

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 104 (2006)

Heft: 3

Artikel: Géométrie routière précise pour l'assistance à la conduite

Autor: Gilliéron, Pierre-Yves / Gontran, Hervé / Merminod, Bertrand

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236316>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Géométrie routière précise pour l'assistance à la conduite

Les autorités publiques et l'industrie automobile sont impliquées dans l'amélioration des conditions de sécurité routière. Outre les mesures liées à l'infrastructure routière ou à la construction des voitures, les développements technologiques de la navigation et des télécommunications trouvent une place croissante dans ces mesures sécuritaires. Cette approche globale de la sécurité va impliquer des interactions multiples entre le conducteur, le véhicule et l'environnement routier. Dans ce contexte, la nouvelle génération de systèmes de navigation avec des bases de données routières étendues et plus précises vont offrir un grand potentiel pour le développement de systèmes d'assistance à la conduite (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS). Le contenu actuel de la plupart des bases de données routières ainsi que la qualité de la géométrie routière ne remplissent pas les spécifications des applications ADAS. Pour cette raison, l'acquisition d'une géométrie précise et fiable de la route est indispensable. Ainsi le laboratoire de Topométrie (TOPO) de l'EPFL a développé un système de mobile mapping, appelé Photobus, pour la saisie de géométries routières de haute qualité. Les récentes campagnes de mesures faites avec le Photobus, ont fourni des géométries d'axes routiers de haute qualité pour quelques applications de base des ADAS, comme l'alerte sur la vitesse d'approche d'un virage (Curve Speed Warning) et l'alerte de sortie de voie (Lane Departure Warning).

Die Behörden und die Automobilindustrie sind für die Verbesserung der Strassen-sicherheit verantwortlich. Nebst der Strasseninfrastruktur und der Automobilkonstruktion nehmen die technologischen Entwicklungen der Navigation und Telekommunikation einen immer höheren Stellenwert bei diesen Sicherheitsmassnahmen ein. Das umfassende Angehen der Sicherheit hat vielfältige Wechselwirkungen zwischen Fahrer, Fahrzeug und Strassenumfeld. Dabei bietet die neue Generation der Navigationssysteme mit ausgedehnten und genaueren Strassendatengrundlagen ein grosses Potenzial für die Entwicklung von Systemen der Fahrerunterstützung (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS). Der heutige Inhalt der meisten Strassendatengrundlagen erfüllt die Anwendungsspezifikationen von ADAS nicht. Aus diesem Grund ist die Erfassung einer genauen und zuverlässigen Strassengeometrie unerlässlich. Deshalb hat das Labor für Topometrie (TOPO) der ETH Lausanne das mobile Kartensystem Photobus zur Erfassung von hochqualitativen Strassengeometrien entwickelt. Die kürzlich mit dem Photobus ausgeführten Messkampagnen haben bei einigen Grundanwendungen von ADAS wie Kurvenannäherung (Curve Speed Warning) und Abkommen von der Strasse (Lane Departure Warning) Strassenaxengeometrien von hoher Qualität ergeben.

Le autorità pubbliche e l'industria automobilistica sono coinvolte nel miglioramento delle condizioni di sicurezza stradale. Oltre alle misure relative all'infrastruttura stradale o alla costruzione delle vetture, gli sviluppi tecnologici nel campo della navigazione e delle telecomunicazioni rivestono sempre più portata nell'ambito delle misure di sicurezza. Questo approccio globale di sicurezza, implicherà interazioni multiple tra il conducente, il veicolo e l'ambiente stradale. In questo contesto, la nuova generazione di sistemi di navigazione – con ampie e precise basi di dati stradali – offriranno un grande potenziale per lo sviluppo dei sistemi di assistenza alla guida (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS). L'attuale contenuto della maggior parte dei dati stradali nonché la qualità della geometria stradale non soddisfano le specificazioni delle applicazioni ADAS. Di conseguenza, è necessario disporre di una geometria stradale che sia precisa ed affidabile. Il laboratorio di Topometria (TOPO) del Politecnico di Lo-

P.-Y. Gilliéron, H. Gontran, B. Merminod

Introduction

Contexte de la sécurité routière

La réduction des accidents de la route est un des objectifs de la politique des transports de l'ensemble des pays européens. Les mesures traditionnelles de prévention se sont focalisées sur le comportement du conducteur et sur l'amélioration de la sécurité passive dans les véhicules. Toutefois, ces mesures conventionnelles atteignent des limites et ce sont de nouvelles technologies, de la navigation et des télécommunications, qui permettront encore de réduire le nombre d'accidents à l'avenir. Cette approche intégrée s'appuie sur une méthodologie qui tient compte des interactions entre le conducteur, le véhicule et l'infrastructure routière.

Plus de 95% des accidents sont dus à un facteur humain, cas pour lesquels une assistance à la conduite aurait pu s'avérer utile. C'est pour cette raison que l'industrie automobile développe des systèmes d'assistance à la conduite (ADAS) afin d'avertir le conducteur à temps afin qu'il puisse prendre la bonne décision.

Applications ADAS

Une partie des systèmes intégrés de sécurité, dont les ADAS, est une aide au conducteur afin d'améliorer le contrôle du véhicule. Ces systèmes sont basés sur des capteurs de localisation, un système de cartographie numérique, des moyens de télécommunication et divers détecteurs d'obstacles. L'intégration de ces technologies doit permettre une meilleure détection de dangers potentiels, un avertissement du conducteur et éventuellement un contrôle de certaines fonctions du véhicule.

Le système de navigation (GPS et capteurs) est un des composants de base d'un ADAS. Selon les applications, les exigences pour la précision de la localisation peuvent varier considérablement, selon que l'on considère la position du véhicule le long de sa trajectoire (précision longitudinale) ou perpendiculairement à

sanna ha sviluppato un sistema di mobile mapping, chiamato Photobus, per il rilevamento delle geometrie stradali di alta qualità. Le recenti campagne di misurazione realizzate con Photobus, hanno fornito delle geometrie degli assi stradali altamente valide per alcune applicazioni di base ADAS, come l'avviso della velocità in curva (Curve Speed Warning) e l'avviso di abbandono della carreggiata (Lane Departure Warning).

l'axe de route (précision latérale). Ainsi, la localisation précise de la ligne centrale, respectivement des différentes voies de circulation, est absolument nécessaire pour le déploiement d'applications très exigeantes en termes de contrôle latéral, comme l'alerte sur la vitesse d'approche d'un virage, l'évitement de collision et le maintien du véhicule dans sa voie.

L'industrie automobile et les fournisseurs de cartes de navigation ont formulé des exigences de qualité dans le projet européen NextMAP, dans lequel les participants ont évalué la faisabilité technique et économique de l'amélioration des bases de données routières.

Les deux principales sociétés, Navteq et TeleAtlas, ont commencé à faire l'acquisition de nouveaux jeux de données avec une précision métrique et de nouveaux objets routiers, tout en respectant les exigences de certaines applications ADAS. De nouvelles technologies d'acquisition, comme le mobile mapping, ont permis de réduire les coûts de saisie sur le terrain tout en améliorant la qualité de la couverture et du produit final [Pandazis, 2002].

La figure 1 illustre l'évolution de la qualité des bases de données routières comparées à la performance de la localisation des véhicules. La plupart des futures ap-

plications ADAS devront permettre la localisation avec précision et fiabilité d'un véhicule dans une voie de circulation.

Géométrie de la route

Un grand nombre d'applications ADAS exigent la combinaison de techniques de localisation précise et de bases de données routières étendues. Les données géographiques jouent un rôle primordial et le succès de l'introduction des ADAS sera grandement lié à la qualité des données. 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 précision planimétrique et altimétrique de l'axe, la topologie et la fréquence de mise à jour des données. La combinaison de ces trois facteurs garantit l'intégrité des données géométriques pour les applications exigeantes. Dans ce contexte, le laboratoire de Topométrie de l'EPFL a développé un système de mobile mapping, appelé Photobus, pour l'acquisition rapide et précise de géométries routières avec une précision décimétrique et un contrôle qualité en temps réel [Gilliéron, 2003].

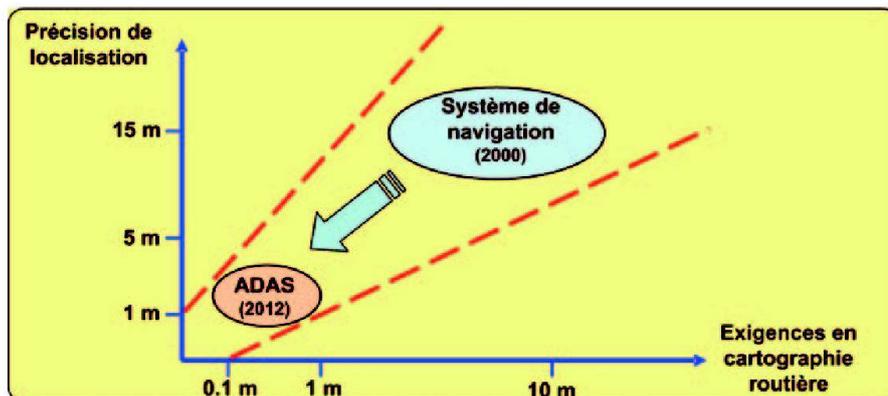


Fig. 1: Exigences de localisation dans les applications ADAS.

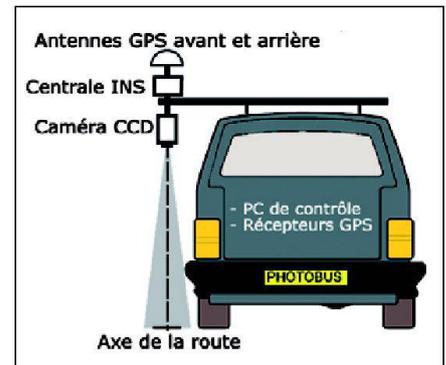


Fig. 2: Le système Photobus avec ses composants principaux (localisation GPS/INS et images CCD).

Acquisition des données par mobile mapping

La problématique de l'acquisition d'une géométrie précise des axes de route a été traitée dans plusieurs projets de recherche pilotés par l'association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS). Les résultats de ces projets (Syrrou, Agram) ont montré l'importance de l'acquisition d'une géométrie de référence de qualité pour les besoins du système d'information de la route. Plusieurs expériences conduites avec les cantons romands ont permis d'engager le Photobus pour saisir des axes de routes dans des conditions particulières (zones rurales, forêts, régions de montagne) [Golay, 2002], [Merminod, 2003].

Les systèmes de mobile mapping représentent des techniques avancées de mesure en mode cinématique appliquées au domaine routier et aux objets d'intérêt situés le long des routes. C'est une méthode qui permet une localisation rapide d'objets routiers, avec un accent particulier pour la géométrie des axes, la signalisation et divers objets.

Le système Photobus combine un système de localisation précis, basé sur des composants GPS et INS, avec des caméras CCD, dont une est orientée verticalement (fig. 2). Un système informatique embarqué permet la synchronisation exacte des données de localisation avec les images numériques. Ce système effectue l'acquisition précise de la ligne centrale de la route avec un contrôle qualité

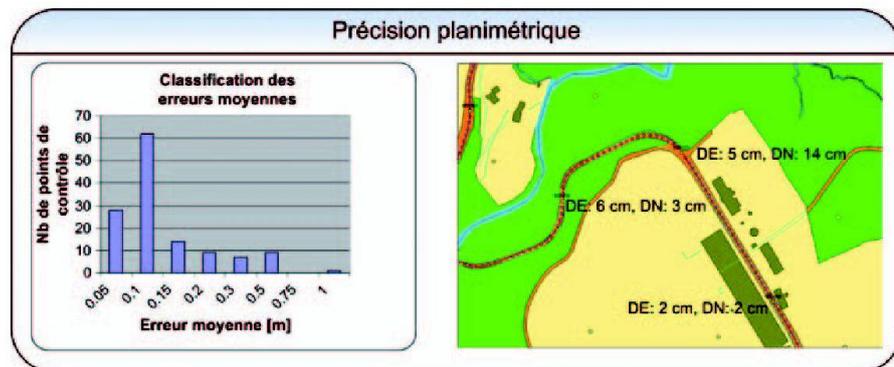


Fig. 3: Analyse de la précision planimétrique de l'axe de route Orbe-Moudon.

des données en temps réel [Gontran, 2004].

La plupart des bases de données routières actuelles sont dérivées des cartes nationales dont la saisie est basée sur un procédé photogrammétrique. Ainsi la précision des bases de données routières est de quelques mètres (figure 1), ce qui n'est pas suffisant pour les applications à venir de l'industrie automobile.

Dans cette perspective, le système Photobus est la plateforme idéale pour l'évaluation de la qualité des données d'une géométrie routière saisie dans des conditions réelles. Plusieurs tests ont été réalisés dans le Canton de Vaud où le système a permis la saisie de routes rurales et de région de montagne avec des caractéristiques topographiques variables (routes sinueuses, traversées de villages, falaises, forêts, déclivité importante, ...).

La plupart des portions de routes ont été mesurées plusieurs fois sous des conditions GPS différentes, ce qui a permis une comparaison de trajectoires indépendantes. Ce procédé, appliqué dans le cadre d'un 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.

La figure 3 (gauche) présente les erreurs moyennes quadratiques le long du trajet Orbe-Moudon. La plupart des valeurs sont inférieures à 50 cm. La figure 3 (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.

Modélisation géométrique

Photobus fournit les coordonnées de l'axe central de la route dans le système de coordonnées nationales (E, N, H). Pour modéliser la géométrie routière et en réaliser une analyse pertinente, nous devons représenter l'axe de la route par des fonctions interpolatrices dont les points d'ajustement sont les points discrets levés par Photobus.

Nous avons choisi des splines cubiques qui constituent une interpolation par morceaux via des polynômes de degré 3, entre n points d'ajustement. Par conséquent, elles respectent la trajectoire décrite par Photobus sur chaque intervalle, tout en respectant des conditions de continuité sur la position, la vitesse et l'accélération pour chaque point d'ajustement. Atkinson (2002) démontre que les splines cubiques minimisent, parmi toutes les fonctions interpolatrices, l'accélération sur la courbe. On peut décrire le polynôme comme suit:

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

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.

Caractéristiques de la route

Sur des routes sinueuses, la majorité des virages induit une décélération qui peut surprendre le conducteur en cas de mauvaise visibilité. Une fonction ADAS, l'alerte sur la vitesse d'approche d'un virage (CSW¹), signale à l'utilisateur une vitesse trop élevée pour négocier un virage sans risque. Dans la mesure où les normes routières lient un rayon de courbure à une vitesse maximale, seule une connaissance précise de ces rayons de courbure peut rendre les alertes CSW fiables.

La figure 4 illustre une classification de portions de route en fonction de leur rayon de courbure. Elle correspond aux recommandations suisses pour le dévers le plus sûr (7%). Ces recommandations lient directement le rayon de courbure à la vitesse de croisière, si bien que les ADAS peuvent efficacement exploiter cette modélisation analytique en avertissant le conducteur qui emprunte un virage trop rapidement.

Test d'applications ADAS

Estimation de la position du véhicule

Dans la plupart des applications ADAS, il est nécessaire de localiser le véhicule avec une précision métrique. Ainsi, il s'est avéré nécessaire d'estimer la qualité du positionnement absolu obtenu à l'aide d'un module de localisation (GPS + capteurs) bon marché.

Le système d'évaluation choisi est le module ANTARIS[®] de la société ublox² qui a été développé pour les applications de navigation automobile. Il est composé d'un récepteur GPS (TIM-LC), d'un gyroscope (Murata ENV-05F-3) et d'un odomètre

(capteur placé sur la roue du véhicule). La combinaison des signaux du gyroscope (détection des changements de direction) et de l'odomètre (distance parcourue) permet, dans une certaine mesure, de calculer une position (navigation à l'estime -DR) lorsque la réception des signaux GPS est faible ou perturbée.

Le système de localisation a été utilisé

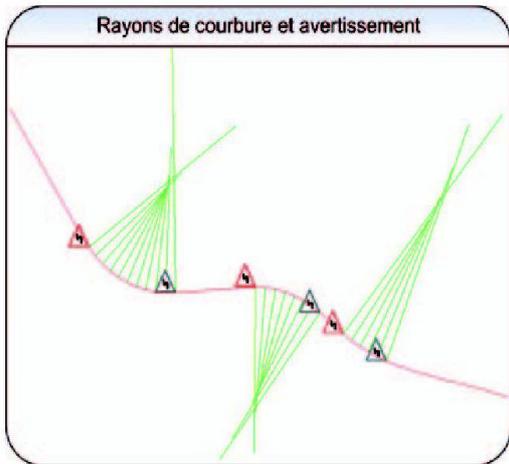


Fig. 4: Classification de sections de route par rayon de courbure.

pour l'enregistrement d'une série de trajectoires mesurées depuis un véhicule dans des conditions réelles. La zone de test choisie correspond à la section de route qui a été préalablement cartographiée avec le système Photobus. On dispose ainsi d'une référence géométrique absolue qui permet une estimation efficace de la qualité du système de localisation utilisé pour ce test.

Les trajectoires enregistrées par le module de localisation ont été comparées à la projection de chaque position sur la géométrie de référence (précision 10 à 20 cm). Les distances horizontales à la trajectoire de référence donnent ainsi directement une estimation de la qualité de la localisation. Pour chaque position, le système permet de distinguer les mesures GPS des mesures de navigation à l'estime (DR).

Le tableau 1 présente l'analyse de 4 trajectoires reflétant des situations topographiques différentes (présence ou absence de végétation, traversées de villages, zone dégagée, falaises).

D'une manière générale, on constate que la disponibilité des signaux GPS dans ce type de région est relativement bonne (environ 85%), compte tenu de la topographie et de la couverture forestière. Toutefois la qualité de la localisation n'est pas toujours optimale car le signal GPS est régulièrement perturbé. Dans les meilleures conditions, avec une bonne réception des

	Err. moy globale [m]	Err moy DR seul [m]	%	Err. moy GPS seul [m]	%	% < 1.5 m
Traj. 1: 2373 points	4.53	6.31	10.3	4.28	89.7	20.0
Traj. 2: 831 points	6.19	8.20	17.2	5.69	82.8	28.7
Traj. 3: 1013 points	2.68	5.53	10.8	2.08	89.2	50.2
Traj. 4: 768 points	6.83	16.63	11.2	4.21	88.8	32.8

Tab. 1: Analyse de la qualité des trajectoires horizontales comparées à la géométrie de référence.

corrections DGPS, l'erreur moyenne est de l'ordre de 2 m, ce qui serait juste suffisant pour une localisation du véhicule sur sa voie de circulation.

Globalement, l'erreur moyenne est de l'ordre de 3 à 5 m, ce qui est suffisant pour certaines applications ADAS d'alerte. Toutefois, il faut rester attentif dans les zones de lacunes GPS où la navigation à l'estime fournit une position qui peut très vite se dégrader avec le temps, plus particulièrement lors de trajets sinueux.

Alerte et contrôle du véhicule dans les courbes

Cette partie est consacrée à l'évaluation de quelques fonctions ADAS pour l'avertissement du conducteur lorsque la route présente une forte sinuosité, notamment avant des virages dangereux. Pour évaluer ces fonctions, le laboratoire de Topométrie a développé une application [Frank, 2005] pour l'interfaçage de la position et de la vitesse d'un véhicule avec une géométrie de référence.

La géométrie de référence permet de calculer une vitesse théorique recommandée selon le rayon de courbure de la route. Une classe de vitesse est donc associée à chaque tronçon de route le long du parcours. Le programme permet de comparer a posteriori la vitesse réelle enregistrée lors du parcours à la vitesse recommandée. Un tel graphique est particulièrement utile lorsqu'il s'agit d'analyser le comportement du conducteur dans certaines conditions. On détecte notamment les zones où le conducteur a dépassé la limite de vitesse recommandée (fig. 6).

Un tel graphique s'avère très utile pour la définition de la stratégie d'avertissement et permet l'évaluation de la conduite sous différentes conditions (météo, conduite nocturne,...).

Conclusions

Cet article a présenté le grand potentiel des applications d'assistance à la conduite pour le développement de solutions in-

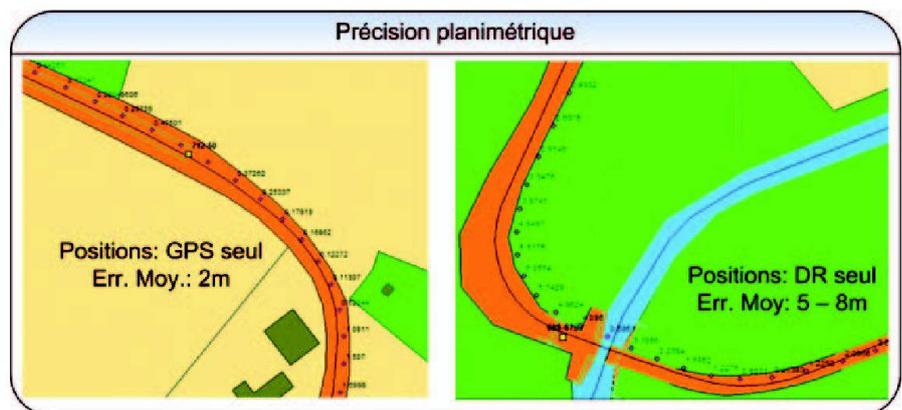


Fig. 5: Report des positions comparées à la géométrie de référence.

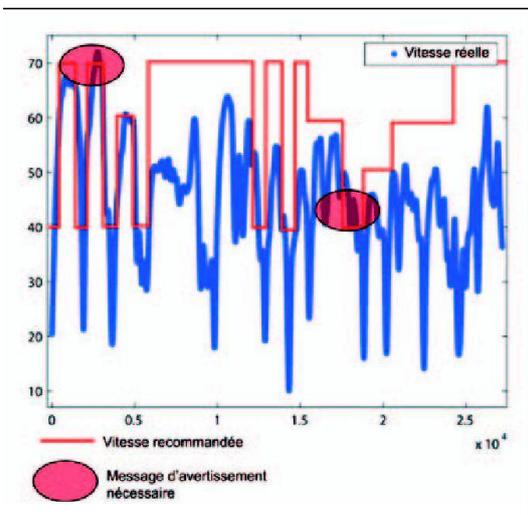


Fig. 6: Vitesse réelle comparée à la vitesse recommandée issue de la géométrie de référence.

novantes en localisation de véhicules et pour l'amélioration du contenu et de la qualité des bases de données routières. Les solutions actuelles de mobile mapping, comme le Photobus, vont certainement jouer un rôle clé dans les processus d'acquisition et de gestion de la qualité des données pour les systèmes de navigation automobile.

La conduite de tests de navigation dans des conditions réelles a permis d'illustrer le potentiel des applications d'alerte du conducteur, en particulier lors de virages dangereux. Le développement d'une interface utilisateur adaptée a grandement aidé l'analyse du comportement du conducteur dans certaines conditions. Ceci a confirmé la nécessité de recourir à une géométrie précise et fiable des axes de route.

Le recours à des capteurs de localisation bon marché dans une étude de faisabilité est une première étape dans l'intégration de composants de positionnement par satellites dans les applications ADAS. Cette évaluation de la qualité de localisation dans des conditions réelles et difficiles a montré des résultats prometteurs, en particulier dans la perspective des projets européens de navigation par satellites (EGNOS, Galileo). Toutefois, une telle étude illustre les limites d'un système de localisation basé uniquement sur des satellites. Ceci renforce donc l'idée que la localisation pour des applications exigeantes doit comporter plusieurs sources d'information que sont les capteurs inertiels ainsi que des cartes de navigation de haute qualité.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Service des Routes de l'Etat de Vaud qui nous a permis d'engager notre système Photobus sur les routes vaudoises afin d'acquérir une géométrie de référence de certains axes.

Remarques:

- 1 CSW: Curve Speed Warning.
- 2 www.u-blox.de/products/sbekit.html

Bibliographie:

- Gilliéron P.-Y., Konnen J. (2003): Enhanced Navigation System for Road Telematics, 3rd Swiss Transport Research Conference, Ascona.
- Golay F., Oggier R., Gilgen M. (2000): SYRROU: Systèmes de repérage spatial des données routières, mandat de recherche 10/99 de la VSS, rapport No 452.

Merminod B., Gilliéron P.-Y., Oggier R., Gilgen M. (2003): AGRAM: Etude de l'acquisition d'une géométrie de référence des axes de maintenance, mandat de recherche VSS 2000/362, rapport No 1047.

Pandazis J.-Ch. (2002): NextMAP for Transport Telematics Applications, project IST-1999-11206, final report.

Gontran H., Skaloud J., Gilliéron P.-Y. (2004): Photobus: Towards Real-time Mobile Mapping. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Istanbul, Vol. XXXV, Part B, Commission 5.

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

Gallet, A. (2000): Use of Vehicle Navigation in Driver Assistance Systems. Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000, Dearborn (MI), USA.

Frank J. (2005): Modélisation de la géométrie routière et assistance à la conduite, travail de fin d'étude, ESGT, le Mans France, réalisé au Laboratoire de Topométrie, EPFL 2005.

Pierre-Yves Gilliéron
Hervé Gontran
Prof. Bertrand Merminod
Ecole polytechnique fédérale
de Lausanne EPFL
Laboratoire de Topométrie
Station 18
CH-1015 Lausanne
pierre-yves.gillieron@epfl.ch

**MARKSTEINE
SO BILLIG WIE
NOCH NIE!**

GRANITI MAURINO SA
Casella postale
CH-6710 Biasca

Tel. 091 862 13 22
Fax 091 862 39 93

MAURINO
GRANITI dal 1894

Dank grossen Investitionen in unserem Betrieb können wir Marksteine aus unseren Steinbrüchen im Tessin so billig wie noch nie anbieten und dies franko Abladeplatz.