

Soutenance de thèse

Corentin LUBEIGT soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA SCANR et intitulée «Traitement du signal pour la télédétection par GNSS»

Le 14 février 2023 à 9h30, salle des thèses, ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Eric CHAUMETTE	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Guillaume GINOLHAC	Professeur Polytech Annecy-Chambéry/LISTIC	Rapporteur
M. Fabio DOVIS	Professor Politecnico di Torino	Rapporteur
Mme Estel CARDELLACH	Chercheure émérite ICE-CSIC / IEEC Espagne	
M. Mohammed Nabil EL KORSO	Professeur CentraleSupélec/L2S	
M. Jordi VILÀ-VALLS	Enseignant-Chercheur ISAE-SUPAERO	
M. Laurent LESTARQUIT	Ingénieur CNES Toulouse	Co-encadrant de thèse

Résumé : La réflectométrie par système de navigation par satellite, ou GNSS-R, est l'étude des signaux de géolocalisation réfléchis sur la surface de la Terre. Ces signaux dits d'opportunité, souvent perçus comme des nuisances pour le bon fonctionnement des récepteurs de navigation, sont en fait une source d'information sur la nature et la position de la surface de réflexion. Suivant la plateforme sur laquelle se situe le récepteur (e.g. station sol, avion) et la surface de réflexion (e.g. mer agitée, lac), le signal réfléchi présente des déformations plus ou moins faciles à modéliser, et les approches pour en estimer les paramètres d'intérêt varient. Ce travail de thèse repart du problème du multitrajet lors d'une navigation en milieu contraint. Celui-ci peut être modélisé comme un problème d'estimation à deux sources, où la source principale est le signal d'intérêt et la source secondaire est une unique réflexion de ce même signal. En fonction du scénario et des ressources à disposition, il est possible i) d'estimer les paramètres d'intérêt (i.e. retard, Doppler, amplitude et phase) des deux sources, ou bien ii) de n'estimer que les termes d'une seule source, au risque d'obtenir des estimations biaisées par la présence du signal parasite. Dans tous les cas il est nécessaire de maîtriser les performances atteignables pour ces problèmes d'estimation. Pour cela des outils de la théorie de l'estimation, tels que la borne de Cramér-Rao (BCR) peuvent être utilisés. Dans le cadre de cette thèse la BCR a été calculée pour le cas d'un modèle bien spécifié (deux sources) et d'un modèle mal spécifié (une source). Ces bornes ont été comparées aux performances de différents estimateurs afin d'obtenir une caractérisation théorique du problème. Cela a permis d'établir un cadre mathématique qui s'applique au problème du GNSS-R proche du sol, pour lequel le signal réfléchi est peu déformé par la surface de réflexion. Dans ce cas, les signaux direct et réfléchi sont très proches en temps, ce qui conduit à des interférences entre eux et à une dégradation des performances. Les techniques de GNSS-R existantes, mal adaptées au cas proche du sol, ont alors été comparées aux BCR et à deux approches : i) une approximation du critère de vraisemblance dans le cas où les deux sources sont temporellement très proches et ii) une application d'estimateurs à deux sources pour éliminer l'interférence. Cette partie sur la réflectométrie proche du sol s'appuie sur les données d'une campagne de mesure organisée par le CNES (Toulouse, France). Le problème se modifie progressivement lorsque l'élévation du satellite augmente : la réflexion, jusqu'alors supposée cohérente devient lentement non-cohérente car sensible à la rugosité de la surface. La détection automatique de cette transition (i.e. de cohérent à non-

cohérent) est capitale pour de futures missions satellite. La cohérence d'une réflexion s'observe principalement sur la différence de phase entre les signaux réfléchis et directs. Ainsi une étude statistique de séries temporelles de cette grandeur permet de construire des tests en fonction de la gaussianité de cette série ou de sa régularité. Les tests proposés ont été appliqués à des données fournies par l'ICE-CSIC (Barcelone, Espagne). Enfin, pour des cas où la surface de réflexion déforme le signal de manière significative, il est nécessaire de travailler sur un modèle de signal plus adapté. L'approche envisagée dans cette thèse est de considérer le signal réfléchi comme la convolution du signal émis et de la réponse impulsionnelle de la surface de réflexion. Cette modélisation s'accompagne du calcul de la BCR, ainsi que de l'implémentation de l'algorithme du maximum de vraisemblance. La question de la détermination de la taille de la réponse impulsionnelle, c'est-à-dire du nombre de points nécessaires pour la décrire est alors traitée à l'aide de différents tests statistiques. Les résultats obtenus par simulation montrent le potentiel de cette nouvelle approche.

Mots clés : traitement du signal, GNSS, télédétection, estimation

Summary: GNSS Reflectometry (GNSS-R) is the application of GNSS signals to determine geophysical parameters of the Earth's surface, as well as the atmospheric layer above. The idea is to jointly exploit the direct and reflected GNSS signals. These reflected signals are particularly interesting on water or ice surfaces. The receiver can be located at all altitudes: from the ground to low Earth orbit (LEO) satellites. In this PhD we will mainly focus on airborne scenarios. Two major types of measurements can be made: i) relative power measurements between direct and reflected signals from which we can derive, for instance, the surface roughness, and by extension the surface wind (this is the mission CYGNSS), and ii) measurements of relative delay between direct and reflected signals, the latter being of interest in this thesis. Preliminary work has already been conducted on carrier phase measurements, with precision on the order of the centimeter (in contrast with standard code-based measurements with precision of several meters), such as in high precision GNSS. The price to pay is the need of phase ambiguity resolution. In early 2019, the Galileo constellation will be fully deployed, and the first new generation GPS satellites (block III) will be launched. The arrival of new signals will provide civilian users an unprecedented performance improvement for GNSS reflectometry, exploiting multi-frequency signals such as the Alt-BOC or meta-signals.

Keywords: signal processing, GNSS, remote sensing, estimation