

## Synchronisation d'horloges dans un système réparti à numérisation ultra-rapide

### Synchronization of clocks in an ultra-rapid scan distributed system

**Porteur(s) :** S. Bosse, C. Taffoureau (USN)

**Partenaire(s) :** F. Vernotte (UTINAM), N. Gorgy (GORGY TIMING)

#### Résumé du projet en Français :

Depuis quelques années, plusieurs projets de synchronisation ont vu le jour, chacun avec des spécifications différentes. Dans le monde de la radioastronomie, le besoin de numériser les signaux au plus près des antennes est grandissant. Cependant, cela nécessite de répartir l'horloge d'échantillonnage convenablement, et par conséquent de les synchroniser. Un des projets de radioastronomie les plus ambitieux actuellement est le projet international SKA « Square Kilometer Array ». Ce futur radiotélescope, de surface collectrice équivalente à 1 km<sup>2</sup>, sera composé de réseau d'antennes formant le cœur et de sous réseaux distribués sur de longues distances.

Depuis 2 ans, dans le cadre d'une ANR, le projet AAIR « Aperture Array Integrated Receiver » étudie la numérisation de signaux sous les tuiles (ensemble d'antennes Vivaldi) utilisées dans un réseau phasé dense, cela dans la bande de fréquence milieu [300 MHz - 1500 MHz] des réseaux phasés denses (MFAA : Middle Frequency Aperture Array). Ce projet AAIR doit contribuer à l'élaboration d'une tuile optimisée en performances / consommation / coût à l'aide de l'intégration électronique dans des puces ou ASIC (Application-Specific Integrated Circuit). La faisabilité d'un gigantesque réseau phasé dense en plein désert sera alors plausible.

La particularité de notre système à numérisation proche des antennes, au cœur des tuiles Vivaldi, vient d'un besoin de synchronisation sur de courtes distances (< 200 mètres) et devra être répartie sur une centaine de convertisseurs. Les fortes contraintes (faible coût, faible consommation, fréquence d'échantillonnage élevée) associées à la répartition de l'horloge doivent être résolues dans la vision d'un déploiement à grande échelle des réseaux phasés (quelques milliers de sous-ensembles de 100 - 200m<sup>2</sup>). L'aspect coût y est donc prioritaire.

L'objectif technologique est donc de démontrer que la solution étudiée, lors de notre précédente demande au Labex FIRST-TF, permettra de synchroniser et de dater plusieurs signaux numériques répartis sur de courtes distances, et cela en se passant des moyens actuels comme le « White Rabbit », bien trop onéreux à son déploiement dans un sous-ensemble (mais acceptable entre sous-ensemble).

#### Abstract in English:

In recent years, several synchronization projects have emerged, each with different specifications. In the world of radio astronomy, the need to digitize signals as close as possible to antennas is growing. However, this requires the sampling clock to be properly distributed, and therefore to be synchronized. One of the most ambitious radio astronomy projects currently is the international SKA project "Square Kilometer Array". This future radio telescope, with a collector area equivalent to 1 km<sup>2</sup>, will consist of a network of antennas forming the core and sub-networks distributed over long distances.

For 2 years, as part of an ANR, the AAIR project "Aperture Array Integrated Receiver" is studying the digitization of signals under the tiles (set of Vivaldi antennas) used in a dense phased array, in the middle frequency band. [300 MHz - 1500 MHz] dense phased arrays (MFAA: Middle Frequency Aperture Array). This AAIR project is expected to contribute to the development of a performance / consumption / cost optimized tile using electronic chip integration or Application-Specific Integrated Circuit (ASIC). The feasibility of a gigantic dense phased network in the middle of the desert will then be plausible.

The particularity of our scanning system near the antennas, at the heart of the Vivaldi tiles, comes from a need for synchronization over short distances (<200 meters) and will have to be distributed over a hundred converters. The strong constraints (low cost, low consumption, high sampling frequency) associated with the clock distribution must be solved in the vision of a large-scale deployment of phased networks (a few thousand subsets of 100 - 200m<sup>2</sup>). The cost aspect is therefore a priority.

The technological objective is therefore to demonstrate that the solution studied, during our previous application

to the Labex FIRST-TF, will allow to synchronize and date several digital signals distributed over short distances, and this without the current means such as the " White Rabbit ", far too expensive to deploy in a subset (but acceptable between subset).

#### Résultats marquants :

Une étude approfondie nous a permis d'une part de faire un état de l'art et de définir 2 solutions possibles pour synchroniser et dater les données de plusieurs numériseurs (ADC). La précision souhaitée sur l'horloge de numérisation de 3 GHz est de 30 ps.

Cette étude a abouti à la réalisation de 2 solutions :

- une carte de distribution d'horloge pour une référence analogique de 10 MHz. Cette carte distribue le 10 MHz vers les numériseurs par des câbles coaxiaux. Cette solution a un faible coût mais a comme inconvénient une précision de mesure et de compensation de phase de  $0,1^\circ$  à 10 MHz (ou  $30^\circ$  à 3 GHz). Cette carte est en phase de tests. Le firmware de mesure de la phase par corrélation a été réalisé.

- une carte de distribution d'horloge pour une référence numérique de 200 MHz. Dans cette solution, la fréquence de référence de 200 MHz est envoyée par des fibres optiques vers les numériseurs. Outre le faible impact électromagnétique, la contrainte sur la précision de la phase à compenser est de  $2^\circ$ . Par contre, le coût est plus élevé que la solution précédente. Cette carte est en cours de production.

L'ensemble de la conception est achevé. La carte va partir en production.

#### Highlights:

This study led to the realization of 2 solutions:

- a clock distribution card for an analog reference of 10 MHz. This card distributes the 10 MHz to the scanners by coaxial cables. This solution has a low cost but has the disadvantage of a precision measurement and phase compensation of  $0.1^\circ$  to 10 MHz (or  $30^\circ$  to 3 GHz). This card is in the testing phase. The firmware for measuring the phase by correlation has been realized.

- a clock distribution card for a 200 MHz digital reference. In this solution, the reference frequency of 200 MHz is sent by optical fibers to the scanners. In addition to the low electromagnetic impact, the constraint on the accuracy of the phase to be compensated is  $2^\circ$ . However, the cost is higher than the previous solution. This card is being produced.