

SYSTEME TEMPS REEL DE LEVER PRECIS DE LA GEOMETRIE DES AXES ROUTIERS

Hervé Gontran, Pierre-Yves Gilliéron, Bertrand Merminod
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)
Laboratoire de Topométrie (TOPO)
Station 18, 1015 Lausanne, Suisse
Web : <http://topo.epfl.ch>

Résumé

Le développement de la télématique des transports routiers réclame des données géographiques de premier ordre. Les systèmes de mobile mapping peuvent acquérir ces informations en offrant une productivité incomparable grâce à la combinaison de capteurs de localisation et de vidéogrammétrie. Le laboratoire de Topométrie de l'EPFL a développé le système Photobus qui permet de lever la géométrie des axes routiers avec une très haute qualité. Cet article présente l'architecture et les composants principaux de cette plateforme de mobile mapping : un instrument de localisation de grande précision basé sur la localisation par satellites et un système de caméra numérique basé sur la technologie CMOS. L'article présente quelques résultats issus d'une campagne de mesures, dont la précision planimétrique est de l'ordre de 10 cm.

1 Contexte

En Europe, les applications de la télématique des transports routiers prennent de plus en plus d'importance dans les domaines de la gestion du trafic, du paiement électronique, de la gestion de fret et de flottes et de l'aide au conducteur et contrôle du véhicule (ISO/TR 14813-1, 1999). Le déploiement de ces services télématiques s'appuie sur des technologies de la navigation, des télécommunications et de l'information géographique, dont l'intégration doit offrir une très haute qualité de service suivant le type d'application.

Une assistance à la conduite fiable exige la combinaison de techniques de localisation précises et de bases de données routières exhaustives. L'information géographique y joue un rôle primordial, et le succès de l'introduction des ADAS sera intimement lié à la qualité des données collectées. Dans ce contexte, la géométrie routière est un des éléments fondamentaux, qui doit être restitué avec précision et fiabilité.

La qualité de la géométrie routière est composée de la topologie, de la précision planimétrique et altimétrique de l'axe et de la fréquence de mise à jour des données. La combinaison de ces trois facteurs garantit l'intégrité des données géométriques pour des applications exigeantes. Ainsi, le laboratoire de Topométrie de l'EPFL a développé un système de mobile mapping, appelé Photobus, pour l'acquisition rapide de géométries routières avec une précision décimétrique et un contrôle qualité en temps réel.

2 Systèmes de mobile mapping

La dernière décennie connut un progrès substantiel dans le couplage des mesures issues de la localisation satellitaire (GPS, Global Positioning System) et de la navigation inertielle (INS, Inertial Navigation System), suivi de la commercialisation de caméras numériques abordables et offrant des images satisfaisantes. Cela permet l'acquisition d'une partie significative des données routières à l'aide de véhicules équipés de capteurs de navigation et de vidéogrammétrie (Ellum et El-Sheimy, 2002) : les systèmes de mobile mapping terrestre émergent.

Afin d'assurer un contrôle qualité directement dans le terrain, l'information capturée par un système de mobile mapping doit être traitée en temps réel. Une telle approche peut réduire l'intervention humaine à la conduite de la plateforme de collecte de données routières. Le laboratoire de Topométrie de l'EPFL se concentre sur cette problématique à travers l'extraction de la géométrie routière à partir du marquage routier, via le projet Photobus (Gontran et al., 2004). Notre système se distingue de ses prédécesseurs par une aptitude à géoréférencer la ligne centrale de route par le biais d'une caméra logarithmique CMOS presque nadirale (Figure 1).

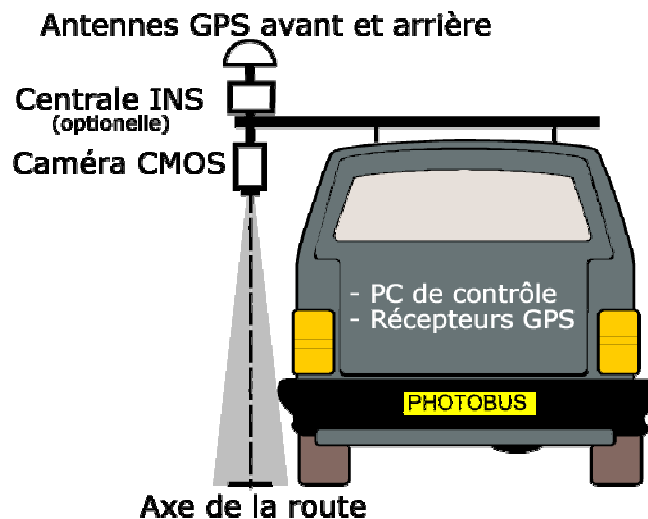


Figure 1 : Architecture du système Photobus

3 Cartographie mobile en temps réel

3.1 Traitement d'image en temps réel

Traditionnellement, les systèmes de mobile mapping terrestres embarquent une caméra à transfert de charges (CCD) en tant que capteur vidéo. Or la technologie CCD repose sur un processus susceptible d'engendrer une fuite d'électrons vers les pixels adjacents en cas de surexposition à la lumière, d'où des phénomènes d'éblouissement ou de marbrures (Gontran, 2006), comme illustré sur la figure 2. Ces altérations d'image leurrent les algorithmes de détection automatique de la ligne centrale de route. Par exemple, l'utilisation de technologies de filtrage de bas niveau telles la binarisation rejette les pixels sous-exposés des zones ombragées ou promeut ceux sursaturés sous un soleil direct.

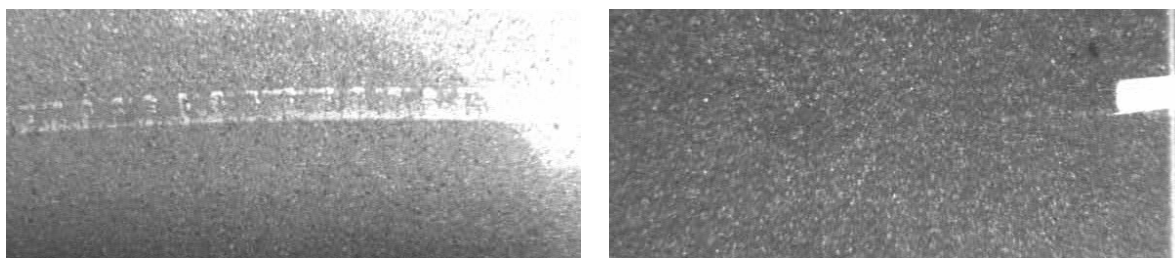


Figure 2. Eblouissement (gauche) et marbrures (droite) sur des images issues d'un capteur CCD conventionnel

Nous avons donc équipé notre plateforme de mobile mapping d'un capteur CMOS Etherecam qui, de par sa réponse logarithmique à l'illumination, autorise la reproduction de scènes d'extérieur quasiment sans imperfections. La saisie de scènes via un tel capteur de vision simplifie la méthodologie d'extraction des coordonnées pixellaires de la ligne centrale de route. Une fois la caméra calibrée à l'aide de l'algorithme de Tsai (1987), lequel autorise une détermination précise et rapide des orientations interne et externe du capteur de vision, une binarisation à seuil statique et une analyse de nuée basée sur la taille des taches présentes dans chaque image, suffit à extraire les centres de gravité des marques peintes avec une erreur de l'ordre du cm.

3.2 Trajectographie en temps réel

Depuis une décennie, la méthodologie GPS-RTK (Global Positioning System en mode Real-Time Kinematic) est largement acceptée dans les domaines du génie civil et de la topométrie. Il s'agit d'une extension du concept de localisation par satellites relative, basée sur l'exploitation interférométrique de mesures précises de phase en temps réel. La précision atteint un niveau centimétrique

- si les messages de la station GPS de base sont véhiculés de manière fiable et rapide aux récepteurs GPS itinérants qui exploitent les corrections
- si les ambiguïtés entières si correctement résolues (Hofmann-Wellenhof et al., 2001).

En dehors de zones de faible visibilité satellitaire tels les canyons urbains, une trajectographie précise et automatique de la plateforme de mobile mapping peut passer par l'exploitation de corrections différentielles GPS phase à haut débit, forçant les récepteurs itinérants à calculer leur position à 5 Hz ou plus. La bande passante généreuse de l'Internet sans fil nous apparaît comme une solution de choix, en vue d'une diffusion de messages GPS dans les zones couvertes par les opérateurs GSM.

Nous avons conçu un serveur relais, externe à l'intranet de l'opérateur téléphonique, qui véhicule des corrections RTK. Cette approche offre :

- une indépendance vis-à-vis du fournisseur de services téléphoniques,
- la multidiffusion des corrections de la référence vers des groupes de récepteurs itinérants,
- le développement de logiciel d'extension directement du côté serveur.

3.3 Géoréférencement en temps réel

Une fois le calibrage de Tsai accompli, les transformations entre les repères image et caméra, ainsi qu'entre les repères terrain et caméra sont connus. Ainsi, si nous définissons un cadre véhicule comme représenté sur la figure 3 nous pouvons calculer la transformation entre les

repères caméra et véhicule. Par conséquent, les coordonnées pixel peuvent être liées aux coordonnées véhicule, et cette relation demeure stable si la structure supportant les capteurs est rigide. D'autre part, la transformation entre les repères véhicule et terrain change lorsque la plateforme mobile se déplace. Les paramètres de cette transformation sont fournis par un récepteur GPS-RTK bi-antenne lors de nos expériences impliquant l'extraction en temps réel de l'axe de la route. Il en résulte que les éléments de translation découlent de la position de l'antenne GPS arrière, tandis que la rotation ne tient compte que de l'azimut et du tangage. Nous planifions une intégration GPS/INS en temps réel pour offrir une orientation complète de la caméra, et pour rendre possible l'utilisation de la plateforme de mobile mapping sous faible visibilité satellitaire.

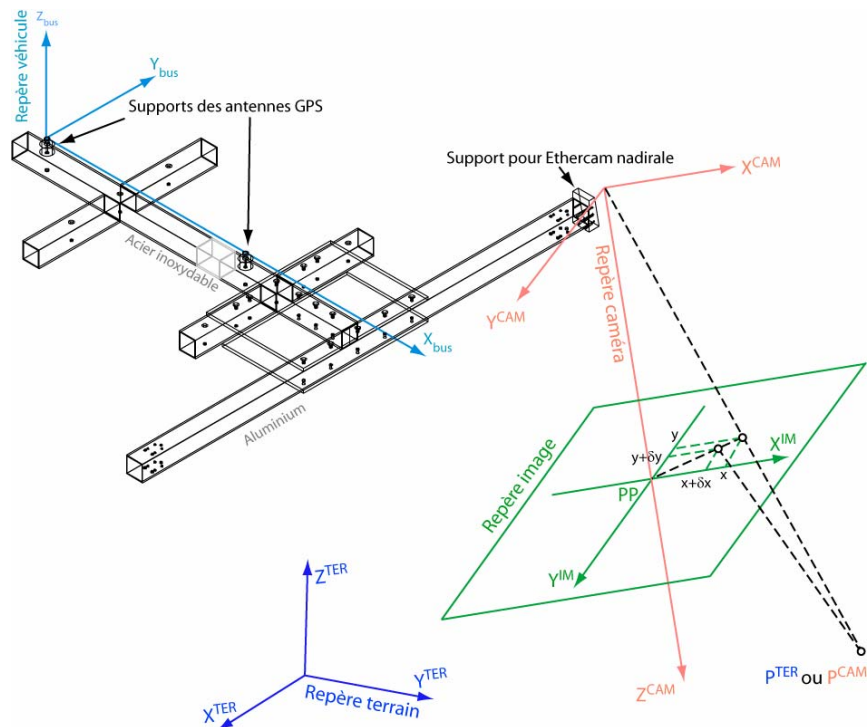


Figure 3 : Relations entre les différents repères

Nos tests impliquant les algorithmes en temps réel ne révèlent aucune dégradation de qualité par comparaison avec la méthodologie de géoréférencement par post-traitement, dont les résultats sont consultables dans Gilliéron et al., 2005.

3.4 Validation

A l'issue du traitement de chaque image, le système de mobile mapping délivre les coordonnées d'un point supposé appartenir à l'axe de la route. Afin de valider les points candidats, nous relierons les points levés à l'aide d'une spline cubique, décrivant de manière continue les coordonnées Est, Nord et Hauteur de l'axe calculé de la route (cf Equation 1). Atkinson (2002) montre que les splines cubiques minimisent, parmi toutes les fonctions interpolatrices, l'accélération du véhicule sur la courbe obtenue. Les observations aberrantes sont éliminées lors de l'étude de l'homogénéité des profils de vitesse et d'accélération obtenus par dérivations successives de la spline.

$$c(t) = \bigcup_{i=1}^n \{E_i(t), N_i(t), H_i(t)\} = \bigcup_{i=1}^n \{a_i t^3 + b_i t^2 + c_i t + d_i, e_i t^3 + f_i t^2 + g_i t + h_i, j_i t^3 + k_i t^2 + l_i t + m_i\} \quad (1)$$

Où t est le temps GPS,

a_i, b_i, c_i, d_i sont les i -èmes coefficients des splines cubiques dans la direction Est.

Similairement, e_i, f_i, g_i, h_i et j_i, k_i, l_i, m_i sont les i -èmes coefficients respectifs des directions Nord et verticale.

n est le nombre de points d'ajustement.

4 Test d'acquisition d'une géométrie routière

Le système Photobus a été utilisé à plusieurs occasions en Suisse afin d'évaluer sa performance dans des régions topographiques différentes (zone urbaine, rurale, région de montagne, forêt). Dans cet article, nous présentons les résultats d'un essai qui a été réalisé dans le Canton de Vaud en zone rurale avec des caractéristiques topographiques variables (traversées de villages, présence de falaises, forêt, déclivité importante,...).

Lors de cet essai, le système Photobus a parcouru un segment de route d'environ 40 km en enregistrant des images numériques géolocalisées avec une fréquence de 5 Hz. On dispose ainsi d'une information continue sur la géométrie de l'axe de route avec une indication de la précision à chaque instant.

La plupart des portions de routes ont été déterminées plusieurs fois sous des conditions GPS différentes, ce qui a permis une comparaison de trajectoires indépendantes. Ce procédé, appliqué dans le cadre de ce test, est un bon estimateur de la qualité de la localisation de la ligne centrale. De plus quelques points de l'axe ont été déterminés avec grande précision (2 à 3 cm) par des méthodes classiques (GPS RTK) et ont servi de points de contrôle. On peut déterminer ainsi l'exactitude de la localisation par comparaison des mesures Photobus à des coordonnées de référence.

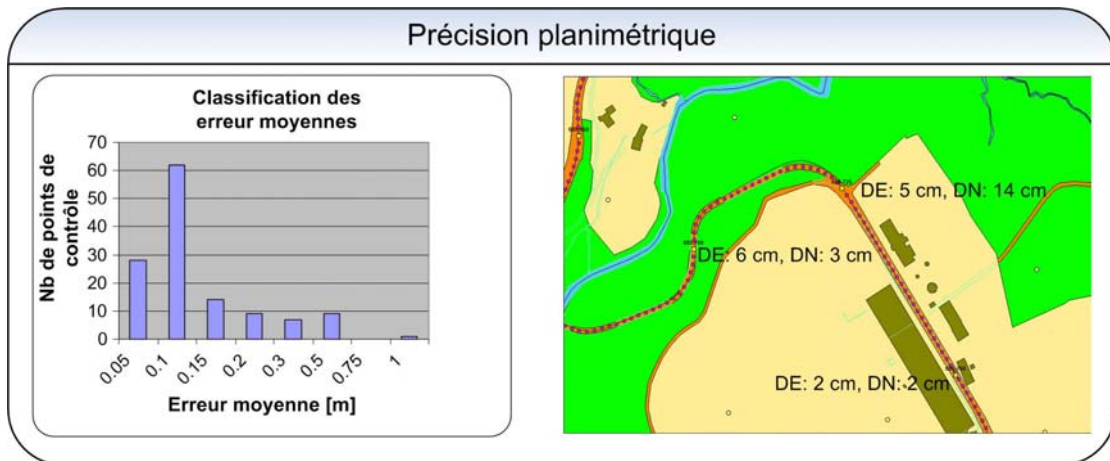


Figure 4 : Analyse de la précision planimétrique de l'axe de route Orbe-Moudon

La figure 4 (gauche) présente les erreurs moyennes quadratiques de localisation le long du trajet Orbe-Moudon. La plupart des valeurs sont inférieures à 50 cm. La figure 4 (droite) présente les différences (DE, DN) des coordonnées planimétriques entre des points de contrôle bien identifiables sur la route et des points homologues levés par le Photobus.

5 Conclusion

Les bases de données routières sont au cœur des nouvelles applications de la télématique des transports routiers et la géométrie des axes joue un rôle prépondérant dans de nombreux services, en particulier dans le domaine de l'assistance à la conduite. La qualité de la géométrie est un aspect fondamental qui doit être maîtrisé de la source de l'information géographique à son exploitation finale.

A l'avenir, le recours à ce type de géodonnées dans des applications exigeantes passera certainement par une étape de certification. La garantie de cette qualité et de l'actualité des données nécessitera le développement d'instruments de collecte de l'information géographique en temps réel comme le Photobus. La mise en œuvre de cette plateforme et les résultats des tests de lever routier se sont révélés très prometteurs et ont permis la réalisation d'essais de quelques applications ADAS comme l'alerte et le contrôle du véhicule dans les courbes.

Ces techniques de la géomatique offrent une perspective intéressante pour l'amélioration de la qualité des géodonnées. Toutefois, le chemin est encore long et complexe pour aboutir à une véritable certification des géodonnées qui devra impliquer partenaires privés et autorités publics.

6 Bibliographie

ISO/TR 14813-1 :1999 : Système de commande et d'information des transports – Architecture(s) de modèle de référence pour le secteur TICS, Partie 1 : Services fondamentaux TICS.

Atkinson, K., 2002 Modelling a road using spline interpolation. *Reports of Computational Mathematics #145, Department of Mathematics, the University of Iowa, Iowa City, USA.*

Ellum, C., et El-Sheimy, N., 2002. Land-based Integrated Systems for Mapping and GIS Applications. *Survey Review*, 36 (283), pp. 323–339.

Gilliéron, P.-Y., Gontran, H., Frank, J., 2005. High Quality Road Mapping for In-vehicle Navigation Safety. *Proceedings of the European Navigation Conference GNSS 2005, Munich, Germany, 19-22 July.*

Gontran, H., Skaloud, J., Gilliéron, P.-Y., 2004. Photobus :Towards Real-Time Mapping. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Istanbul, Turquie, Vol. 35, partie B*

Gontran, H., 2006. Mobile mapping en quasi temps réel pour la saisie automatique de données routières. *Thèse de doctorat à l'EPFL, in prep.*

Tsai, R. Y., 1987. A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-shelf TV Cameras and Lenses. *The IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No 4, pp. 323–344.

7 Glossaire

ADAS Advanced Driver Assistance Systems

CCD Charge-Coupled Device

CMOS Complementary Metal Oxide Semi-conductor

GPS Global Positioning System

INS Inertial Navigation System

RTK Real Time Kinematic