

Tuteur :

Date :

Sujet : Estimation du contenu électronique de la ionosphère par needlets

Le Système EGNOS diffuse aux usagers mono-fréquence des corrections liées à la traversée du signal GPS dans la ionosphère. La qualité de ces corrections est le principal contributeur à la performance de disponibilité d'EGNOS. La ionosphère est un système physique complexe dont la dynamique est principalement concentrée à l'Equateur géomagnétique, les régions de moyenne latitudes subissent, elles, une activité moins perturbée.

La combinaison "Geometry-free" de mesures bi-fréquences des signaux de navigations permet d'évaluer le retard ionosphérique sur l'axe à vue affectant la pseudo-distance. Cette combinaison contient également les biais instrumentaux, c'est à dire le temps passé par le signal à traverser les équipements (récepteurs et émetteurs).

Afin de séparer dans cette combinaison ce qui relève de biais constants et des effets de la dynamique ionosphérique il est nécessaire de modéliser le retard ionosphérique. La ionosphère peut être modélisée par une couche fine, contenant l'ensemble de la densité électronique totale, ou bien par des multicouches. Les méthodes actuelles proposent une décomposition du délai ionosphérique en série de Fourier sur la sphère (harmoniques sphériques) sur chaque couche du modèle (mono ou multi couches). Il s'agit d'une décomposition fréquentielle qui permet d'étendre la notion usuelle de transformée de Fourier pour un signal défini sur la sphère et non pas sur un intervalle.

Malheureusement cette modélisation en harmoniques sphériques n'est pas adaptée à l'analyse de signaux dont les propriétés fréquentielles peuvent varier localement sur la sphère. En particulier, cette modélisation n'est pas satisfaisante pour la ionosphère en cas de gradients spatiaux et/ou temporels élevés. Ce défaut de modélisation implique un mauvais ajustement des biais instrumentaux impactant directement la performance du système EGNOS.

L'objectif de cette thèse est de mettre en place une autre modélisation d'un signal défini sur la sphère. Pour cela, on propose d'utiliser des décompositions du type ondelettes sur la sphère (les needlets) puis de prototyper cette méthode afin d'en évaluer la performance par rapport à des données de référence. Le principe d'une décomposition en ondelettes est de pouvoir analyser localement les propriétés fréquentielles d'un signal et donc d'obtenir une meilleure modélisation qu'avec une analyse en série de Fourier. Le but recherché est de diminuer sensiblement les erreurs de modélisation surtout en région équatoriale où l'activité ionosphérique est plus élevée.



TITRE : Estimation du contenu électronique de la ionosphère par needlets

Année 2014 Comité Thèses

Nb pages
2/4

Intérêt TAS :

TAS se positionne actuellement dans la reprise et l'approfondissement de compétences des algorithmes de systèmes de navigation, en développant une chaîne complète de référence pour le calcul de corrections et d'intégrité compatible du système EGNOS.

La maîtrise d'algorithmes innovants, capable de résoudre le problème conjoint de calcul de délai ionosphérique et de biais instrumentaux, fournira à TAS la capacité de construire un système SBAS plus robuste et plus disponible lorsque la couche ionosphérique est affectée des gradients spatiaux et/ou temporels importants, telle qu'ils apparaissent majoritairement dans les zones équatoriales.

Cette thèse permettra à TAS de monter en compétence algorithmique sur des sujets mathématiques poussés et à la pointe de recherches actuelles.

Etat de l'art – Innovation proposée :

Les hautes couches de l'atmosphère terrestre, qui constituent l'ionosphère, perturbent la propagation des signaux GNSS. Ces perturbations dégradent la précision de la mesure de distance. A côté des effets de diffraction la ionosphère modifie la propagation des signaux GNSS, en effet l'onde porteuse et sa modulation (le code) voyagent à des vitesses différentes. La vitesse de propagation du code ralentit et devient légèrement plus faible que la vitesse de la lumière, induisant un délai dans la mesure de distance.

Ce délai ionosphérique dépend essentiellement de la fréquence du signal et de la densité d'électrons libres dans l'ionosphère. Afin de corriger partiellement cette dégradation, le système EGNOS diffuse des paramètres de correction ionosphérique aux utilisateurs lors de leur calcul de position.

Les observables dont on dispose sont bi-fréquences et permettent de calculer ce délai ionosphérique. Cependant cette combinaison contient également les biais instrumentaux au niveau émetteur et récepteur. Des méthodes de filtrages permettent de séparer de ces observables la partie constante (équivalent aux biais instrumentaux) et la partie dynamique que contient la composante ionosphérique. Cependant les modèles actuels appliqués à la ionosphère sont basés sur des décompositions de fonctions à l'aide d'harmoniques sphériques. De ce fait, ils ne rendent pas compte du caractère géographiquement localisé des observations dans le cadre d'EGNOS.

Pour contourner cette difficulté, il faut utiliser une base de projection adaptée qui soit composée de fonctions bien localisée sur la sphère, contenant une dynamique elle-même très localisée, pour rendre compte de variations haute fréquence de la ionosphère.

Récemment, il a été construit de nouvelles bases d'analyse de fonctions définies sur la sphère qui ont de bien meilleures propriétés d'approximation locales que les harmoniques sphériques [3]. Une construction particulière intéressante pour le sujet de cette thèse est celle des needlets qui constituent une extension de l'analyse classique par ondelettes d'une fonction définie sur un intervalle, et qui conduisent à la construction de bases bien localisées à la fois en espace et en fréquence sur la sphère. Les needlets ont été utilisées avec succès dans le domaine de l'astrophysique pour l'analyse du fond diffus cosmologique (CMB) qui est un problème d'analyse statistique de données réparties sur la sphère [1,2]. Il s'agit d'un outil d'analyse harmonique qui est à la pointe de la recherche en mathématiques appliquées et traitement du signal, et dont les applications potentielles dans de nombreux domaines scientifiques (géophysique, météorologie, géostatistique, imagerie médicale...) sont encore nombreuses.

Les needlets apparaissent donc comme un outil tout à fait prometteur pour l'analyse des propriétés locales de la ionosphères. Toutefois, un des verrous scientifiques à lever est l'utilisation des décompositions en needlets pour l'analyse statistique de mesures sur la sphère en des points d'échantillonnage irrégulier. Dans ce contexte, de nouvelles

techniques de seuillages devront être définies afin de ne retenir que les coefficients pertinents de la décomposition en needlets de la ionosphère pour sa reconstruction à partir de données incomplètes et irrégulièrement réparties. A partir de ces résultats, il sera ensuite étudié la possibilité d'améliorer les algorithmes actuels de filtrage basés sur la décomposition de la ionosphère en harmoniques sphériques.

[1] A full sky, low foreground, high resolution CMB map from WMAP. Delabrouille, Cardoso, Le Jeune, Betoule, Faÿ, Guilloux, Astronomy and Astrophysics (2009)

[2] CMB power spectrum estimation using wavelets. Faÿ, Guilloux, Betoule, Cardoso, Delabrouille, Le Jeune, Physical Review (2008)

[3] Practical wavelet design on the sphere. Guilloux, Faÿ, Cardoso, Applied and Computational Harmonic Analysis (2009)

Labo d'accueil – Références :

Directeur de thèse : Jérémie Bigot - Enseignant/Chercheur à l'ISAE

**Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE)
Département Mathématiques, Informatique, Automatique (DMIA)
10, avenue Édouard-Belin
BP 54032 - 31055 Toulouse CEDEX 4**

e-mail : jeremie.bigot@isae.fr

Thèmes de recherche au sein du DMIA en lien avec le sujet de thèse : activités de recherche centrées sur l'étude des aspects théoriques et appliqués de la statistique pour l'analyse de données de grande dimension pour le traitement du signal et de l'image. Applications en traitement du signal dans le domaine de la navigation et en imagerie astronomique. Recherche de partenariats avec l'industrie aéronautique à Toulouse pour des projets de recherche appliquée en statistique et probabilités.

Candidat :

Non encore finalisé.

Alternatives possibles : stagiaire de fin d'étude (élève SUPAERO ou ENAC motivé par une poursuite en thèse).

Déroulement de la Thèse - Activités, étapes :

• **Analyses préliminaires (Année 1) :**

- étude détaillée des algorithmes utilisés par le système EGNOS pour la diffusion des paramètres de correction ionosphérique,
- état de l'art des méthodes d'interpolation/lissage sur la sphère à partir de données incomplètes et irrégulièrement espacées,
- revue de la littérature sur les needlets et de son utilisation pour des problèmes d'interpolation sur la sphère,
- étude de l'extension possible de l'utilisation des needlets pour l'analyse de données dans un modèle de ionosphère mono et/ou multi-couches.

• **Analyse détaillée des performances des solutions retenues (Année 2) :**

- proposition de nouvelles méthodes d'estimation du délai ionosphérique à partir de décomposition en needlets,
- analyse des performances à partir de signaux simulés, et comparaison avec les méthodes actuelles basées sur des décompositions en harmoniques sphériques.

• **Caractérisation des performances en conditions réelles (Année 3) :**

- codage de la méthode pour l'utilisation dans une chaîne de traitement de données réelles,
- définition d'un plan d'expérimentations, et acquisition de base de données de mesures,
- traitement (en temps différé) des données acquises et analyse des performances de la nouvelle méthodologie mise en place par rapport à l'existant.



**TITRE : Estimation du contenu
électronique de la ionosphère par
needlets**

Année 2014 Comité Thèses

Nb pages
6/4

Commentaires éventuels :



TITRE : Estimation du contenu électronique de la ionosphère par needlets

Année 2014 Comité Thèses

Nb pages
7/4

Décision du Comité :

(*) Commentaires :

Accepté

Refusé

A re-soumettre (*)