



HAL
open science

ECHANTILLONNAGE COMPRIME POUR LES SIGNAUX ASTROPHYSIQUES

Yosra Gargouri, Hervé Petit, Patrick Loumeau, Baptiste Cecconi, Patricia
Desgreys

► **To cite this version:**

Yosra Gargouri, Hervé Petit, Patrick Loumeau, Baptiste Cecconi, Patricia Desgreys. ECHANTILLONNAGE COMPRIME POUR LES SIGNAUX ASTROPHYSIQUES. 11ème colloque du GDR SoC-SiP 2016, Jun 2016, Nantes, France. hal-01358618

HAL Id: hal-01358618

<https://hal.science/hal-01358618v1>

Submitted on 1 Sep 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

ECHANTILLONNAGE COMPRIMÉ POUR LES SIGNAUX ASTROPHYSIQUES

Yosra Gargouri¹, Hervé Petit¹, Patrick Loumeau¹, Baptiste Cecconi², Patricia Desgreys¹

¹ Télécom ParisTech, LTCI/CNRS, 75013 Paris. Email : yosra.gargouri@telecom-paristech.fr

² Observatoire de Paris, LESIA/CNRS, F-92195 Meudon cedex

Résumé

La conception d'une architecture de récepteur radio basé sur l'échantillonnage comprimé (compressed sampling CS) nécessite, en premier lieu, de trouver une base de parcimonie appropriée au signal étudié. Dans ce papier nous analysons un signal astrophysique (signal jovien de bande passante [0,40 MHz]) en relevant son information utile et nous étudions sa compressibilité.

Le résultat expérimental montre que le signal est compressible dans le domaine fréquentiel avec un facteur de compressibilité de 1/10.

Mots-clés : échantillonnage comprimé, signal compressible, signaux astrophysiques, base de parcimonie.

1 Introduction

L'augmentation continue du nombre de données acquises et traitées nécessite le développement de nouvelles architectures d'échantillonnage. L'échantillonnage comprimé (CS) est une technologie récente attractive pour limiter le nombre de données stockées et la consommation de puissance. Il permet d'envisager le développement d'un nouveau type de convertisseur : les convertisseurs Analogique-Information (ou Analog to Information Converter, AIC). Contrairement aux Convertisseurs Analogique-Numérique standards qui échantillonnent à une fréquence supérieure ou égale à deux fois la largeur de bande du signal, le CS permet d'échantillonner à une fréquence plus faible, en exploitant le caractère parcimonieux du signal.

Le CS a été le sujet de plusieurs recherches dans différents domaines (Imagerie médicale, radar, radio-intelligente...). Néanmoins, il y a eu peu de publications, à notre connaissance, concernant le domaine de l'astronomie. On peut citer [1] et [5] dont les travaux portent sur les applications de CS dans l'imagerie spatiale.

Dans ce papier nous étudions l'application du CS pour l'acquisition des signaux astrophysiques. La section 2 introduit la théorie de CS. La section 3 étudie la compressibilité d'un signal avant de conclure en section 4.

2 THEORIE DE CS

2.1 Acquisition

Le CS permet d'acquérir une information avec un nombre réduit d'échantillons, potentiellement bien moindre que selon les critères de Shannon-Nyquist. Mathématiquement, le CS est défini par (1) :

$$Y = \Phi X + Z \quad (1)$$

Y représente les données compressées qui seront numérisées par le quantificateur CAN, il est formé par M mesures. X est le signal inconnu formé par N échantillons. ϕ est la matrice de mesure (Gaussienne, Bernoulli, DFT...) de taille M x N, avec N > M, modélisant un sous-échantillonnage et Z est un terme de bruit inconnu.

2.2 Parcimonie et compressibilité

La parcimonie exprime l'idée que le taux de l'information du signal est plus petit que celui suggéré par sa bande passante. Dans le CS, plus le signal est parcimonieux, plus faible est le nombre d'échantillons nécessaires à sa reconstruction. Un signal est K parcimonieux dans une base ou un dictionnaire s'il peut être décrit par un faible nombre K de coefficients non nuls dans cette base/dictionnaire ($K \ll M < N$). Il est exprimé par (2) :

$$X = \psi s \quad (2)$$

Avec s la représentation parcimonieuse de X tel que $\|s\|_0 \leq K$ et ψ est la base de parcimonie de dimension N x N. Peu de signaux naturels sont parcimonieux : quand on parle de parcimonie en CS, on parle en réalité de la compressibilité. Un signal est compressible si la valeur absolue de l'amplitude de ses coefficients triés dans ψ suit une décroissance de la loi de puissance (3)

$$|s| \leq C i^{-q}, \quad q = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

C est une constante. Plus q est grand, plus la décroissance est rapide et plus le signal sera compressible [4].

3 PARCIMONIE D'UN SIGNAL ASTROPHYSIQUE

La compressibilité du signal est la première condition à vérifier pour concevoir un récepteur radio basé sur le CS.

Le but est de déterminer si notre signal astrophysique est parcimonieux/ compressible dans une base élémentaire.

3.1 Présentation du Signal Astrophysique

Les simulations ont été faites sur des émissions radios brèves et intenses produites suite à l'interaction Io-Jupiter, appelées structures fines ou S-bursts, et enregistrées à l'aide d'un récepteur numérique branché derrière le Réseau Décamétrique de l'observatoire de Nançay. Ce récepteur échantillonne à 80 MS/s sur 14bits. Figure 1 représente le spectrogramme du signal jovien pendant 5 secondes. Les signaux d'intérêt sont les S-bursts, caractérisés par la pente des droites qui dérivent des hautes vers les basses fréquences à des dizaines de MHz/sec. Ce signal est noyé dans des interférences radio fréquence (RFI). Les lignes verticales périodiques sont des émissions d'étalonnage, tandis que les lignes horizontales sont des parasites dus à des émissions radios terrestres (radars, radio, TV...).

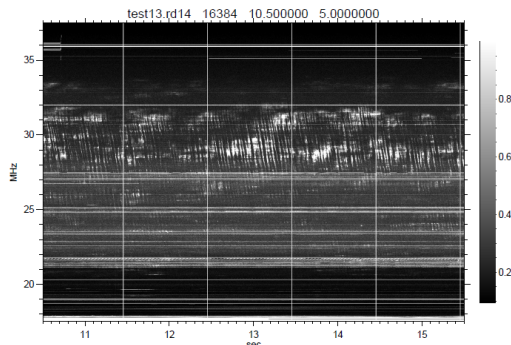


FIGURE 1. Spectrogramme du signal jovien

Afin de détecter l'information caractéristique du signal (la pente) dans ce milieu parasité, nous utilisons un algorithme robuste développé par les équipes de l'observatoire de Nançay baptisé FISSA (Fine Spectral Structures Algorithm). Le lecteur est invité à se reporter à la publication [3] pour une meilleure compréhension de l'algorithme. Dans notre cas, la pente est égale à 142 degrés.

3.2 compressibilité du signal

Nous procédons en premier lieu à la vérification de la parcimonie de notre signal dans des bases usuelles. Nous avons étudié la compressibilité du signal dans le domaine temporelle ($\psi=Identité$), dans le domaine fréquentiel ($\psi=DFT^{-1}$) et dans le domaine temps-fréquence avec différentes familles d'ondelettes.

Les simulations ont été faites sur 1 seconde de données. Cette étude nous a permis de confirmer que le signal jovien est compressible dans le domaine fréquentiel. La figure 2(a) illustre la décroissance rapide vers zéro des valeurs absolues des amplitudes des coefficients de Fourier triés par ordre décroissants. La figure 2(b) est un zoom sur quelques échantillons. La compressibilité du signal jovien suit $|s_i| = 3.72 \cdot 10^{-5} \cdot i$, $i = 1, 2, \dots, 8 \cdot 10^7$ dans la base de transformation DFT^{-1} . Notre signal jovien est, à titre compa-

ratif, plus compressible qu'un signal de parole éligible au CS d'après la référence [4].

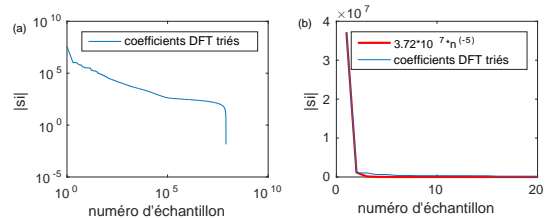


FIGURE 2. Compressibilité du signal jovien

3.3 Discussion

Nous avons conclu que notre signal est compressible dans le domaine fréquentiel. Néanmoins, l'existence des parasites de forte puissance pourrait altérer nos conclusions : si le bruit se concentre dans les coefficients les plus puissants, on risque de comprimer le bruit et pas le signal. En effet, grâce aux travaux de Candès [2], nous savons que la reconstruction d'un signal en CS offre une distorsion comparable à celle obtenue en extrayant les K coefficients les plus significatifs du signal. Afin de vérifier le bien-fondé de nos résultats, nous avons appliqué l'algorithme FISSA sur seulement les 10% des plus grands coefficients de Fourier du signal brut. Nous constatons que la pente du signal est bien détectée. Les résultats nous rendent confiant sur la pertinence du choix de la base fréquentielle comme base de parcimonie.

4 Conclusion

Dans ce papier nous avons étudié la compressibilité d'un signal astrophysique (jovien). Nous avons démontré sa compressibilité dans le domaine fréquentiel. En appliquant l'algorithme FISSA pour l'extraction de l'information utile nous avons établi que le niveau de compressibilité est égal à 10% des échantillons. Cette étude de parcimonie va servir par la suite à déterminer la matrice de mesure et le nombre de mesures à acquérir.

Références

- [1] Bobin Jérôme, J.-L. Starck, and R. Ottensamer. Compressed sensing in astronomy. *Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of*, 2(5) :718–726, 2008.
- [2] E. J. Candès and M. B. Wakin. An introduction to compressive sampling. *Signal Processing Magazine, IEEE*, 25(2) :21–30, 2008.
- [3] C. Dumez-Viou, P. Ravier, and P. Zarka. Real time detection of natural brief events in a corrupted environment. *Proceedings of the XXVIIIth General Assembly of the International Union of Radio Science*, 2005.
- [4] A. Kundu and P. K. Roy. Sparse Signal Recovery from Nonadaptive Linear Measurements. *arXiv preprint arXiv :1310.8468*, 2013.
- [5] Y. Wiaux, L. Jacques, G. Puy, A. Scaife, and P. Vanderghynst. Compressed sensing imaging techniques for radio interferometry. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 395(3) :1733–1742, 2009.