



Détermination de l'arrière-plan galactique de l'interféromètre gravitationnel LISA

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingénieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LSN](#)

Candidature avant le 30/06/2022

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [MOUTARDE Herve](#)

+33 1 69 08 73 88

herve.moutarde@cea.fr

Autre lien <https://www.elisascience.org>

Résumé

Les estimations actuelles prévoient environ 60 millions de systèmes binaires galactiques émettant de manière continue. LISA devrait permettre d'en caractériser environ 25000, les autres formant un bruit de confusion. L'un des défis de l'analyse des données du futur observatoire LISA est la séparation entre les signaux issus de systèmes binaires identifiables individuellement et ce bruit de confusion.

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 serait constitué de trois satellites éloignés de 2.5 millions de kilomètres et permettrait la détection directe d'ondes gravitationnelles indétectables par les interféromètres terrestres. Son lancement est prévu par l'ESA pour 2034.

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 prévoient entre autres 60 millions de systèmes binaires galactiques émettant de manière continue. LISA devrait permettre d'en caractériser environ 25000. Parmi les objectifs scientifiques de la mission LISA figure la livraison d'un catalogue de ces systèmes binaires galactiques résolus, chacun étant caractérisé par une dizaine de paramètres (dont la position dans le ciel ou la fréquence de rotation). Les nombreux autres systèmes échappant à une détection individuelle formeront un fond stochastique, ou bruit de confusion.

Jusqu'à présent les méthodes d'analyse des mesures se fondent sur l'estimation des signaux issus de systèmes binaires galactiques détectables à partir de données bruitées. Distinguer le bruit instrumental du bruit de confusion, et donc estimer ce bruit de confusion, est essentiel au succès de cette démarche.

L'un des défis de l'analyse des données du futur observatoire LISA est la séparation entre signaux issus de systèmes binaires identifiables individuellement et bruit de confusion. Cet objectif peut être atteint en trois étapes :

1. La modélisation statistique du bruit de confusion constitué des signaux gravitationnels issus des systèmes binaires galactiques non résolus.
2. Le développement d'une méthode d'analyse conjointe permettant de discriminer les signaux provenant de systèmes binaires galactiques (détectables individuellement ou pas) et le bruit instrumental. Ce travail étendra un algorithme de détection parcimonieuse des systèmes binaires galactiques pour prendre en compte le bruit de confusion au moyen de sa modélisation statistique.
3. L'évaluation sur des simulations réalistes du futur observatoire LISA.

La méthode proposée repose sur la modélisation parcimonieuse des signaux, et n'a pas encore été étudiée dans ce contexte. Cette approche permet d'exploiter les différences de formes ou de morphologie entre ces signaux et le bruit pour la résolution de problèmes inverses. Au travers des trois étapes ci-dessus, le candidat adaptera les algorithmes tirant parti de cette diversité morphologique, les implémentera et analysera leur apport sur des données simulées réalistes associées à LISA.

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. Une extension naturelle de ce programme de travail consisterait à prendre en compte des données lacunaires suivant une méthode précédemment explorée. Des périodes d'interruption de prises de données sont en effet attendues, par exemple pour des raisons de maintenance ou d'instabilité de sous-systèmes. Une autre extension envisageable serait l'estimation des paramètres des systèmes binaires galactiques résolus et l'évaluation de la perturbation induite par le bruit de confusion sur cette estimation. En fonction de la durée du stage, de ses connaissances et de ses centres d'intérêt, le candidat pourra explorer l'une de ces extensions.

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 du contenu des signaux ou des différentes sources de bruit, et les moyens à mettre en œuvre pour la réalisation des objectifs de physique de la mission LISA.

Ce stage pourra déboucher sur une thèse.

Mots clés

Onde gravitationnelle, représentation parcimonieuse, interféromètre LISA, analyse statistique de données

Compétences

Des connaissances de base en analyse numérique, probabilités et traitement du signal sont requises. Une expérience de la programmation en Python sera un atout pour l'utilisation des outils de simulation existants. Ce stage s'adresse à des étudiants de niveau M1, M2 ou grande école.

Logiciels

Python

Determination of the galactic background of the LISA gravitational interferometer

Summary

Current estimates predict about 60 million continuously emitting galactic binary systems. LISA should be able to characterize about 25,000 of them, the others forming a confusion noise. One of the challenges of the analysis of data from the future LISA observatory is the separation of signals from individually identifiable binary systems from this confusion noise.

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 would consist of three satellites 2.5 million kilometers apart and would allow the direct detection of gravitational waves undetectable by ground-based interferometers. Its launch is planned by ESA for 2034.

Unlike ground-based observatories, which are sensitive to rare gravitational wave signals and subject to dominant measurement noise, a space-based interferometer will be continuously fed by a large number of distinct signals theoretically characterized to varying degrees of accuracy. Current estimates of source quantities and types include 60 million continuously emitting galactic binary systems. LISA should be able to characterize about 25,000 of them. Among the scientific objectives of the LISA mission is the delivery of a catalog of these resolved galactic binaries, each one being characterized by about ten parameters (including the position in the sky or the rotation frequency). The many other systems that cannot be detected individually will form a stochastic background, or confusion noise.

Until now, the methods of measurement analysis have been based on the estimation of signals from detectable galactic binary systems from noisy data. Distinguishing the instrumental noise from the confusion noise, and thus estimating the confusion noise, is essential to the success of this approach.

One of the challenges of data analysis of the future LISA observatory is the separation of signals from individually identifiable binary systems from confusion noise. This objective can be achieved in three steps:

1. Statistical modeling of the confusion noise constituted by the gravitational signals from unresolved galactic binary systems.
2. The development of a joint analysis method to discriminate between signals from galactic binary systems (individually detectable or not) and instrumental noise. This work will extend an algorithm of sparse detection of galactic binary systems to take into account the confusion noise through its statistical modeling.
3. Evaluation on realistic simulations of the future LISA observatory.

The proposed method is based on sparse signal modeling, and has not yet been studied in this context. This approach allows to exploit the differences in shape or morphology between these signals and the noise for the solution of inverse problems. Through the three steps above, the candidate will adapt algorithms taking advantage of this morphological diversity, implement them and analyze their contribution on realistic simulated data associated with LISA.

As in any experiment, the real data will be subject to a number of noises and artifacts to be taken into account to optimize the scientific potential of the mission. A natural extension of this work program would be to take into account data gaps following a previously explored method. Periods of interruption of data taking are indeed expected, for example for maintenance reasons or instability of subsystems. Another possible extension would be the estimation of the parameters of resolved galactic binary systems and the evaluation of the perturbation induced by the confusion noise on this estimation. Depending on the duration of the internship, the candidate's knowledge and interests, he/she could explore one of these extensions.

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 content of signals or different sources of noise, and the means to be implemented for the realization of the physics objectives of the LISA mission.

This internship could lead to a thesis.

Keywords

Gravitational wave, sparse representation, LISA interferometer, statistical data analysis

Skills

Basic knowledge of numerical analysis, probability and signal processing is required. Experience in Python programming will be an asset for the use of existing simulation tools. This internship is aimed at students at the Master M1, M2 or Grande Ecole level.

Softwares

Python