



Proposition de thèse 2014

Titre : Conception d'un récepteur de radio numérique basé sur l'échantillonnage comprimé.

Co-Encadrants : Herve Petit, Patricia Desgreys et Patrick Loumeau
Département Communications et Electronique - Telecom ParisTech
46, rue Barrault - 75634 Paris Cedex 13
Téléphone: (33) 1 45 81 72 58 Fax : (33) 1 45 80 40 36
Email : Herve.Petit@telecom-paristech.fr, Patricia.Desgreys@telecom-paristech.fr,
Patrick.Loumeau@telecom-paristech.fr

Contexte :

Les applications nécessitant la numérisation des signaux analogiques demandent de plus en plus de bande passante et de dynamique. Cette tendance est liée à la simplification des fonctions analogiques en amont de cette conversion et à l'accroissement du traitement numérique en aval beaucoup plus adapté aux technologies d'intégration avancées. A l'interface, le convertisseur analogique-numérique est donc fortement contraint par cette demande simultanée de vitesse et de dynamique. **Ces deux performances sont en effet très difficiles à satisfaire simultanément pour une efficacité énergétique donnée de ce composant.** Une des solutions envisagée actuellement est d'utiliser plusieurs convertisseurs fonctionnant en parallèle afin de réduire la cadence individuelle de chaque convertisseur et obtenir une dynamique suffisante. Ceci est au prix d'un accroissement du traitement numérique nécessaire à la compensation des différents défauts liés au parallélisme [1].

Les travaux de recherche se dérouleront au sein de l'équipe « Circuits et Systèmes de Communication » (C2S), qui développe des interfaces radio reconfigurables pour la radio intelligente. Cette équipe était coordinatrice du projet TEROPP de 2007 à 2011 (technologies de terminaux dans les applications radio-opportunistes) regroupant 6 Instituts Carnot et 3 Instituts Fraunhofer [2]. Elle a été impliquée dans le projet européen FP7 SACRA (spectre et efficacité énergétique par le biais de la radio cognitive multi-bandes) où un ADC Sigma-Delta temps continu a été conçu et testé [3] et dans le projet européen ENIAC ARTEMOS (émetteurs-récepteurs RF agiles et front-ends pour les futures applications de communications intelligentes multistandards), où notamment une nouvelle architecture de récepteur Sigma-Delta est explorée [4]. En septembre 2013, elle a également débuté un projet avec le Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique (LESIA) dans le but de concevoir un récepteur de radio numérique pour les missions spatiales futures dont les exigences se situent au niveau de la dynamique des signaux, jusqu'à 120 dB et au niveau de la bande de fréquence de 100 MHz (actuellement 16 MHz [7]). L'idée d'échantillonnage comprimé s'adapte très bien à cette dernière application qui pourra servir d'application.



Positionnement du sujet :

Une nouvelle approche, pour résoudre le verrou énergétique des convertisseurs de données hautes performances, considère qu'un signal possédant certaines propriétés de parcimonie peut être reconstruit avec un nombre d'échantillons bien inférieure à celui qu'impose la limite de Shannon-Nyquist associée à son occupation spectrale B . Classiquement, l'acquisition d'un tel signal utilise une cadence d'échantillonnage élevée ($>2B$) suivie d'une compression des données. Comme indiqué précédemment, cette solution est très contraignante en termes de complexité matérielle.

Pourquoi ne pas combiner l'acquisition et la compression ? C'est l'objet d'une recherche récente: l'acquisition comprimée (compressed sensing, [5]).

A titre d'exemple, la référence [6] montre une réalisation utilisant une cadence d'échantillonnage de seulement 236 Ms/s et permettant la reconstitution d'un signal dans la bande 800 MHz - 2 GHz dont l'occupation spectrale non contiguë est de 100 MHz.

Cet exemple exploite l'échantillonnage non uniforme du signal (en ne gardant qu'un échantillon sur 19 en moyenne).

De son côté, l'équipe C2S a développé une expérience significative dans l'échantillonnage non uniforme (NUS) qui permet effectivement de réduire la consommation du récepteur en relâchant les contraintes sur les parties analogiques car moins d'échantillons sont numérisés. Notre équipe a proposé le premier récepteur NUS pour la numérisation d'un signal multistandard [7], [8].

En conséquence, nous proposons à présent de réaliser un récepteur radio numérique basé sur l'échantillonnage comprimé mettant à profit les propriétés parcimonieuses du signal pour aller plus loin dans la réduction du nombre d'échantillons et l'allègement énergétique des traitements. La radio cognitive et la radio numérique pour les applications en astrophysique fourniront de très bons exemples d'application.

Plan de travail :

Le programme de recherche proposé est le suivant:

- * Etat de l'art sur l'échantillonnage comprimé (compressed sampling)
- * Application de l'échantillonnage non-uniforme à l'acquisition comprimée du signal
- * Proposition d'architecture(s) innovante(s) exploitant l'échantillonnage comprimé
- * Etude système des solutions proposées dans un cas concret d'application liée à la radio intelligente (agrégation de spectre ou détection de spectre (sensing)) et à la radioastronomie dans la bande de 100 MHz
- * Prise en compte des différentes imperfections technologiques liées à une implémentation physique.

1. *Digitally assisted data converter design*. **Murmann, B.** 2013, ESSCIRC - Sept. 2013
2. *A Comparative Study of Loop Filter Alternatives in Second-Order High-Pass Sigma Delta Modulators*. **Khushk, H., Loumeau, P. and Nguyen, V. T.** 2011, IEEE TCAS-I, Vol. 58, pp. 2604-2613.
3. *A Low-Power Sigma Delta ADC Optimized for GSM/EDGE Standard in 65-nm CMOS*. **Fakhoury, H., et al.** 2011. Proceedings of the IEEE ISCAS 2011.



4. *Direct Delta-Sigma Receiver: Analysis, Modelization and Simulation*. **T. M. Nguyen, C. Jabbour, C. Ouffoue, P. Loumeau et V. T. Nguyen**. May 2013. Proceedings of the International Symposium on circuits and systems 2013.
5. *Compressive Sensing Resources*, <http://dsp.rice.edu/cs>
6. *A Nonuniform Sampler for Wideband Spectrally-Sparse Environments*. **Wakin, M. et al.** IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, Sept. 2012
7. <http://lesia.obspm.fr/SORBET-sur-MMO-BEPICOLOMBO.html>
7. *Non-Uniformly Controlled Analog-to-Digital Converter for SDR Multistandard Radio Receiver*. **M. Ben Romdhane, C. Rebai, A. Ghazel, P. Desgreys and P. Loumeau**. IEEE TCAS-II, Dec. 2011
8. *Towards Time-Quantized Pseudo-Random Sampling for Green Communication*. **A. Maalej, M. Ben-Romdhane, C. Rebai, A. Ghazel, P. Desgreys, P. Loumeau**. IEEE TCAS-II, 2014.