IRFU : Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'univers

Saclay

DAp/LEPCHE

Caractérisation multidimensionnelle des vestiges de supernova en rayons X

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil DAp/LEPCHE

Candidature avant le 30/04/2020

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact Acero Fabio
+33 1 69 08 47 05
fabio.acero@cea.fr

Autre lien https://github.com/facero/sujets2020/

Résumé

Les données en rayons X des vestiges de supernova résultant de l'explosion d'étoiles sont multidimensionnelles par nature. Pour chaque photon la position et l'énergie sont enregistrés. Ce sujet propose de développer de nouvelles méthodes d'analyses multidimensionnelles mêlant machine learning et méthode de séparation de sources.

Sujet détaillé

Contexte: Avec les observations profondes obtenues par les satellites en rayons X XMM-Newton et Chandra, les données à haute résolution spectrale d'Hitomi et les télescopes XRISM et Athena en préparation, la richesse croissante des données en rayons X est entrain de transformer notre vision de l'Univers chaud et énergétique mais au prix d'une difficulté croissante à analyser ces données. En dépit de la richesse des données d'archives et à venir, nos méthodes d'analyses n'ont que trop peu évoluées dans les dernières décennies et ne peuvent extraire la richesse d'information scientifique contenue dans ces données. En effet les méthodes d'analyse actuelles se limitent à des analyses spectrales à 1D d'un côté et à des analyses spatiales 2D de l'autre et n'exploitent pas la nature multi-dimensionnelle des données en rayons X.

Description du projet: Ce projet se propose de transformer la façon dont nous pouvons analyser les données en rayons X en se basant sur l'expertise acquise par le groupe de mathématiques appliquées au sein de notre laboratoire et en particulier sur les méthodes d'apprentissage à l'aveugle (blind source separation) initialement développées pour séparer les avant-plans du CMB dans les données Planck. Ces méthodes se basent sur la diversité spectrale et morphologique des données dans le domaine ondelettes pour séparer les sources. Une nouvelle version de cet algorithme permet désormais d'ajouter des contraintes physiques spectrales (spectres thermiques ou loi de puissance par exemple) par le biais de machine learning (feature learning dans notre cas). Ceci ouvre alors la possibilité à une séparation de sources donnant des résultats plus robustes et à une cartographie à petite échelle des paramètres physiques.

Sujet du stage: Le sujet du stage se focalisera sur la prise en main des outils d'apprentissage à partir d'une base de données de spectres théoriques (lois de puissance associée à l'émission synchrotron des électrons accélérés dans les vestiges de supernova). Les performances de la qualité de reconstruction en fonction de la taille de l'échantillon d'apprentissage et la capacité à revenir aux paramètres physiques seront étudiés. Dans un deuxième temps l'implémentation de cet apprentissage dans un algorithme de séparation de source permettra de cartographier l'indice spectral de ces lois de puissance dans pour étudier l'efficacité de l'accélération de particules au choc des vestiges de supernova en fonction des conditions environnementales. Le code est déjà développé et permettra à l'étudiant(e) de se concentrer sur sa compréhension et l'application à des données d'archives.

Ce sujet pourra se prolonger en thèse à l'apprentissage sur des modèles thermiques plus complexes et sur des données à très haute résolutions spectrales que fournira le futur satellite Athena.

Stage d'une durée de 3 à 5 mois.

Mots clés

astronomie en rayons X, XMM-Newton, Athena, traitement du signal, blind source separation, machine learning, amas de galaxies,

Compétences

Machine Learning, Séparation de sources à l'aveugle

Logiciels

Python

Towards a 3D characterisation of supernova remnants in X-rays

Summary

X-ray data are multidimensional by nature. For each photon the energy and position is recorded by the X-ray satellite. Here we propose to develop novel techniques to fully exploit the multidimensional nature of the data by combining blind source separation technique with feature learning.

Full description

Context: With deep X-ray mega-second observations with XMM-Newton and Chandra (containing up to 100 millions photons), very high spectral resolution data from the Hitomi telescope and the Xrism and Athena satellites on the horizon, X-ray data are getting scientifically richer but increasingly complex to analyse. With a strong implication from the French community, the X-IFU instrument onboard the Athena telescope will combine high spectral and spatial resolution and will be a game changer in the X-ray spectro-imaging domain. Despite this huge improvement in instrumental performances, the development of the analysis methods have stalled in the last decades and are not ready to reveal the true wealth of information encoded in these rich datasets. Current methods are limited to 1D spectra or 2D images, and do not exploit the multi-dimensional nature (position, energy, and time being recorded for each event) of the X-ray data. In addition they are not efficient at correcting from geometrical projections effects and the disentangling of multiple physical components.

Description of the project: we propose to transform the way X-ray data are analysed by capitalising on the expertise developed by the applied mathematics group in our laboratory; in particular in the blind source separation algorithms initially developed to separate the CMB map from the foregrounds in the Planck data. The method jointly exploits the morphological and spectral diversity of the data in the wavelet domain to separate the different astrophysical components and map their properties. These new techniques allow to identify and characterise new, potentially unexpected, physical components in extended sources. A new branch of the method is currently being developed with an implementation of physically motivated models within a machine learning context (i.e. feature learning). This open the possibility to disentangle the physical component and deconvolve from projection effects at the same time and allowing mapping of quantities such as the spectral indices of synchrotron emission, density and temperature of the heated gas.

Internship: The intern will focus on exploring the learning capacities of the algorithm as a function of the size of the training set and its capacities to return the physical parameters. In a second step, this learning will be coupled with source separation techniques to map the spectral indices of the synchrotron emission from accelerated electrons at the shock of young supernova remnants to understand particle acceleration in different environments.

Keywords

Skills

Machine Learning, blind source separation techniques

Softwares

Python