

Utiliser des données cartographiques ADASISv3 pour améliorer la localisation en conduite automatisée

Connaître le positionnement du véhicule est une condition préalable essentielle pour les systèmes de conduite hautement automatisés qui utilisent des données cartographiques haute définition. La précision de ce positionnement doit être nettement supérieure à celle obtenue avec un capteur de géolocalisation par satellite GNSS seul. Par conséquent, divers autres capteurs, comme des gyroscopes ou des odomètres, peuvent être utilisés pour mieux estimer ce positionnement. Cet article décrit un système utilisant une autre entrée, les données cartographiques ADASISv3, pour améliorer le positionnement.

AuteurS



Sebastian Ohl, directeur du Technology Center for Environmental Perception, HAD Products Group, et **Olav Koska**, responsable de l'équipe d'ingénieurs logiciels, Elektrobit Automotive.

L'automatisation des fonctions de conduite va devenir une réalité pour un nombre croissant de véhicules dans un avenir très proche. Les fonctions sous-jacentes consistent en des systèmes de capteurs qui perçoivent le véhicule et son environnement, un module de décision qui suit l'objectif d'un système, et des actionneurs qui exécutent la décision (figure 1). Cette démarche « capter-planifier-agir » forme la base de nombreuses architectures de conduite automatisée modernes. La partie perception va utiliser une large gamme de capteurs. Outre les capteurs de perception de l'environnement (lidar, radar, caméra), des capteurs intéroceptifs (impulsions de roue, gyroscope) et des capteurs de localisation (GPS par exemple) sont utilisés pour évaluer la situation globale d'un véhicule autonome. Chacune de ces trois catégories de capteurs prend en charge le calcul des informations de positionnement et d'auto-déplacement pour un système de conduite hautement automatisée (HAD). Ces informations simplifient de nombreux algorithmes des modules de perception et de décision. Cependant, aucun capteur ne peut à lui seul fournir un positionnement qui soit à la fois d'une haute pré-

sion et sécuritaire à une fréquence élevée pour soutenir l'unité de décision ou de perception environnementale du système. La situation se complique si un système nécessite un positionnement mondial pour se référer à d'autres véhicules dans un cadre global ou pour correspondre à des données cartographiques mondiales.

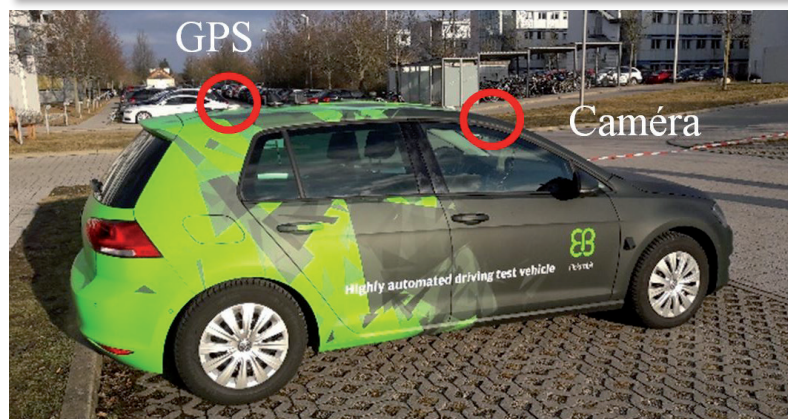
Par conséquent, un composant logiciel fournissant un positionnement sécuritaire très précis dans un système HAD basé sur de multiples entrées de capteurs est crucial pour satisfaire les besoins des applications

HAD. Une possibilité consiste à ajouter un quatrième type de « capteur » : une carte haute définition (HD). Ces données contiennent des informations sur les points de repère (panneaux de signalisation, poteaux...) détectables par une caméra ou d'autres capteurs extéroceptifs et constituent une seconde source pour un positionnement mondial à associer à d'autres données.

Contexte du système

Le système dans son ensemble comprend trois composants de traitement distincts, tels que représentés

- Le système de localisation basée sur les points de repère LbL a été installé dans l'un des véhicules d'essai d'Elektrobit équipée d'une unité de mesure inertielle GPS différentielle comme capteur de référence. Le système de caméra installé transmet les mesures des panneaux de signalisation via un bus CAN. Au cours de ces essais, le positionnement donné par un système GPS haute précision et celui donné par le système LbL ont été enregistrés.



1 Architecture logicielle de la plate-forme EB robinos

Les fonctions d'un système de conduite hautement automatisée (HAD) consistent en des systèmes de capteurs qui perçoivent le véhicule et son environnement, un module de décision qui suit l'objectif d'un système, et des actionneurs qui exécutent la décision.

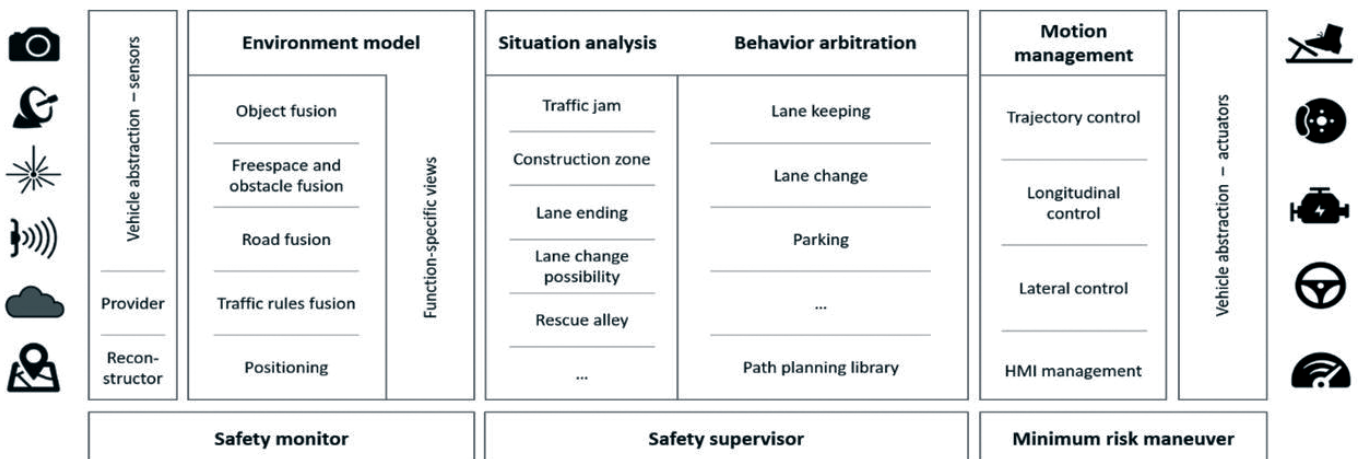
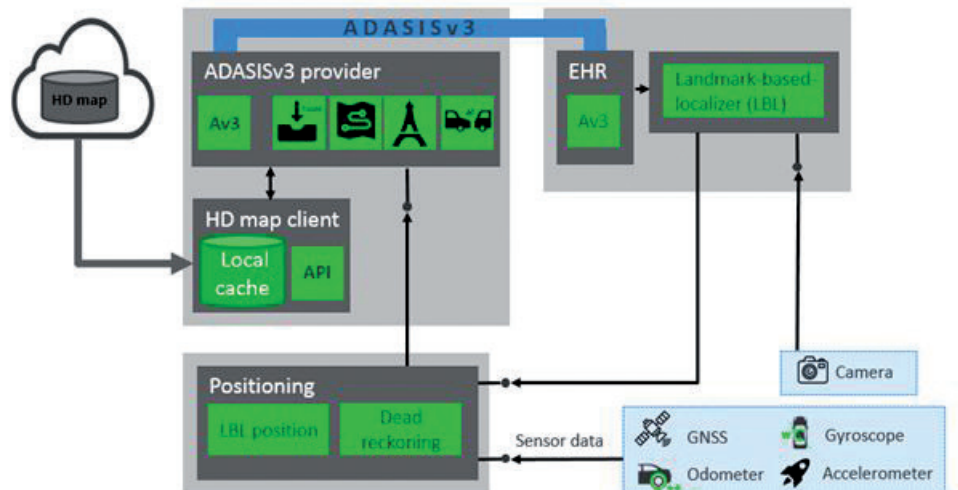


figure 2. Le traitement des données commence par la réception et la mise à disposition des données cartographiques dans le véhicule. Ces données peuvent être reçues via une connexion en ligne ou être stockées localement sur un disque dur. Cependant, comme les données cartographiques HAD doivent être à jour, la connexion en ligne est la plus utilisée. Tous les principaux fournisseurs de cartes (à l'instar de TomTom) offrent cette possibilité et fournissent des informations sur les points de repère sur un réseau. Une fois reçues, les données sont fournies au format normalisé eHorizon ADASISv3 (voir plus loin). Comme d'autres systèmes peuvent également recevoir le flux de données ADASISv3, chaque système a besoin de son propre reconstruteur ADASISv3 pour fournir une structure de données facile d'accès. Cette structure de données contient toutes les informations de l'arborescence eHorizon, y compris les points de repère dont ce système a besoin.

Le composant de localisation basée sur les points de repère (LbL, Landmark-based Localization) accède ensuite aux points de repère et reçoit des informations extéroceptives d'un système de caméra. En cas de correspondance réussie, la LbL fournit des mises à jour de positionnement absolu à un troisième composant. Le bloc de positionnement combine les entrées traditionnelles des capteurs (gyroscopes, odomètre, GNSS, etc.) avec la LbL et transmet une source

2 Synoptique générique du système de conduite hautement optimisé

Le système dans son ensemble comprend trois composants de traitement distincts. Le traitement des données commence par la réception et la mise à disposition des données cartographiques dans le véhicule. Ces données peuvent être reçues via une connexion en ligne ou être stockées localement sur un disque dur.



unique d'informations de positionnement réel à tous les composants du système HAD.

Données cartographiques au format ADASIS v3

Il est indispensable de fournir des données cartographiques à un véhicule autonome pour améliorer le comportement de conduite et faciliter la conception d'algorithmes. Le Forum ADASIS a spécifié un format de description pour la sérialisation et la description des données cartographiques pour les applications ADAS. Le format ADASISv2 est largement utilisé dans l'industrie pour les systèmes ADAS les plus récents. Cependant, ce format v2 ne se concentre

que sur les systèmes SAE de niveau d'automatisation 0 à 2. Il ne fournit pas d'informations cartographiques précises sur les voies de circulation et ne contient pas les diverses informations dont seuls les niveaux d'automatisation plus élevés ont besoin. La configuration du système est représentée figure 3. Un fournisseur ADASISv3 reçoit les données cartographiques et le positionnement. Il crée ensuite un horizon électronique (eHorizon) décrivant le réseau routier à venir pour le véhicule. Cet eHorizon contient toutes les informations nécessaires. La norme ADASISv3 décrit l'eHorizon comme un ou plusieurs trajets. Ces trajets contiennent des informations sur les

3 Concept général de la réception de données cartographiques au format ADASISv3

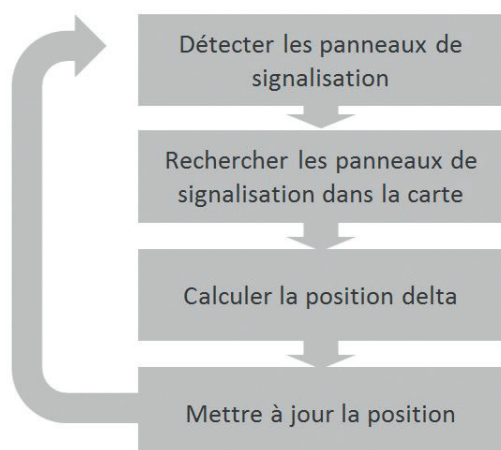
Il est indispensable de fournir des données cartographiques à un véhicule autonome pour améliorer le comportement de conduite et faciliter la conception d'algorithmes. Le Forum ADASIS a spécifié un format de description pour la sérialisation et la description des données cartographiques pour les applications ADAS.



voies disponibles, les interconnexions avec d'autres trajets et les profils. Ces profils contiennent des informations sur les différents éléments d'un trajet. Cela commence par des profils d'événements uniques (les panneaux de signalisation par exemple), en passant par des pentes associées à une région, jusqu'aux limitations de vitesse associées à un trajet. Cet eHorizon ADASISv3 est ensuite sérialisé et envoyé via le réseau du véhicule à toutes les ECU ADAS pour être traité.

4 Chaîne de traitement générique de la localisation basée sur les repères LbL

Elektrobit a complété la norme ADASISv3 par un profil contenant des informations sur les points de repère comme les panneaux de signalisation (et leur géolocalisation reçue d'une carte HD).



Ce transfert peut se faire en une seule étape. Toutefois, le transfert incrémentiel est plus courant. Cela permet au fournisseur de ne transférer qu'une mise à jour à l'ECU.

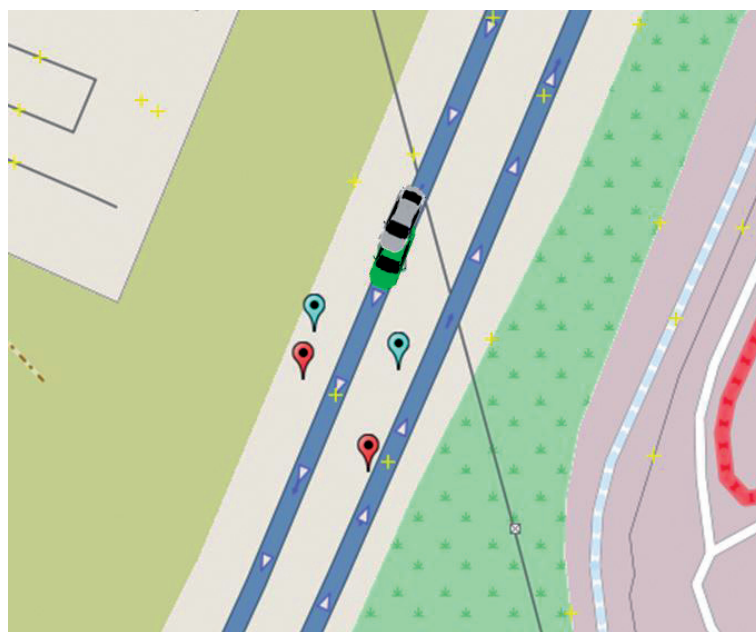
De nombreux profils sont déjà définis par la norme ADASISv3. Cependant, il est également possible de compléter le profil défini par des profils personnalisés. Ces profils contiennent des informations spécifiques au client. Pour le système décrit dans cet article, Elektrobit a complété la norme ADASISv3 par un profil contenant des informations sur les points de repère. La présentation utilise des panneaux de signalisation et leur géolocalisation reçue d'une carte HD.

Localisation basée sur les points de repère

La chaîne de traitement générale de la localisation basée sur les points de repère est représentée figure 4. Tout d'abord, le système détecte les panneaux de signalisation qui sont candidats à la localisation. Ces panneaux de signalisation doivent non seulement être détectés, mais aussi localisés par rapport au véhicule. Un système commun de détection des panneaux de signalisation de grande série peut ne pas fournir ces données ou ne pas être aussi précis que nécessaire pour la LbL. Après avoir détecté un panneau de signalisation,

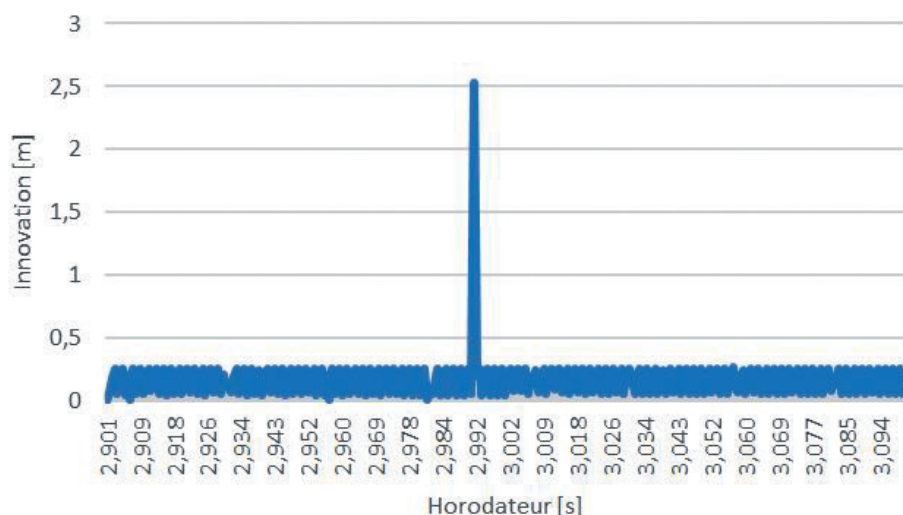
5 Scénario de positionnement des points de repère

Sur cette figure, les repères bleus représentent le positionnement des points de repère, fourni par les données ADASISv3 et les repères rouges indiquent où le système LbL a mesuré ces repères par rapport au positionnement du véhicule. Le décalage entre ces marqueurs montre qu'une erreur de positionnement accumulée est déjà présente dans le système de localisation. Le système lui-même estime qu'il se trouve à la position de la voiture grise, mais la voiture verte indique la position où la localisation a lieu après que la correction de la mesure LbL a été ajoutée à la localisation globale.



6 «Innovation» d'un système de positionnement contenant une correction A 2,9s par un panneau de signalisation

L'«innovation» (au sens de l'analyse des séries temporelles) entre deux mesures du système de sortie des positionnements est généralement bien inférieure à 0,5m. Cependant, à environ 2,9s, la différence est passée à environ 2,5m. À ce stade, les mesures de la caméra des panneaux de signalisation sont prises en compte pour corriger le positionnement du véhicule.



le système tente de le rechercher dans une carte HD. Cette recherche est limitée en fonction de l'emplacement actuel du véhicule. Lorsque les panneaux de signalisation sont déplacés, changés, enlevés ou installés, cette recherche peut donner différents résultats :

- Le panneau de signalisation est trouvé et n'est pas ambigu.
- Plusieurs panneaux de signalisation sont trouvés et il n'est pas possible de déterminer lequel a été détecté.
- Aucun panneau n'est trouvé dans la base de données cartographiques.

Le premier cas permet au système d'avancer dans la chaîne. Les deuxième et troisième cas donnent lieu à une détection inutilisable d'un panneau de signalisation. Le calcul du positionnement delta est l'étape principale de la LbL. Pour mettre à jour le positionnement par la suite, la LbL doit calculer le décalage de positionnement et la précision estimée de la mesure. L'hypothèse de base de ce calcul est que la mesure M et la position des points de repère des données cartographiques L sont correctes. La mesure doit être transférée d'un système de coordonnées d'un capteur dans un positionnement mondial en utilisant la position ego du véhicule E :

$$M_{\text{ego}} = \text{Rotate}_z(M+E)$$

Ensuite, la LbL peut calculer le positionnement delta ΔP en soustrayant M et L :

$$\Delta P = M - L$$

Le calcul de la deuxième partie du résultat est basé sur la propagation d'erreur gaussienne. Le résultat est ensuite transmis pour mettre à jour le positionnement. La chaîne de processus recommence.

Utilisation des données de localisation pour le positionnement

La solution de positionnement d'Elektrobit utilise les données LbL dans son produit EB robinos. Ce produit de positionnement prend toutes

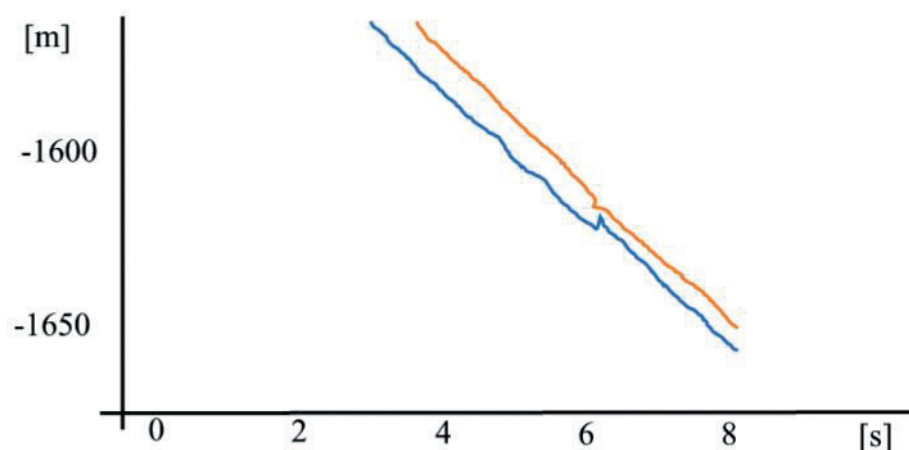
les informations de positionnement disponibles, comme le GPS et les impulsions de roues, et essaie de les combiner pour obtenir le meilleur positionnement possible. De plus, il tente de réduire le bruit individuel de chaque capteur grâce à une modélisation mathématique correspondante. On obtient ainsi un positionnement mondial amélioré et un positionnement local représenté par les mouvements delta accumulés depuis le début de la conduite.

Les mesures LbL sont intégrées dans ce système de positionnement mondial en tant que valeurs de correction au positionnement continu, en raison du caractère basse fréquence de ces mesures. Chaque fois qu'une localisation LbL, y compris l'estimation de confiance représentée par la variance, est transférée au positionnement global, l'erreur par rapport à la localisation continue est calculée et corrigée en actualisant la localisation globale.

La figure 5 donne un aperçu des différentes valeurs dans le système de positionnement global. Les repères bleus représentent le positionnement des points de repère, fourni par les données ADASISv3 et les repères rouges indiquent où le système LbL a mesuré ces repères par rapport au positionnement du véhicule. Le décalage entre ces marqueurs montre qu'une erreur de positionnement accumulée est déjà présente dans le système de localisation. Le système lui-même estime qu'il se

7 IMPACT D'UNE MESURE LbL A ENVIRON 6s.

Sur cette figure, l'impact d'une mesure LbL sur une variable de positionnement individuelle est tracé. La ligne bleue représente la position du système de positionnement basée uniquement sur des capteurs intéroceptifs. L'influence du bruit du GPS est visible dans la gigue de cette ligne. Le système LbL est représenté en orange. Dès que la LbL mesure un positionnement à environ 6s, son influence sur le positionnement global est visible, car la correction sur la ligne bleue peut être observée.



trouve à la position de la voiture grise, mais la voiture verte indique la position où la localisation a lieu après que la correction de la mesure LbL a été ajoutée à la localisation globale.

Résultats expérimentaux

Pour vérifier ses capacités, le système LbL a été installé dans l'un des véhicules d'essai d'Elektrobit. Il a été testé sur l'autoroute A391 près de Braunschweig, en Allemagne. Au cours de ces essais, le positionnement donné par un système GPS

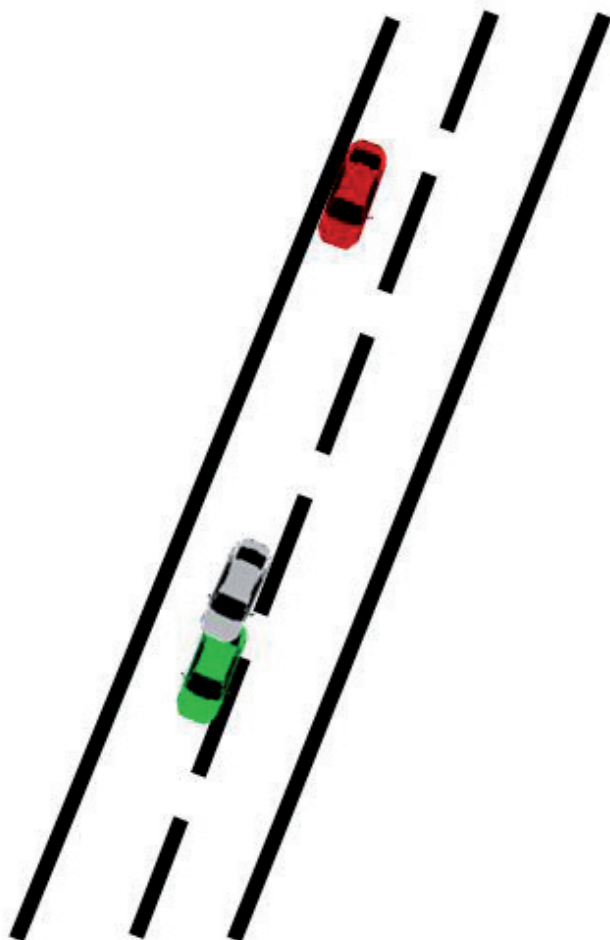
CAN. De plus, le système de positionnement utilise des capteurs du véhicule pour les impulsions de roue et les gyroscopes disponibles sur le bus CAN principal du véhicule. Les auteurs n'ayant pas réussi à obtenir d'informations sur les panneaux de signalisation directement dans les bases de données des principaux fournisseurs de cartes (les données seront disponibles courant 2019), les données de référence ont été mesurées par imagerie aérienne.

Comme le montre la figure 6, l'innovation (au sens de l'analyse des séries

détecte deux panneaux de signalisation et les associe à deux panneaux de signalisation dans la base de données cartographiques lorsque le véhicule roule à environ 80 km/h. Les deux panneaux de signalisation sont détectés à des positions longitudinales différentes, même lorsqu'ils sont alignés comme le montre la figure 5. La figure 7 permet de visualiser l'impact d'une mesure LbL sur une variable de positionnement individuelle. La figure 8 visualise cette correction de positionnement globale.

8 Visualisation de la correction du positionnement

La voiture verte représente l'endroit où le positionnement se serait localisé sans correction LbL. La voiture rouge indique l'endroit où la localisation LbL a eu lieu. La voiture grise indique l'endroit où la voiture se localise lorsque la correction de position basée sur LbL est appliquée.



haute précision et celui donné par le système LbL ont été enregistrés. La photo de la page 2 montre le véhicule d'essai, une VW Golf 7 de 2014, qui est équipée d'une unité de mesure inertielle GPS différentielle d'OxTS, le RT3003, comme capteur de référence. Le système de caméra installé est un MobileEye modèle 630. Il transmet les mesures des panneaux de signalisation via un bus

temporelles) entre deux mesures du système de sortie des positionnements est généralement bien inférieure à 0,5 m. Cependant, à environ 2,9 s, la différence est passée à environ 2,5 m. A ce stade, les mesures de la caméra des panneaux de signalisation sont prises en compte pour corriger le positionnement du véhicule. Comme décrit dans le scénario présenté plus haut, le véhicule

Conclusion

Un système de localisation extéroceptif basé sur des points de repère géoréférencés peut réduire l'erreur absolue lorsque ces points de repère sont disponibles. Nous présentons ici une démonstration de faisabilité de la façon dont ce type de système peut être mis en œuvre à l'aide de données fournies via ADASISv3. De plus, nous décrivons comment, à ce stade, le système peut utiliser directement les bases de données cartographiques HD. Il est fort probable que les données de référence pour les panneaux de signalisation seront bientôt disponibles et que les emplacements des panneaux de signalisation acquis manuellement pourront être remplacés.

Nous présentons ici la chaîne de traitement du système LbL. Le système est ensuite utilisé avec des données réelles et les effets des données mesurées peuvent être montrés.

L'utilisation de points de repère pour la localisation peut améliorer un composant logiciel de positionnement lorsque le GPS n'est pas disponible et que les capteurs intéroceptifs génèrent une dérive.

Actuellement, le composant logiciel de positionnement complet est destiné à la localisation de qualité automobile basé sur les impulsions de roue, les accéléromètres et d'autres capteurs intéroceptifs, ainsi que sur un GPS pour le positionnement mondial. La prochaine génération de ce produit comprendra également la localisation basée sur les points de repère ainsi que des nuages de points basés sur des systèmes de localisation et de cartographie simultanées (SLAM, Simultaneous Localization And Mapping), à partir par exemple d'un lidar ou d'une caméra. ■