

Photogrammétrie multi-images

saisie
analogique
par
procédé
argentique

Claude A. Daguillon (Rollei-Métric-Service)

La terminologie photogrammétrie multi-images décrit un procédé photographique ou plutôt photogramétrique qui ne requiert rien d'autre que l'enregistrement d'images et peut ainsi être très aisément mis en œuvre.

Un objet qui doit être documenté doit alors être photographié à partir de différentes stations de prises de vues et en directions convergentes. Pour effectuer cet enregistrement un appareil photographique de géométrie stable est normalement modifié afin d'être pourvu d'une plaque de verre optique, appelée «Réseau» et marquée de croix, à la précision mesurée de 0,1 μm . et fixée à demeure au plan image, ainsi que de butées mécaniques escamotables sur la bague de mise au point.

Le Réseau définit un système de coordonnées auquel il est fait référence au cours de la mesure des points images.

La position du centre de projection dans le système de référence ainsi que les distorsions de l'objectif sont connus par calibrage de l'appareil.

Les éléments des photographies d'un objet peuvent être reconstruits mathématiquement par un programme informatique après seulement mesure de quelques points, l'échelle est déterminée par une distance connue sur site.

La reconstruction de la situation photographique est appelée orientation.

Les mesures effectuées dans les images peuvent être converties en dimensions réelles et ce à un degré de précision élevée.

Le relevé des points sur images, agrandies ou non, positives ou négatives est effectué par un monocompacteur ou sur une table à digitaliser équipée d'un curseur loupe à réticule. Sur digitaliseur on peut atteindre une précision de mesure de 10 μm .

La précision objet dépend de divers facteurs bien que la position spatiale d'un point puisse être déterminée aisément au centimètre près.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le système photogramétrique Rolleimetric permet le lever et la restitution d'objets de toutes tailles en trois dimensions à l'aide de photographies.

Contrairement à la stéréo photogrammétrie fondée sur l'analyse de couples de clichés à l'aide d'un stéréo-

restituteur, le procédé Rolleimetric utilise de multiples clichés de l'objet pris sous des angles différents.

Ces clichés sont analysés à l'aide d'un mono compacteur (digitaliseur ou scanner selon la précision requise).

Le principe de fonctionnement s'apparente donc au relevé de points par intersections spatiales à l'aide d'un théodolite, chaque station effectuée au théodolite étant remplacée par une photographie.

Il existe toutefois une différence importante entre ces deux méthodes : le travail au théodolite nécessite la détermination précise des coordonnées de chaque station, alors que le logiciel Rollei calcule lui-même les coordonnées des prises de vues.

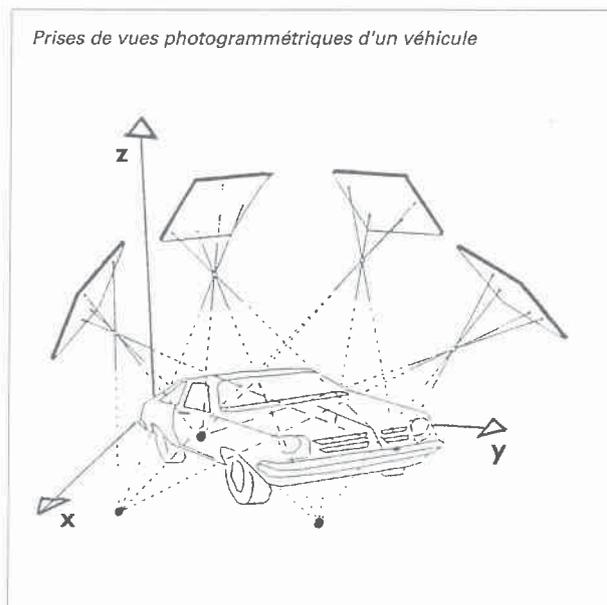
Cette technique photogramétrique permet une intervention très rapide sur le terrain, à l'aide de nacelle élévatrice, d'hélicoptère, voir de modèles réduits télécommandés porteur de l'équipement de prises de vues, conditions évidemment impropres à l'utilisation d'un théodolite.

LES OPÉRATIONS SUR LE TERRAIN

Les prises de vues sont réalisées avec des appareils photographiques de la gamme ROLLEI, spécialement adaptés à cet usage.

Les boîtiers sont équipés d'une grille réseau, plaque de verre sur laquelle sont gravées avec une extrême précision des croix dont l'image apparaîtra sur les cli-

Prises de vues photogramétriques d'un véhicule



chés. Les coordonnées X-Y de chaque croix de cette matrice réseau sont mesurées, à la précision de $0,1 \mu\text{m}$ lors de la fabrication, font parties du protocole propre à chaque chambre et sont entrées comme paramètres dans le logiciel d'exploitation.

La digitalisation ou la scannerisation de ces croix permettra de compenser les défauts de planéité du film dans la chambre photographique, ainsi que les aberrations introduites par le processus d'agrandissement des clichés.

Chaque couple boîtier-objectif est calibré en usine pour une mise au point à l'hyper focale. La bague de distance des objectifs est crantée et le certificat d'étalonnage fourni par le constructeur indique les corrections à apporter à la calibration pour chaque cran de la bague de distance.

Il est possible d'utiliser plusieurs caméras sur un même chantier, pour une meilleure adaptation au travail à effectuer : prise de vue de l'ensemble du sujet au grand angle, puis utilisation de l'objectif normal ou d'un téléobjectif pour lever des détails. Lors de l'exploitation des clichés, il conviendra d'indiquer au logiciel le couple objectif-boîtier utilisé pour chaque photographie, afin d'y associer les calibrations correspondantes.

Dans l'absolu, une seule mesure de distance sur l'objet suffit pour une mise à l'échelle parfaite. Dans ce cas, un référentiel arbitraire est déterminé par 6 coordonnées : par exemple un X, deux Y, et trois Z sont nécessaires et suffisants pour définir un système de trois axes. Cependant, dans la pratique le lever de quelques points en X, Y, Z sur l'objet permet à la fois la mise à l'échelle et le calage dans un référentiel connu, ainsi qu'un contrôle des résultats des calculs.

Les appareils de prise de vues étant des petits ou moyens formats, on n'hésitera pas à utiliser tous les moyens techniques dont on dispose pour optimiser la géométrie des intersections entre les directions des clichés. A la convergence horizontale, on associera chaque fois que possible une convergence verticale en prenant des clichés à partir d'un engin de levage.

L'ANALYSE DES CLICHÉS

Le traitement des clichés s'effectue en trois phases:

1° Acquisition des valeurs approchées de l'orientation

Des valeurs approchées des orientations extérieures sont introduites par digitalisation d'un croquis manuel.

2° Calcul d'orientation

Dans cette phase, il s'agit de déterminer le plus précisément possible les valeurs d'orientation de chaque cliché (coordonnées de prise de vue, direction, inclinaison de l'axe optique, et déversement latéral).

Après positionnement des clichés sur le mono comparateur, un certain nombre de croix de réseau sont relevées dans chaque photo.

Un calcul de transformation projective permet de déterminer les déformations du cliché par rapport à la grille réseau, et donc les corrections à appliquer aux

mesures effectuées sur ce cliché.

Des points homologues sont relevés sur chaque cliché.

Deux clichés dont la convergence est proche de la perpendiculaire sont utilisés pour calculer un "modèle" qui est ensuite adapté au référentiel terrain par rotations dans les trois axes et translations.

Pendant cette opération, tous les points homologues visibles dans ces deux clichés sont calculés en X, Y, et Z. Chaque photographie contenant au moins trois points déjà calculés peut alors être orientée à son tour.

3° Ajustement de faisceau

Une compensation en bloc de tout le système, avec pondération des différentes observations intervient alors.

Un rapport très détaillé, comportant de nombreux tests de cohérence permet de juger de la qualité de la compensation, et de détecter les erreurs.

On peut alors visualiser ou tracer les ellipses d'indétermination des points observés dans différents plans.

LA RESTITUTION

Les valeurs d'orientation des photographies étant connues, tout point relevé dans deux clichés au moins peut être calculé et enregistré.

Cependant, pour obtenir un contrôle correct des intersections, on s'attachera à relever les points sur trois clichés au moins.

Pendant cette phase, toute mesure est immédiatement calculée et affichée graphiquement à l'écran.

De puissantes fonctions graphiques permettent d'effectuer tous les Zooms, rotations, et changements de point de vue nécessaires pour un suivi graphique confortable de la restitution.

Le relevé des polygones s'effectue en digitalisant des points homologues en série, même si tous les points ne sont pas visibles dans tous les clichés.

Pour des objets plans, on peut travailler sur une seule photo après avoir défini le plan sur lequel on restitue, soit en donnant les numéros des points soit en les montrant à l'écran.

Le plan de restitution peut être défini par plus de trois points. Dans ce cas, le logiciel ajuste un plan dans le nuage de points de définition.

L'utilisateur peut se définir une tolérance de restitution. Pour toute mesure sortant de la tolérance, le système émet une alarme, affiche la valeur de l'indétermination et laisse à l'opérateur la décision d'accepter la mesure ou non.

Les résultats de la restitution sont stockés dans des fichiers ASCII de structure très simple. Une interface DXF est livrée avec le logiciel. Elle gère la notion de couche et permet un transfert en 2D ou en 3D dans la plupart des logiciels de DAO.

PRÉCISION

La précision du système dépend de plusieurs facteurs étroitement liés :

- Le nombre de clichés et la géométrie des prises de vues.
- Le format du boîtier et l'objectif utilisé.
- La précision des mesures de mise à l'échelle.
- Le facteur d'agrandissement des photographies.
- La précision du monocomparateur utilisé.
- L'utilisation ou non de la compensation en bloc.
- La qualité de l'opérateur.

ROLLEIMETRIC MR2

Avantages de la photogrammétrie multi-images

Comme procédé de mesure indirecte en deux étapes, dissociation temporelle des prises de vues et du traitement.

RolleiMetric MR2 comporte notamment les avantages suivants :

- Temps d'intervention très court sur le terrain.
- Mesure sans contact.
- Grande densité d'informations.

- Difficulté ou impossibilité d'accéder au sujet.
- Environnement hostile (vibrations, chaleur, etc).
- Grande précision recherchée (jusqu'à 1/100.000).
- Mesures effectuées non pas sur l'objet mais sur l'image autorisant ainsi à tout moment des mesures complémentaires : "La mémoire de l'existant"

De la photo jusqu'à la réalisation du plan à l'échelle, l'apport des technologies modernes contribue à l'exécution précise des mesures.

RolleiMetric est employé entre autres pour :

- Levés architecturaux en 2D et 3D.
- Relevés archéologiques.
- Levés aériens à petite échelle (urbanisme, carrières, etc).
- Métrologie de haute précision (Aérospatiale, etc..).
- Mesure de déformations et contrôles de fabrication.
- Techniques médicales.
- Constats d'accidents, (routiers, ferroviaires, aériens, etc).
- Etat des lieux, (en cours d'ouvrages, après sinistre, etc).
- Technologie criminelle, balistique, etc.

