

SOUTENANCE DE THÈSE

M. Anthony Welte

Soutiendra sa thèse de **doctorat** sur le sujet :

Spatio-temporal data fusion for intelligent vehicle localization

Unité de recherche : **Heudiasyc – UMR CNRS 7253**

Le vendredi 11 décembre 2020 à 9h à l'université de technologie de Compiègne, bâtiment Blaise Pascal, salle J42 et en suivant ce lien :

<https://utc-fr.zoom.us/j/81776017444>

Devant le jury composé de :

M. Silvère Bonnabel, professeur, membre rapporteur

Université de la Nouvelle Calédonie, spécialité robotique, Nouméa, Nouvelle Calédonie

M^{me} Hélène Piet Lahanier, adjoint scientifique, membre rapporteur

ONERA, traitement de l'information & systèmes, Palaiseau

M^{me} Véronique Berge-Cherfaoui, professeure, membre

Université de technologie de Compiègne, laboratoire Heudiasyc, Compiègne

M. Luc Jaulin, professeur, membre

ENSTA-Bretagne, lab-STICC, Brest

M^{me} Lyudmila Mihaylova, professeur, membre

University of Sheffield, Signal processing and control, Sheffield, U.K.

M. Clément Zinoune, chef de projet expérimentation véhicule Autonome, membre

Renault, centre technique, Le Val-d'Hazey

M. Philippe Xu, maître de conférences, directeur de thèse

Université de technologie de Compiègne, laboratoire Heudiasyc, Compiègne

M. Philippe Bonnifait, professeur, directeur de thèse

Université de technologie de Compiègne, laboratoire Heudiasyc, Compiègne

Developing autonomous vehicles raises many challenging issues. Localization is an essential basic capability for vehicles to be able to navigate autonomously on the road. It is critical for safety reasons that the localization system provides an accurate and reliable localization. This can be achieved through already available sensors (e.g. yaw rate gyro, wheel encoders, GNSS receivers) used for ADAS and basic navigation, and new technologies (e.g. lidars, smart cameras) that provide valuable information on the vehicle surroundings. These sensors combined with highly accurate maps result in greater accuracy for localization. Localization consists of estimating the vehicle state based on previously obtained measurements either in a sequential manner or by batches. In this work, the benefits of storing and reusing information in memory (in data buffers) are explored.

Localization systems need to perform several tasks like high-frequency estimation, map matching, calibration and error detection. These tasks do not need to be performed at the same time and are not equally expensive to run. To address all issues, a generic framework composed of several processing layers is proposed and studied. A main filtering layer estimates the vehicle pose while other layers address the more complex problems. In particular, a layer running in parallel performs map matching of detected features and a post-processing layer does calibration and map error detection.

High-frequency state estimation relies on proprioceptive measurements combined with GNSS observations. These measurements can not only be delayed or arrive out of sequence, but also be affected by biases due to the limitations of the sensors. Calibration is therefore essential to obtain an accurate pose. By keeping state estimates and observations in a buffer, the observation models of these sensors can be calibrated. This is achieved using smoothed estimates in place of a ground truth as it would not be available in commercial vehicles.

Dead-reckoning and GNSS can provide a high frequency estimation, but are not accurate enough for autonomous driving applications. Lidars and smart cameras provide measurements of features of the environment that can be used for localization when combined with prior knowledge (stored in a map) of their position. Using such observations raises matching issues as correct matches with the map features have to be obtained. Matching can be difficult due to state estimation errors and the limited number of measurements available in real time. Moreover, it needs to be robust to missing features and sensor misdetection. In this work, the matching problem is addressed on a spatio-temporal window. Thus, matching is done with a buffer of observations, resulting in a more detailed picture of the environment. To limit the effect of state errors on matching, the state buffer is adjusted using the observations and all possible matches.

Although using mapped features for localization enables to reach greater accuracy, this is only true if the map can be trusted. Road networks do not appear to change often, but a small change can have disastrous effects on localization. Roads repainted slightly off and road signs moving by a few decimeters either involuntarily (e.g. accidents) or on purpose (e.g. modification of an intersection) are very common. An approach using the post smoothing residuals has been developed to detect changes and either mitigate or reject the affected features.

The thesis relies heavily on experimental data acquired with vehicles equipped with lidar sensors and smart cameras. High Definition (HD) maps have also been used in the framework of the SIVALab joint laboratory between Renault and Heudiasyc CNRS-UTC.

Le développement des véhicules autonomes soulève de nombreux problèmes. La localisation constitue une brique essentielle permettant aux véhicules de naviguer de manière autonome sur la route. Pour des raisons évidentes de sûreté, le système de localisation doit fournir une information précise et fiable. Cela peut être atteint à travers les capteurs déjà existants (par exemple, gyros, roues codeuses, récepteurs GNSS) utilisés pour les systèmes de navigation et les ADAS; et de nouvelles technologies (par exemple, lidars, caméras intelligentes) qui fournissent des informations riches sur l'environnement avoisinant du véhicule. Ces capteurs combinés avec des cartes routières haute définition permettent d'atteindre un plus haut degré de précision. La localisation consiste à estimer l'état du véhicule en utilisant les mesures passées soit de manière séquentielle soit de manière groupée. Dans ce travail, l'intérêt d'enregistrer et réutiliser des informations sauvegardées en mémoire est exploré.

Les systèmes de localisation doivent réaliser plusieurs tâches comme une estimation à haute fréquence, des associations de données, de la calibration et de la détection d'erreurs. Ces tâches n'ont pas besoin d'être effectuées au même moment et n'ont pas le même coût en temps de calcul. Pour résoudre ces problèmes, une architecture générique composée de plusieurs couches de traitement est proposée et étudiée. Une couche principale de filtrage estime la pose du véhicule tandis que les autres couches abordent les problèmes plus complexes. En particulier, une couche

réalise en parallèle la tâche d'association des éléments détectés avec les amers d'une carte haute définition et une couche de post-traitement traite la calibration du système et la détection des erreurs de carte.

L'estimation d'état haute fréquence repose sur des mesures proprioceptives combinées à des observations GNSS. Ces mesures peuvent non seulement avoir du décalage ou arriver dans le désordre, mais aussi être affectées par des biais de mesure dus aux limitations des capteurs. La calibration du système est ainsi essentielle afin d'obtenir une pose précise.

En gardant les états estimés et les observations en mémoire, les modèles d'observation des capteurs peuvent être calibrés. Pour cela, des estimations lissées sont utilisées à la place des vérités terrain, qui ne peuvent pas être disponibles sur les véhicules du commerce.

La navigation à l'estime et les systèmes GNSS permettent d'avoir une estimation à haute fréquence, mais ne sont pas suffisamment précis pour les applications de conduite autonome. Les lidars et les caméras intelligentes fournissent des mesures d'éléments de l'environnement qui peuvent être utilisés pour la localisation lorsqu'ils sont combinés avec des informations a priori (contenues dans une carte) sur leur position. Utiliser de telles observations soulève des problèmes d'association de données, car elles doivent pouvoir être associées à la carte. Cette association peut être difficile à cause des erreurs d'estimation et du nombre limité de mesures disponibles en temps réel. Dans cette thèse, le problème d'association est abordé à travers une fenêtre spatio-temporelle. Ainsi, l'association est faite avec un `buffer` d'observations, amenant une image plus détaillée de l'environnement. Pour limiter l'effet des erreurs d'état sur l'association, le `buffer` d'états est ajusté avec les observations et toutes les associations possibles.

Bien que l'utilisation d'amers cartographiés permette d'améliorer la localisation, cela n'est possible que si la carte est fiable. Le réseau routier ne semble pas changer souvent, mais de petites modifications peuvent avoir des effets désastreux sur la localisation. Des routes repeintes de manière légèrement décalée et des panneaux routiers qui ont été bougés de quelques dizaines de centimètres soit involontairement (par exemple, accidents) ou volontairement (par exemple, modification d'une intersection) sont relativement fréquentes. Une approche utilisant les résidus lissés a posteriori a été développée pour détecter ces changements de carte et affaiblir et rejeter ces éléments de carte.

Cette thèse repose grandement sur des données expérimentales acquises avec des véhicules équipés de capteurs lidars et de caméras intelligentes. Des cartes haute définition ont également été utilisées dans le cadre du laboratoire commun SIVALab entre Renault et le laboratoire Heudiasyc CNRS-UTC.