

Projet N°40: Mesure de phase des signaux pour la météorologie de l'espace

Année 2016

Encadrants techniques : Daniel BOURREAU, Emmanuel DANIEL, Rolland FLEURY

Encadrants de Gestion de Projet: Thierry DUVAL, Marie-Laure MOULINARD

Partenaires : Patrick LASSUDRIE-DUCHESNE, Association Observation Radio Pleumeur-Bodou (ORPB)

Mots clés : Météorologie de l'espace, mesure de phase, éruption solaire, signaux très basse fréquence, Minimum-Shift Keying (MSK), Spectrum Lab, Matlab.

Résumé : Ce projet nous a permis d'appréhender certains phénomènes solaires ainsi que leurs conséquences sur la Terre, notamment sur la propagation des ondes radioélectrique. Les signaux VLF (très basses fréquences) sont très sensibles aux variations d'ionisation provoquées lors d'éruptions solaires. Une étude précédente portait sur la mesure de l'amplitude de signaux distants et effectivement permet d'observer et de mesurer de brusques variations sur des séries temporelles. Cette année, notre projet consiste en la mesure de la phase de ces mêmes porteuses qui à priori est plus pure et plus sensible. Notre plus grande difficulté a été d'isoler la porteuse des signaux qui sont modulés en phase de type MSK [1] et d'introduire une référence stabilisée pour obtenir une variation de phase relative quantifiée. Nous présentons les 2 outils existants dans la littérature qui répondent à notre problème et des travaux personnels que nous avons développé sous Matlab pour simuler le calcul de la phase.

1. Présentation et contexte du projet

Le projet proposé par l'association "Observation Radio de Pleumeur Bodou", nous demande d'étudier la faisabilité d'un système permettant de détecter des éruptions solaires à l'aide de mesures de phase de signaux VLF. L'émission d'UV et de rayons RX par le Soleil lors des éruptions solaires augmente l'ionisation des basses couches de l'ionosphère. La propagation des ondes VLF (3-70 KHz) s'effectue dans le guide constituée par la surface du sol terrestre et la couche D (situé entre 70 et 90 km d'altitude) de l'ionosphère. Ce mécanisme permet des liaisons VLF entre deux points distants de plusieurs milliers de km. Ces ondes sont principalement utilisées par les organismes de Défense. La puissance rayonnée est souvent importante et les antennes d'émission sont de grande taille aussi les émetteurs sont répertoriés et localisables. Actuellement, tous les pays utilisent une modulation MSK qui permet justement de diminuer cette puissance. Notre projet est de mesurer la phase de la porteuse de quelques porteuses identifiées en s'affranchissant de la modulation. Le graphe de l'évolution diurne temporelle de la phase doit montrer un niveau de jour, un niveau de nuit plus sensible à l'environnement et des variations rapides lors des transitions jour/nuit. Lors des heures de jour, il peut se superposer de brusques variations liées à des éruptions solaires. On doit utiliser des composants bas coûts et des logiciels libres puisque l'association ne peut pas dégager un fort budget pour cette étude.

2. Méthodologie développée pour aboutir

Nous avons commencé par faire un état de l'art approfondi sur le sujet. Ce problème est traité par de nombreux scientifiques et membres d'associations car il permet des observations indirectes de phénomènes solaires via des mesures de propagation dans notre environnement terrestre. C'est donc un sujet actuel pouvant être utilisé dans un souci de vulgarisation scientifique pour

comprendre les relations entre le Soleil et la Terre ('Space Weather'). Ceci est d'autant plus justifié que l'ORPB partage le site de Lannion avec le musée des Télécoms. Nous avons trouvé quelques logiciels disponibles gratuitement qui réalisent la mesure de phase des signaux VLF : VLF Toolkit [5] et Spectrum Lab [2]. Le premier est un code source de logiciels en C destinés à être exploités sous Linux et le second est une application fermée sous Windows avec une IHM pour introduire les paramètres nécessaires. Nous avons également décidé de développer un logiciel de simulation de signaux MSK sous Matlab pour le paramétrage de la chaîne d'acquisition (algorithmes de détermination de la phase, éléments pour la digitalisation du signal analogique, précisions des mesures de phase à la variation de la fréquence de la porteuse, influence du bruit de mesures). Un algorithme possible a été récemment fourni par des travaux de thèse de M. Maurer [3].

3. Développement des différentes tâches et principaux résultats

Nous avons donc traité le projet avec deux outils différents. Spectrum Lab, qui permet de traiter des signaux VLF numérisés par une carte son avec la difficulté de comprendre les traitements puisque les codes sources ne sont pas disponibles et Matlab qui permet d'écrire (donc de comprendre) les algorithmes. Une comparaison sera faite pour valider nos travaux.

Les données qui serviront pour les tests ont été en partie obtenues par la chaîne réception analogique, ainsi que des données générées par un script Matlab.

3.1 Partie laboratoire

Nous disposons d'une salle au département micro-onde pour effectuer les mesures à l'aide de Spectrum Lab. Nous avons utilisé la chaîne de réception analogique du projet de l'année dernière ainsi que la carte son pour digitaliser le signal temporel. Spectrum Lab pilotant la carte son, nous avons choisi de l'utiliser aussi pour mesurer le glissement de phase. Cet outil demande néanmoins une référence de temps externe précise, nous utilisons un générateur de laboratoire.

Nous devons de plus être capables de configurer le logiciel pour qu'il puisse suivre un signal d'un émetteur sélectionné dans la gamme comprise entre 10 et 100 kHz. La précision des mesures peut dépendre du taux d'échantillonnage et de la fréquence centrale (la cause en est la bande passante de la carte son).

3.2 Partie Matlab

Nous avons choisi de développer notre propre manière de suivre le glissement de phase d'un signal car Spectrum Lab n'est malheureusement pas un logiciel facile à manipuler. L'objectif secondaire est d'implémenter une méthode de mesure de phase dans un script Matlab. L'algorithme doit donc éliminer les termes de phase qui contiennent l'information, afin de ne récupérer que celui qui nous permet de suivre l'effet d'une éruption solaire ou des transitions jour-nuit.

4. Conclusions et perspectives

Le projet consistait à proposer et réaliser une méthode de traitement des glissements de phase des signaux VLF dans le but d'améliorer la détection d'une éruption solaire. La chaîne radio existante a été complétée pour extraire la phase selon une méthode que nous avons développée avec les techniques de calculs de Matlab et SpectrumLab. Le système matériel peut évoluer en utilisant une plateforme telle que Raspberry Pi sous le système d'exploitation Linux et en implantant nos techniques de calcul avec l'usage de VLF Toolkit. Le système logiciel peut comporter des traitements additionnels pour permettant d'alerter l'utilisateur des événements caractéristiques d'éruption solaire.

Bibliographie

[1] PASUPATHY, S. Minimum Shift Keying: a Spectrally Efficient Modulation. IEEE Communications Magazine. Aug. 1979.

[2] AUDET, J. "Using Spectrum Laboratory (Spec Lab) for Precise Audio Frequency Measurements". SEFI-EJEE European Journal of Engineering Education, "Engineering Competencies". col 1.15 - Nov 2009. [3] MAURER, C. "Construction of and First Results from VADar(VLF Antenna Darmstadt)". Master-Thesis. Nov 2012.

[4] NICHOLSON, P - <http://abelian.org/vlfrx-tools/notes.html>