

Détection robuste d'ondes gravitationnelles et atténuation des artefacts de prise de données

Spécialité Mathématiques appliquées

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LSN](#)

Candidature avant le 23/12/2022

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [MOUTARDE Herve](#)

+33 1 69 08 73 88

herve.moutarde@cea.fr

Résumé

Le travail proposé consiste à évaluer l'impact des artefacts présents dans le signal acquis sur l'exploitation physique des mesures du futur observatoire gravitationnel LISA.

Sujet détaillé

En 2016, l'annonce de la première détection directe d'ondes gravitationnelles a ouvert une ère durant laquelle l'univers sera sondé d'une manière inédite. Simultanément, le succès complet de la mission LISA Pathfinder a validé certaines technologies retenues pour le projet LISA (Laser Interferometer Space Antenna). Cet observatoire spatial sera constitué de trois satellites éloignés de 2.5 millions de kilomètres et écoutera l'univers gravitationnel à des longueurs d'ondes cent mille fois plus grandes que celles auxquelles sont sensibles les observatoires terrestres actuels. Son lancement est prévu par l'ESA pour 2035.

A la différence des observatoires au sol, sensibles à de rares signaux d'ondes gravitationnelles et soumis à un bruit de mesure dominant, un interféromètre spatial sera en permanence alimenté par un grand nombre de signaux distincts et caractérisés théoriquement à divers degrés de précision. Les estimations actuelles des quantités et types de source envisagent entre autres 60 millions de systèmes binaires galactiques émettant de manière continue, 10 à 100 signaux annuels provenant de trous noirs supermassifs, et de 10 à 1000 signaux annuels issus de systèmes binaires avec des rapports de masses extrêmes.

Comme dans toute expérience, les données réelles seront soumises à un certain nombre de bruits et d'artefacts à prendre en compte pour optimiser le potentiel scientifique de la mission. Des périodes d'interruption de prises de données sont en effet attendues, par exemple à cause de perturbations liées à la réorientation des antennes de communication avec la Terre ou de pertes de télémétrie. Des transitoires instrumentaux dits « glitches » peuvent aussi perturber le signal mesuré et potentiellement affecter la détection d'ondes gravitationnelles.

Un enjeu clé de la préparation de la mission LISA consiste à évaluer l'impact des artefacts présents dans le signal sur l'exploitation physique des mesures. Cette étude peut avoir des conséquences pratiques sur le dimensionnement de

la mission, par exemple dans la planification des interruptions de prises de données.

Les LISA data challenges (LDC) constituent un effort collectif pour résoudre des problèmes d'analyse de données associés à LISA, stimuler le développement d'algorithmes et de codes de calcul, et démontrer la faisabilité de l'exploitation scientifique des données. Les LDC sont le cadre idéal pour évaluer sur des données simulées l'impact de la présence d'artefacts. Une attention particulière sera accordée au LDC2b dit « Spritz » contenant 1 an de pseudo-données, 36 systèmes binaires galactiques, et une certaine quantité de glitches distribués aléatoirement. Ce travail s'organisera en deux étapes :

1. L'utilisation des méthodes développées pour la gestion des données lacunaires dans LISA . Il s'agit d'identifier les glitches et de supprimer les blocs de données affectés, créant ainsi des lacunes. Deux méthodes différentes ont été proposées mais leurs performances n'ont pas encore été comparées.
2. L'étude de méthodes non-paramétriques basées sur l'apprentissage automatique de formes d'ondes en s'appuyant sur le catalogue des glitches mesurés sur LISA Pathfinder. Cette approche considère glitches et ondes gravitationnelles émises par des systèmes physiques comme deux types de signaux différents qu'on distinguera par leurs formes respectives.

Les mérites respectifs de chacune des deux étapes ci-dessus devront être évalués et comparés. En principe, la seconde approche permettrait de séparer glitches et signatures des binaires galactiques, et limiterait la perte de signal exploitable dans l'analyse des données. Une extension naturelle de ce programme de travail consisterait à traiter le cas de la fusion de trous noirs super massifs.

Dans l'ensemble, il faut préciser que si ce sujet comporte une part importante de traitement du signal et des aspects de programmation soignée, un effort devra être porté sur la physique, la compréhension fine des caractéristiques des différents signaux, et les moyens à mettre en œuvre pour la réalisation des objectifs de physique de la mission LISA.

Contacts :

- Hervé Moutarde herve.moutarde@cea.fr
- Jérôme Bobin jerome.bobin@cea.fr

Mots clés

Ondes gravitationnelles, statistiques, apprentissage automatique, représentation parcimonieuse

Compétences

Logiciels

Python

Robust detection of gravitational waves and mitigation of data acquisition artifacts

Summary

The proposed work consists in evaluating the impact of the artifacts present in the acquired signal on the physical exploitation of the measurements of the future LISA gravitational observatory.

Full description

In 2016, the announcement of the first direct detection of gravitational waves ushered in an era in which the universe will be probed in a way never before possible. Simultaneously, the complete success of the LISA Pathfinder mission validated some of the technologies selected for the LISA (Laser Interferometer Space Antenna) project. This space observatory will consist of three satellites 2.5 million kilometers apart and will listen to the gravitational universe at wavelengths one hundred thousand times greater than those to which current ground-based observatories are sensitive. Its launch is planned by ESA for 2035.

Unlike ground-based observatories, which are sensitive to rare gravitational wave signals and subject to dominant measurement noise, a space-based interferometer will be permanently fed by a large number of distinct signals, theoretically characterized to varying degrees of accuracy. Current estimates of source quantities and types envision, among other things, 60 million continuously emitting Galactic binary systems, 10 to 100 annual signals from supermassive black holes, and 10 to 1000 annual signals from binary systems with extreme mass ratios.

As with any experiment, the actual data will be subject to a number of noises and artifacts that must be taken into account to maximize the scientific potential of the mission. Periods of interruption of data taking are indeed expected, for example because of disturbances related to the reorientation of the communication antennas with the Earth or losses of telemetry. Instrumental transients called "glitches" can also disturb the measured signal and potentially affect the detection of gravitational waves.

A key issue in the preparation of the LISA mission is to assess the impact of artifacts in the signal on the physical exploitation of the measurements. This study can have practical consequences on the mission design, for example in the planning of data collection interruptions.

LISA data challenges (LDC) are a collective effort to solve LISA-related data analysis problems, stimulate the development of algorithms and computational codes, and demonstrate the feasibility of scientific exploitation of the data. LDCs are the ideal framework for evaluating the impact of artifacts on simulated data. Particular attention will be paid to the LDC2b called "Spritz" containing 1 year of pseudo-data, 36 galactic binary systems, and a certain amount of randomly distributed glitches. This work will be organized in two steps:

1. The use of the methods developed for the management of gapped data in LISA . This involves identifying glitches and removing the affected data blocks, thus creating gaps. Two different methods have been proposed but their performance has not yet been compared.
2. The study of non-parametric methods based on the machine learning of waveforms using the catalog of glitches measured on LISA Pathfinder. This approach considers glitches and gravitational waves emitted by physical systems as two different types of signals that will be distinguished by their respective shapes.

The respective merits of each of the above two steps will have to be evaluated and compared. In principle, the second approach would allow to separate glitches and signatures of galactic binaries, and would limit the loss of exploitable signal in the data analysis. A natural extension of this work program would be to treat the case of supermassive black hole mergers.

Overall, it should be noted that if this subject includes an important part of signal processing and aspects of careful programming, an effort should be made on the physics, the fine understanding of the characteristics of the various signals, and the means to be implemented for the realization of the physics objectives of the LISA mission.

Contacts:

-
- Hervé Moutarde herve.moutarde@cea.fr
 - Jérôme Bobin jerome.bobin@cea.fr

Keywords

Gravitational waves, statistics, machine learning, sparse representation

Skills

Softwares

Python