne sont pas standard, CHROMA calcule et fait réaliser des optiques en fonction du champ couvert objet spécifique.

S'il est besoin le dispositif est adapté par CHROMA aux conditions d'exploitation ; sous-marine, nucléaire, etc...

La structure qui relie les deux caméras est réalisée à partir des données géométriques exigées par la fonctionnalité du système : champ couvert objet, angle de convergence des axes optiques et autres paramètres relatifs aux caméras.

Bien entendu, s'il est besoin, des projecteurs sont montés sur cette structure afin d'avoir un bon éclairage de la scène à filmer.

Au centre du dispositif un projecteur de ligne de surbrillance est disposé afin de projeter sur la scène filmée, comme son nom l'indique, une ligne de surbrillance dans la direction de l'axe des Y du repère de référence.

L'intersection de cette ligne et du plan objet donne une coupe de la surface inspectée. Comme nous le verrons au paragraphe 2. 2 cette ligne de surbrillance facilite la reconnaissance automatique des points homologues sur les 2 images stéréoscopiques et ainsi le calcul également automatique des coordonnées X, Y, Z de tous les points objet de cette ligne. Le projecteur de ligne de surbrillance balaie la totalité de la surface objet dont on obtient ainsi la cartographie complète sans que le dispositif de prise de vue ait eu à bouger.

L'avantage de cette technique est que la métrologie se fait entièrement en automatique. On élimine ainsi les erreurs humaines et l'on peut également travailler sans autre éclairage, même si l'image est légèrement floue.

Le champ couvert pouvant être inspecté peut varier de quelques mm² à plusieurs m².

Pour l'ensemble des champs couverts objet on peut considérer que la profondeur de champ est sensiblement égale au champ couvert horizontal. Le volume de travail est donc pratiquement un cube.

2. 2 Unité de traitement et métrologie

Le but de ce sous-ensemble est de calculer les coordonnées X, Y, Z des points d'une zone à inspecter à partir de couples d'images stéréoscopiques obtenus par le dispositif de prise de vue. Pour cela CHROMA a mis au point un logiciel ainsi que les cartes images et l'électronique le mettant en œuvre puisqu'il n'existait sur le marché aucune carte image capable d'interfacer les caméras numériques et de supporter l'ensemble des traitements standard déjà implantés sur le système de vidéogrammétrie.

Ce développement ayant été orienté dès le départ vers une utilisation en métrologie tridimensionnelle, la carte comporte 2 plans images 512 x 512 pixels sur 8 bits ; elle est capable d'acquérir les signaux issus de deux caméras numériques en simultané et en temps réel, de restituer en temps réel deux signaux vidéo correspondant aux deux images acquises, comporte deux LUT d'entrée, un circuit LCA de gestion des horloges de la carte, un DSP ayant directement accès aux plans mémoire et deux palettes graphiques de sortie.

L'ensemble des systèmes de vision/métrologie développés jusque là par la société CHROMA étant organisé sur une base de PC, on a choisi ici de continuer sur cette base afin de préserver les précédents investissements logiciels. La carte est donc ici au format AT.

On note que le LCA est un circuit de XILINX qui est programmable in situ, par l'intermédiaire du bus PC, ce qui permet d'envisager l'utilisation de cette carte avec des caméras vidéo standard en mode entrelacé, sans aucune modification matérielle, moyennant l'utilisation d'une interface de numérisation elle aussi intégrée dans le PC hôte. Cette interface a aussi été développée et permet ainsi aux systèmes de vidéogrammétrie de bénéficier des mêmes performances en vitesse de processing que les systèmes de numérimétrie, bien qu'en conservant des performances de mesures plus faibles.

Les LUT réalisent certains traitements en temps réel (Seuil, Contraste, Négatif, Solarisation, Multiseuillage).

Les autres traitements du type filtre de Sobel, Laplacien ne sont pas réalisés en temps réel et nécessitent l'intervention du processeur et du DSP.

Le DSP utilisé est un circuit ST 18931 de SGS - THOMSON, accédant directement aux deux plans mémoires vis-à-vis desquels il se comporte en maître, et interfacé avec le PC par un système de boîte aux lettres et par une mémoire FIFO rapide pour les transferts de données par blocs, PC vis-à-vis duquel il est esclave. Il dispose d'une mémoire locale et sa mémoire programme est accessible par le bus du PC, ce qui permet de modifier par programmation in situ les tâches qu'on veut lui voir réaliser.

La société SECAD a développé l'ensemble des logiciels de chargement de la carte VP 208 en assembleur ST 18931 et en C ainsi qu'une bibliothèque de traitements d'image standard (filtrages divers) permettant l'utilisation de cette carte dans des systèmes de vision autres que les systèmes de vision/métrologie tridimensionnelle développés par CHROMA. On peut ainsi obtenir des gains de temps d'exécution concernant ces traitements qui sont de 40 à 5 selon le type de PC utilisé (en moyenne durée de mise en oeuvre de 500msec. sur une image de 512 x 512 pixels).

L'intégration de ces matériels dans les systèmes de vidéogrammétrie permet de réaliser la métrologie de 500 points objets (coordonnées X, Y, Z de 500 points) en 0,2 seconde, ce qui constitue un gain en vitesse de processing de l'ordre de 10 par rapport à un système de

vidéogrammétrie sur PC AT 386 25MHz. Simultanément la précision de mesure obtenue est de $\pm 1/1.000$ ème du champ couvert objet en horizontal et vertical et de $\pm 1/800$ ème du champ couvert objet en profondeur, ce qui constitue un gain de l'ordre de 2 par rapport aux meilleurs systèmes de vidéogrammétrie utilisant des caméras vidéo, et ce qui se rapproche des performances de la photogrammétrie tout en bénéficiant d'une exploitation temps réel.

Les résultats de métrologie tridimensionnelle ainsi que les images traitées peuvent être stockées sur un support informatique (disquette, disque dur, DON, DAT etc...) Les résultats sont visualisés sur l'écran de l'AT soit sous forme de tableaux, soit sous forme de graphique suivant le cas.

L'unité de traitement et de métrologie est exactement la même quel que soit le dispositif de prise de vue utilisé.

2. 3 Liaison

La liaison entre le dispositif de prise de vue et l'unité de traitement peut être assurée de 3 façons différentes suivant le type de caméra utilisée et la longueur de la liaison.

Dans le cas de systèmes équipés de caméras CCD on a besoin de deux câbles coaxiaux de type standard pour le transfert des informations images.

Dans le cas de systèmes équipés de caméras CID numériques deux cas se présentent :

jusqu'à 300 mètres on peut employer la même liaison coaxiale que précédemment équipée d'un sous-ensemble de réception et un sous-ensemble d'émission. Le sous-ensemble d'émission est monté dans le dispositif de prise de vue et sérialise toutes les informations images provenant des caméras numériques. Le sous-ensemble de réception est monté dans l'unité de traitement et désérialise ces mêmes informations images avant leur entrée dans la carte image. Cette double liaison de transfert d'informations a été développée par CHROMA et a un débit de 125Mbit/sec. sur chaque voie. Au delà de 300m et jusqu'à 1500m CHROMA a également développé une double liaison de transfert d'image sur fibre optique qui a les mêmes performances que la double liaison précédente et qui convertit également les signaux électriques en signaux lumineux et vice versa.

3 - APPLICATION

On trouvera ci-après 2 exemples d'applications de la vidéogrammétrie en offshore.

3. 1 Métrologie tridimensionnelle d'un noeud de jacket avec un CHROMO 200.

Le but de l'opération est d'obtenir toutes les caractéristiques d'un noeud de jacket en entier et en trois dimensions. Cela implique que le champ couvert est de 3m x 3m et que la profondeur de champ est également de 3m.

Le système employé est un CHROMO 200 dont le dispositif de prise de vue est embarqué sur un ROV et l'unité de traitement et de métrologie est embarquée sur un support naval ; les liaisons entre les deux sous-ensembles sont assurées par l'ombilical du ROV.

Deux cas se présentent :

- soit le ROV est capable de rester immobile 20 secondes environ, on balaie toute la surface objet avec la ligne de surbrillance du dispositif de prise de vue. On obtiendra donc au bout de 20 sec. la cartographie tridimensionnelle du noeud depuis le point de vue du dispositif de prise de vue. Cela signifie qu'on obtient 100 coupes de toute la surface objet balayée (une coupe tous les 30mm) ; ces coupes étant définies par les coordonnées X, Y, Z de 500 points objet avec une précision de ± 3 mm en X et Y et ± 4 mm en Z.

- soit le ROV ne peut pas rester immobile pendant les 20sec. nécessaires à l'acquisition des couples d'images et du calcul des coordonnées.

Dans ce cas on place trois cibles lumineuses sur le noeud dont les coordonnées tridimensionnelles calculées automatiquement en même temps que les coupes du scanning servent à recalculer tous les résultats de métrologie les uns par rapport aux autres.

On note que les coordonnées des points objets obtenues sont les coordonnées des points objets réels c'est-à-dire que si le noeud n'a pas été nettoyé avant la prise de vue les indications tridimensionnelles obtenues seront celles du noeud tel quel.

Pour obtenir la géographie complète du noeud, il est nécessaire de faire au moins 3 prises de vue différentes autour du noeud. Aussi afin de pouvoir réunir les résultats des 3 prises de vue successives il est nécessaire de positionner sur le noeud 3 cibles lumineuses matérialisant le plan de chaque prise de vue.

On repositionne ainsi chaque résultat dans le même système de référence, ce qui donne la description volumique du noeud en entier.

A partir de cette description, qui est la description réelle du noeud on peut obtenir 2 sortes de représentation tridimensionnelle.

La première est la représentation réelle du noeud depuis un point de prise de vue choisi, représentation tridimensionnelle d'un tiers du noeud tel qu'il est, c'est-à-dire avec les déformations, les trous, les chancres éventuels etc... Ceci est assez rapidement réalisé à l'aide d'une représentation tridimensionnelle ombrée où X, Y sont les coordonnées des points observés et Z les niveaux de gris de ces points ou encore une représentation en courbes de niveau. Le temps nécessaire à l'obtention d'une de ces représentations tridimensionnelles varie de quelques secondes à quelques minutes suivant la puissance du micro-ordinateur utilisé.

La deuxième façon est une représentation tridimensionnelle mathématique donnant des informations tridimensionnelles sur la géométrie du noeud. Elle prend en compte le fait que chaque élément du noeud est un cylindre et recherche la meilleure équation possible de chaque cylindre. A partir de ces équations on obtient la représentation mathématique de l'intersection de chaque cylindre. Ces résultats, interfacés avec un logiciel CAO (AUTO CAD par exemple), donnent la représentation géométrique globale du noeud. Le temps nécessaire à l'obtention de cette représentation varie de quelques minutes à quelques heures (4 à 5 maximum) suivant la puissance du micro-ordinateur utilisé.

Le système est également capable de suivre la trajectoire d'un point en mouvement se déplaçant dans la profondeur de champ propre au système et de donner ses coordonnées tridimensionnelles en temps réel dans le même système de référence que celui du noeud.

Nota : Dans le cas où l'on ne désire obtenir que la représentation géométrique du noeud en trois dimension, il n'est pas nécessaire d'effectuer un balayage pour avoir 100 coupes à chaque prise de vue. Ainsi le temps d'acquisition et de calcul des coordonnées tridimensionnelles est plus court, et si dans ce laps de temps le ROV est immobile on évite ainsi de recalculer les coordonnées tridimensionnelles de chaque coupe.

3. 2 Macro vidéo système : CHROMO 10

A partir d'une inspection générale obtenue avec le CHROMO 200, il peut s'avérer nécessaire de procéder à une métrologie tridimensionnelle plus fine d'une zone déterminée du noeud. Ceci peut être obtenu à l'aide d'un second capteur, CHROMO 10, manipulé par un bras du ROV sur la zone intéressée, l'unité de traitement/métrologie restant la même que celle utilisée pour le CHROMO 200.

Par exemple, si l'on veut obtenir des mesures tridimensionnelles plus précises d'un cordon de soudure à l'intersection de deux "bracing" (et non sa représentation géométrique), il suffit d'effectuer un balayage du cordon de soudure avec la ligne de surbrillance du dispositif de prise de vue du CHROMO 10.

Le champ couvert objet de ce dispositif est de 24mm x 36mm pour une profondeur de champ de 40 à 50mm et la précision obtenue est de $\pm 7.12 - 2\text{mm}$ en X et Y et de $10 - 1\text{mm}$ en Z. Ce qui est largement suffisant pour donner une bonne idée de l'état du cordon de soudure.

La ligne de surbrillance de ce dispositif de prise de vue étant fixe, le balayage doit être effectué en déplaçant le dispositif. cependant, si l'on veut obtenir la cartographie tridimensionnelle du cordon de soudure cela peut être fait à partir des informations de position du bras ce qui permet de réaliser la réorientation générale de chaque coupe, ou encore cela peut se faire à partir de cibles lumineuses placées de telle façon qu'elles soient visibles sur deux prises d'image successives.

Cela n'est qu'un exemple des possibilités du CHROMO 10. En effet il peut de la même façon faire les cartographies de chancre, d'usure, de fissures de corrosion etc...