

**METHODE PHOTOGRAMMETRIQUE DE CORRECTION DE
TRAJECTOIRE D'UN SYSTEME DE CARTOGRAPHIE MOBILE
AU SEIN DE LA SOCIETE ECARTIP**

Société d'accueil : *Ecartip (Miribel)*
PFE présenté par : **Mathieu Petitjean**
Directeur du PFE : *Stéphane Schaumburg*
Correcteurs : *Pierre Grussenmeyer*
Emmanuel Alby



1. Présentation du sujet et motivations de l'entreprise

Durant les vingt dernières années, les demandes de données géospaciales ont considérablement augmenté. Ceci s'explique par les progrès techniques qui permettent d'acquérir des données toujours plus denses et précises et de façon rapide. Les systèmes de cartographie mobile (Mobile Mapping Systems – MMS, en anglais) se développent ainsi fortement depuis les années 90. Ils représentent une avancée qui permet en particulier de réaliser de longs relevés routiers géoréférencés, rapidement, sans interférer la circulation et sans avoir recours à des interventions topographiques préalables.

La cartographie mobile peut être réalisée depuis des satellites, des avions, des hélicoptères, des drones, des bateaux ou depuis des véhicules terrestres (voiture, moto, chariot). Pour ce PFE, nous nous intéresserons à un système embarqué à bord d'une voiture, mais la méthode sera applicable à tout type de système.

Ce Projet de Fin d'Etudes, intitulé « Méthode photogrammétrique de correction de trajectoire d'un système de cartographie mobile », a été réalisé au sein du siège social de la société Ecartip, situé à Miribel (01), ville voisine de Lyon (69). Ecartip est une société œuvrant aussi bien pour des missions d'études de grands travaux, que pour de la topographie plus traditionnelle. Après plusieurs missions de scan statique d'infrastructures linéaires, la société Ecartip a décidé d'investir dans un système de cartographie mobile terrestre, plus adapté à ce genre d'opérations.

Cependant, Ecartip ne souhaite pas acquérir un système commercial, mais développer et assembler son propre système. Pour Ecartip, les avantages de ne pas utiliser un système clé en main sont de pouvoir intégrer au système des capteurs plus performants, plus diversifiés et modulables (composants adaptés selon les besoins des différentes missions), en comparaison à un système commercial, mieux maîtriser le système, et pouvoir mettre en œuvre une méthode permettant d'atteindre une meilleure précision de positionnement que celle des systèmes commerciaux ; l'objectif est d'obtenir une précision absolue des points de passage du système de l'ordre de 5 à 2 centimètres.

Les composants d'un système de cartographie mobile peuvent se diviser en deux types majeurs : les capteurs de navigation (GPS, centrale inertielle, etc.) et les capteurs de cartographie (appareils photographiques numériques, scanners laser, etc.). Au cours de mesures réalisées avec un système de cartographie mobile, la qualité de la réception des signaux GPS est variable. De ce fait, en milieu urbain, la qualité de positionnement du système calculée par les composants de navigation du système mobile n'est pas toujours satisfaisante. L'objectif de la société est alors d'imaginer une méthode permettant de faire face à ce problème, et de remplacer la trajectoire calculée par les données GPS en cas de mauvaises conditions de réception des signaux GPS, par une nouvelle trajectoire de meilleure qualité. Ainsi, en recalculant une trajectoire avec une meilleure précision, on peut par la suite recalculer tout type de mesures réalisées depuis la plateforme du système mobile.

Pour faire face à ce problème de mauvaise qualité de positionnement du système, une méthode photogrammétrique a alors été choisie. Le principe photogrammétrique de base est d'utiliser des points de contrôle, mesurés avec un tachéomètre après le passage du véhicule, et visibles sur les photographies prises par le système mobile. Ceci permettra alors de calculer par photogrammétrie de nouvelles positions de l'appareil photographique au cours du trajet et de recalculer la trajectoire de l'ensemble du système en réalisant des interpolations entre ces nouvelles positions calculées.

2. Paramètres influençant le calcul photogrammétrique de la position de l'appareil photographique

Le principe photogrammétrique mis en place au cours de ce PFE, est d'utiliser des points de contrôle mesurés par un tachéomètre après le passage du véhicule, visibles sur les photographies prises par le système, aux endroits où une correction de trajectoire semble utile (perte de signal GPS). Il a alors été intéressant de réaliser des tests afin de pouvoir constater l'influence de la répartition de ces points de contrôle sur une photographie, de la distance de l'appareil photographique aux points de contrôle, et des dimensions de la photographie, sur le calcul de la position de l'appareil photographique. Le logiciel utilisé est PhotoModeler Scanner, logiciel de calcul photogrammétrique.

L'appareil photographique utilisé pour ce PFE est un « Canon EOS 5D Mark ii », monté d'un objectif « Canon Lens EF 24 mm 1 :2.8 ». La méthode photogrammétrique proposée par ce PFE sera appliquée en milieu urbain, il a donc fallu envisager plusieurs situations ayant une influence sur la distance de l'appareil photographique à la façade photographiée. En effet, on pourra par exemple imaginer que le système mobile monté de l'appareil photographique roule sur la voie de gauche, ou de droite, qu'il n'y a pas de trottoir ou pas de piste cyclable, etc. De nombreuses situations sont envisageables, et les distances entre l'appareil photographique et la façade retenues pour les tests statiques sont : 3, 6, 10 et 15 mètres. Il a également fallu penser au fait que les façades photographiées ne sont pas toujours parallèles à l'appareil photographique. Pour ces prises de vue, la distance entre l'appareil photographique et le point au centre du cliché a été fixée à 6 mètres, distance jugée comme la distance moyenne entre l'appareil photographique et une façade en milieu urbain dense. Ainsi les tests ont été réalisés, pour sept positions de la caméra, comme le montre la figure 1.

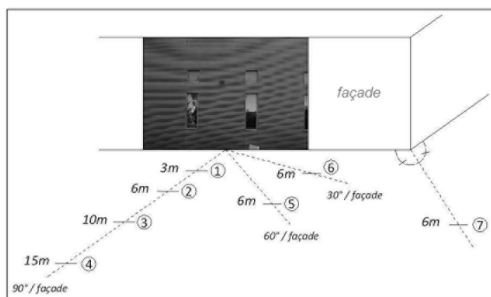


Figure 1 : Positions de l'appareil photographique pour les calculs des tests statiques

Pour chacune des sept positions de l'appareil photographique, et pour chaque format de photographie (21, 5, 2 millions de pixels) les calculs ont été réalisés pour 4, 6, 10, et 20 points de contrôle répartis sur la photographie de façon homogène, uniquement sur la partie supérieure de la façade, uniquement sur une partie latérale de la façade, et uniquement dans un coin supérieur de la façade. Ces différentes répartitions permettent de simuler différentes situations qui seront rencontrées lors des mesures en milieu urbain, où les masques, les configurations des bâtiments, ne permettront pas toujours d'avoir une répartition homogène des points de contrôle sur les photographies.

Pour chaque calcul photogrammétrique, afin d'analyser la précision des calculs, un delta entre les coordonnées X, Y, et Z (différence entre les coordonnées théoriques mesurées au tachéomètre et les coordonnées calculées de l'appareil photographique) a été calculée, puis un delta « XYZ » a été déterminé en faisant la racine carrée de la somme des trois deltas évoqués précédemment élevés au carré.

De l'ensemble de ces tests, on retiendra que l'objectif d'atteindre une précision inférieure à 5 centimètres pour le calcul de la position de l'appareil photographique est réalisable, à partir de huit points de contrôle, répartis de façon homogène sur la photographie. En effet, même si six peuvent suffire à avoir de bons résultats, il sera préférable d'en avoir plus pour consolider le calcul et en cas d'erreur de mesure. D'autre part, il ne sert à rien d'en avoir trop car les résultats obtenus convergent ; jusqu'à douze cela peut suffire. Pour un nombre de points inférieur (4 étant le minimum), et/ou pour de moins bonnes répartitions de ces derniers sur les photographies, il est possible que la précision dépasse ces 5 centimètres, particulièrement lorsque tous les points sont regroupés en un même

endroit sur la photographie. Les mesures des points de contrôle se faisant après le passage du système de cartographie mobile, il sera très important de se rendre sur le terrain avec les photographies sur lesquelles s'appuieront les calculs afin de s'assurer que les points qui seront mesurés au tachéomètre y figureront, et y seront disposés le plus possible de façon homogène.

3. Calcul d'interpolation d'une trajectoire

Après avoir démontré qu'il est possible de calculer la position de l'appareil photographique avec une précision inférieure à 5 centimètres, il s'agit d'exploiter ces résultats. L'objectif de ce PFE est de calculer une trajectoire en réalisant des interpolations entre les différentes positions du système calculées par photogrammétrie.

Deux types d'interpolations ont été abordés au cours de ce PFE : l'interpolation des coordonnées et l'interpolation des heures de passage du système. En effet, pour l'étude, chaque point est qualifié par ses coordonnées et l'heure à laquelle le système mobile est passé en ce point.

- Pour l'interpolation des coordonnées, un programme Matlab a été mis en place, permettant de réaliser des interpolations par splines cubiques entre chaque point connu (calculé au préalable par photogrammétrie). Une spline cubique est composée de segments de polynômes du troisième degré dont les dérivées premières et deuxièmes sont continues aux points de jonction, ce qui constitue les conditions de raccordement entre les différents segments. Le programme permet de calculer un nombre de points interpolés fixé avant le calcul entre chaque point d'appui. Cependant, la fonction programmée permet également de réaliser un échantillonnage des points créés par interpolation afin de définir une distance fixe entre deux points créés.
- Lors du calcul d'interpolation des coordonnées, l'heure de passage du système mobile en chacun des points n'est pas prise en considération. Ainsi, une autre fonction a été développée permettant de calculer cette dernière. Pour ce faire, la vitesse entre chaque point interpolé est calculée par interpolation linéaire entre les vitesses acquises par la centrale inertielle aux différents points d'appui, puis l'heure de passage est calculée de proche en proche en fonction de l'évolution des vitesses calculées. Cette méthode de calcul ne pourra pas tenir compte d'un arrêt du véhicule, ou d'un changement de vitesse significatif entre deux points d'appui. Ceci constitue alors une première limite importante de la méthode de calcul mise en place.

4. Test des fonctions éditées avec des données réelles

La précision du calcul photogrammétrique de la position de l'appareil photographique étant déterminée et les fonctions d'interpolation programmées, il a été intéressant de tester la méthode avec des données réelles.

Ne disposant pas d'un système de cartographie mobile au cours de mon projet de fin d'études pour réaliser des tests, j'ai tout de même pu me procurer une trajectoire mesurée sur autoroute par un système existant. Je me suis intéressé à une portion longue de 4 kilomètres de cette trajectoire, pour tester la fonction d'interpolation de coordonnées entre des points distants de 10, 20 et 50 mètres. Les résultats obtenus sont satisfaisants pour des points d'appui distants d'un maximum de 20 mètres (écart planimétrique et altimétrique moyen de l'ordre du centimètre avec des maximums inférieurs à 7 centimètres, pour un espacement de 20 mètres). Cependant, il ne faut pas oublier que la trajectoire étudiée provient d'un levé réalisé sur autoroute, où les courbes ont un rayon de courbure très important comparé à un milieu plus urbain. Ainsi si des courbes serrées se présentent sur la trajectoire, il faudra diminuer l'intervalle entre les points d'appui utilisés pour le calcul d'interpolation. D'autre part, on conclut de façon plutôt intuitive, que si le véhicule roule sur un dos d'âne, ou contourne un obstacle (cycliste, bouche d'égout, etc.), et que les points d'appui précèdent et suivent ces obstacles, l'interpolation des coordonnées ne pourra pas en tenir compte. Ceci constitue une nouvelle limite importante du calcul d'interpolation.

Afin de tester la méthode photogrammétrique mise en place au cours de ce PFE, j'ai développé un chariot prototype équipé d'une antenne GPS et d'un appareil photographique. Les tests couvrent une distance d'environ 160 mètres, et les calculs photogrammétriques ont été effectués pour dix positions

de l'appareil photographique. Ces positions sont espacées de 20 à 30 mètres en ligne droite et d'environ 10 mètres en courbe. Pour chacune de ces positions, la position de l'appareil photographique a été calculée avec des points de contrôle et mesurée au tachéomètre, et ces deux valeurs ont été comparées (ΔXYZ) comme le montre le tableau 1, qui confirme le fait qu'il est possible d'atteindre une précision de positionnement par photogrammétrie inférieure à 5 centimètres.

Position	Distance moyenne de l'appareil à la façade (m)	Répartition des points de contrôle sur la photographie	ΔXYZ (m)
1	30	Homogène	0.017
2	30	Homogène	0.024
3	8	Côté	0.022
4	7	coin supérieur	0.019
5	6	partie supérieure	0.028
6	12	Côté	0.036
7	14	Homogène	0.029
8	12	Homogène	0.009
9	12	partie supérieure	0.028
10	12	Homogène	0.021

Tableau 1 : ΔXYZ ; écart entre la position calculée et la position mesurée de l'appareil photographique, distance moyenne de l'appareil à la façade et répartition des points de contrôle sur la photographie pour les dix positions de l'appareil photographique lors des tests dynamiques

Même si lors de ces tests dynamiques, les calculs photogrammétriques sont de qualité, il n'en est pas de même pour les calculs d'interpolation de trajectoire. La trajectoire enregistrée par l'antenne GPS du prototype est considérée comme juste car les conditions de réception GPS étaient bonnes, et lorsqu'on la compare à la trajectoire interpolée, les résultats ne sont pas satisfaisants ; les écarts planimétriques entre les deux courbes sont en moyenne de 17 centimètres, et la moyenne des écarts altimétriques est de 9 centimètres. Ceci peut s'expliquer par plusieurs raisons : le prototype est un chariot avec lequel il est difficile de suivre une trajectoire uniforme, de ce fait l'interpolation ne sera pas nécessairement fidèle au parcours de ce dernier, le terrain sur lequel ont été réalisés les tests était plutôt bosselé, ce qui ne peut pas être retranscrit par l'interpolation, et les mesures GPS enregistrées lors du déplacement du chariot, ne sont pas toutes de même qualité et elles ne sont pas traitées par le filtre de Kalman, comme cela peut être le cas à bord de réels systèmes de cartographie mobile (les erreurs de mesure ne sont pas corrigées et les points ne forment pas une trajectoire uniforme).

Les résultats de ce test avec le prototype ne sont pas satisfaisants mais ils permettent de se rendre compte de certaines limites de la méthode.

5. Conclusions et perspectives

La méthode photogrammétrique de correction de trajectoire d'un système de cartographie mobile développée au cours de ce PFE, présente des avantages et des limites. Tout d'abord il est important de souligner la qualité des calculs photogrammétriques qui permet d'obtenir une position du système d'une précision inférieure à 5 centimètres (objectif initial). Cependant, les calculs d'interpolation de coordonnées entre les différents points de passage ne peuvent pas tenir compte du passage du véhicule porteur du système sur un dos d'âne, ou de son contournement d'un obstacle (cycliste, bouche d'égout, etc.). D'autre part, la fonction d'interpolation de l'heure de passage du véhicule aux points interpolés n'a pas pu être testée faute de données exploitables, mais on retiendra que l'interpolation du temps de passage ne peut se faire qu'avec une vitesse qui varie de façon linéaire, c'est-à-dire que si le véhicule ralentit puis accélère plusieurs fois entre deux points d'appui utilisés pour l'interpolation, ces variations de vitesse ne pourront pas être prises en compte lors du calcul d'interpolation.

La méthode mise en place ne pourra alors pas être appliquée dans sa totalité, mais il sera possible d'y apporter des modifications pour aboutir à des résultats satisfaisants, comme par exemple le calcul automatique de la position de plusieurs photographies successives, à partir de l'orientation de la première photographie de la série de photographies à calculer : les problèmes d'interpolations de coordonnées et d'heure de passage seront alors résolus.