

Apprentissage par renforcement pour optimiser le “Time Delay Interferometry”

Reinforcement Learning for Time Delay Interferometry Ranging

Porteur(s) : A. Hees (SYRTE)

Partenaire(s) : A. Petiteau (APC), M. Staab et S. Shah (Albert Einstein Institute), N. Christensen (ARTEMIS)

Résumé du projet en Français :

Le “Laser Interferometer Space Antenna (LISA)” est une mission spatiale pilotée par l’ESA qui a pour but de mesurer les ondes gravitationnelles dans le domaine de fréquence s’étalant de 0.1 mHz à environ 1 Hz. Cette mission spatiale, qui se base sur les technologies les plus avancées en termes de métrologie de temps/fréquences, va ouvrir une nouvelle fenêtre sur l’Univers en détectant des ondes gravitationnelles dans le domaine des basses fréquences. Dans tous les interféromètres développés pour détecter des ondes gravitationnelles, le bruit de phase du laser domine le signal de plusieurs ordres de grandeur. Alors qu’il est possible d’ajuster par le biais de boucles d’asservissement la longueur des bras des interféromètres au sol (tels que LIGO/VIRGO) pour réduire ce bruit laser, LISA nécessitera un traitement de données au sol dédié à réduire ce bruit de phase. Ce traitement de données est nommé « Time Delay Interferometry – TDI » et consiste à combiner les différentes mesures interférométriques en introduisant des délais de sorte à ré-aligner les séries temporelles puis soustraire le bruit de phase de chaque laser. Les quantités résultant de cette procédure sont appelées « combinaisons TDI ». Pour pouvoir appliquer cette méthode, il est nécessaire de connaître précisément la distance entre les satellites et la désynchronisation des horloges à bord. L’approche standard est de mesurer directement ce temps de parcours en utilisant un code pseudo-aléatoire. Une approche alternative consiste à estimer directement les temps de parcours des photons en maximisant la suppression du bruit de phase dans les combinaisons TDI. L’utilisation des deux méthodes permettrait une vérification indépendante et fournirait, par le biais de la seconde, un moyen d’étalonner la méthode du code pseudo-aléatoire.

Dans ce projet, nous proposons de développer une méthode innovante basée sur l’apprentissage par renforcement pour estimer les délais TDI sans connaissance a priori du modèle de trajectoires des satellites sous-jacent. À court terme, ce projet sera directement utile dans le contexte de LISA. Sur le long terme, ce type de techniques sera important pour d’autres applications de temps/fréquence tels que la comparaison d’horloges sur Terre et dans l’espace par fibres ou par liens optiques en espace libre.

Abstract in English:

The Laser Interferometer Space Antenna (LISA) is an ESA-led space mission aimed at observing gravitational waves in the frequency range [0.1 mHz, 1 Hz]. This space mission, which relies on cutting-edge time/frequency transfer technology will open a new window on the Universe by detecting low frequency gravitational waves. In all gravitational wave interferometers, laser phase noise dominates the signal by several orders of magnitude. While noise cancellation in ground gravitational waves observatories is possible by adjusting the armlengths of the interferometer using feedback loops, LISA will have to rely on a post-processing technique called Time Delay Interferometry (TDI) to reduce laser phase noise. This technique essentially combines the various interferometric time series by applying appropriate delays in order to re-align and subtract laser frequency noise. In order to perform TDI, one has to determine the distances and desynchronizations between the LISA spacecraft very precisely. The standard approach is to measure them directly with a pseudo-random noise (PRN) code. An alternative consists in estimating ranges in post-processing by maximizing phase noise suppression in the TDI combinations. Using both methods would allow for independent verification and would provide a means, using the alternative technique, to calibrate the PRN method. In this project, we develop an innovative approach based on reinforcement learning in order to estimate the TDI delays in a model-independent way. In the short term, this will benefit the LISA project and in the long term, such techniques might be highly relevant for other time/frequency applications like fiber or free space optical clock comparisons on ground and in space.