



Traitement de l'image optimisé par machine learning appliqué à la radiographie neutronique

Spécialité Traitement d'image

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Ingenieur/Master

Unité d'accueil [DPhN/LENA](#)

Candidature avant le 31/03/2025

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [DROUART Antoine](#)
+33 1 69 08 73 52
antoine.drouart@cea.fr

Autre lien
<https://www.cosmostat.org/people/jerome-bobin>

Résumé

Le travail de stage consistera à développer des algorithmes de machine learning pour les appliquer à l'amélioration d'images obtenues par radiographie neutronique.

Sujet détaillé

La neutronographie, ou radiographie neutronique, consiste à réaliser une image 2D d'un objet traversé par un flux de neutrons en mesurant les différences d'absorption et de diffusion de ces particules lors de la traversée des matériaux. Ce procédé permet un contrôle non-destructif d'objet à inspecter. Les images obtenues possèdent des caractéristiques extrêmement intéressantes, très différentes de celles obtenues par radiographie X, du fait des propriétés de l'interaction neutron-matière. En effet, les neutrons, essentiellement sensibles à l'interaction nucléaire, sont affectés par les éléments chimiques légers (surtout hydrogène), présents notamment dans les matières organiques, alors que les éléments plus lourds, comme les métaux, leur sont transparents. Ils permettent d'imager des substances organiques à l'intérieur d'objets métalliques. Ainsi la neutronographie trouve-t-elle des applications uniques en science des matériaux, en ingénierie, en archéologie ou dans l'étude d'œuvres d'art.

Les installations pratiquant la neutronographie sont traditionnellement localisées auprès des réacteurs nucléaires de recherche, ceux-ci fournissant une source abondante de neutrons. Toutefois, ce type de réacteurs se fait de plus en plus rare, une grande partie d'entre eux arrivant en fin de vie. Ainsi le réacteur de recherche Orphée du CEA a-t-il fermé en octobre 2019, alors qu'il était la seule installation de neutronographie en France. De nouvelles sources alternatives sont en cours de développement, basées sur les neutrons émis lors de réactions nucléaires produites par un faisceau de particules (par exemple des protons) accélérées, comme le projet SONATE. Ces nouvelles installations ont l'avantage d'être moins chères et plus souples que les réacteurs nucléaires, mais fournissent des flux de neutrons moins élevés.

La technologie traditionnellement utilisée pour l'imagerie est celle des films argentiques de haute résolution spatiale, afin de percevoir des détails de l'ordre de 50µm. Mais ces films ont une faible sensibilité et réclament donc des temps

d'irradiation importants. D'autres types de films existent, plus sensibles, mais ayant des résolutions et des contrastes insuffisants pour les diagnostics industriels : plus un film est sensible, moins bonne est sa résolution spatiale. Toutefois, il est possible de numériser ces films argentiques et d'envisager alors d'améliorer leurs caractéristiques par un traitement de l'image adéquat, afin de parvenir aux niveaux de qualité requis. On pourrait donc travailler avec des films nécessitant des temps d'irradiation réduits. Toutefois, les films sont de très grande surface (35 x 35 cm²) : il faut veiller à optimiser le temps de traitement afin qu'il ne soit pas prohibitif dans le cadre d'une installation de neutronographie en exploitation (de l'ordre d'une heure).

Le travail de ce stage sera d'analyser des images d'objets produites par neutronographie avec des films argentiques de différentes sensibilités. L'objectif est double : i) étudier les possibilités d'amélioration de la résolution spatiales des films les plus sensibles, et ii) travailler sur l'utilisation d'algorithmes adaptés au traitement rapide des images. Ce traitement porte en particulier sur l'amélioration de la résolution spatiale des images, tout en garantissant une robustesse au bruit de mesure ainsi qu'un cas calculatoire faible. Pour ce faire, le stagiaire utilisera des algorithmes modernes de traitement de l'image, qui seront utilisés pour la première fois dans ce domaine d'application. Ce travail fera appel à des méthodes avancées de machine learning, fondés sur les techniques de déroulement d'algorithme (algorithm unrolling) pour la reconstruction d'image. Ces méthodes permettent de prendre en compte, de manière précise, le modèle de formation des images (e.g. la réponse instrumentale) et les statistiques de la mesure, ainsi que les structures des images à reconstruire. Ceci permettra potentiellement un gain de qualité de reconstruction (e.g. résolution spatiale et débruitage), ainsi qu'une analyse rapide. L'objectif final sera d'évaluer la capacité films argentiques de différentes sensibilités à repérer des défauts caractéristiques dans les pièces étudiées.

Equipe d'accueil

Le stage se déroulera sur le site du CEA Saclay, au sein de l'IRFU (Institut de Recherche sur les Lois Fondamentales de l'Univers) qui est très impliqué dans le développement d'une source de neutrons sur le site de Saclay. Le stage se déroulera entre le DPHN (Département de physique nucléaire) pour les données et les critères de qualité des images, et le DEDIP (Département d'Electronique, des Détecteurs et d'Informatique pour la Physique) pour le développement des algorithmes.

Le stage, rémunéré, doit faire partie du cursus obligatoire de l'étudiant.

Mots clés

Traitement du signal et traitement d'image, Machine learning, Neutronique

Compétences

Traitement d'image Machine learning

Logiciels

Français, English ; C++, Python Github

Optimised image processing using machine learning applied to neutron radiography

Summary

The internship will involve developing machine learning algorithms and applying them to the enhancement of neutron radiography images.

Full description

Neutronography, or neutron radiography, consists of producing a 2D image of an object through which a beam of neutrons passes by measuring the differences in absorption and diffusion of these particles as they pass through the materials. This process enables non-destructive testing of the object to be inspected. The images obtained have extremely interesting characteristics, very different from those obtained by X-ray, due to the properties of neutron-matter interaction. Neutrons, which are essentially sensitive to nuclear interaction, are affected by light chemical elements (especially hydrogen), present in particular in organic materials, whereas heavier elements, such as metals, are transparent to them. They can be used to image organic substances inside metallic objects. Neutronography thus has unique applications in materials science, engineering, archaeology and the study of works of art.

Traditionally, neutronography facilities have been located close to nuclear research reactors, which provide an abundant source of neutrons. However, this type of reactor is becoming increasingly rare, with many of them reaching the end of their life. The CEA's Orphée research reactor, the only neutronography facility in France, closed in October 2019. New alternative sources are being developed, based on neutrons emitted during nuclear reactions produced by a beam of accelerated particles (e.g. protons), such as the SONATE project. These new facilities have the advantage of being cheaper and more flexible than nuclear reactors, but provide lower neutron fluxes.

The technology traditionally used for imaging is that of high spatial resolution silver film, to perceive details of the order of 50µm. However, these films have low sensitivity and therefore require long irradiation times. Other types of film exist, which are more sensitive, but have insufficient resolution and contrast for industrial diagnostics: the more sensitive a film is, the poorer its spatial resolution. However, it is possible to digitise these silver films and then consider improving their characteristics through appropriate image processing, in order to achieve the required levels of quality. We could therefore work with films requiring reduced irradiation times. However, the films have a very large surface area (35 x 35 cm²): care must be taken to optimise the processing time so that it is not prohibitive in the context of an operating neutronography facility (of the order of one hour).

The work of this internship will be to analyse images of objects produced by neutronography using silver films of different sensitivities. The aim is twofold: i) to study the possibilities for improving the spatial resolution of the most sensitive films, and ii) to work on the use of algorithms adapted to rapid image processing. This processing will focus in particular on improving the spatial resolution of images, while guaranteeing robustness to measurement noise and low computational costs. To achieve this, the trainee will use modern image processing algorithms, which will be used for the first time in this field of application. This work will make use of advanced machine learning methods, based on algorithm unrolling techniques for image reconstruction. These methods make it possible to take precise account of the image formation model (e.g. the instrumental response) and the measurement statistics, as well as the structures of the images to be reconstructed. This will potentially improve reconstruction quality (e.g. spatial resolution and denoising), as well as speeding up analysis. The final objective will be to evaluate the ability of silver films of different sensitivities to detect characteristic defects in the parts studied.

Host team

The internship will take place at the CEA Saclay site, within the IRFU (Institut de Recherche sur les Lois Fondamentales de l'Univers), which is heavily involved in the development of a neutron source on the Saclay site. The internship will be split between the DPHN (Department of Nuclear Physics) for the data and image quality criteria, and the DEDIP (Department of Electronics, Detectors and Computing for Physics) for the development of the algorithms. The paid internship must be part of the student's mandatory courses.

Keywords

Signal processing, Image processing, Machine learning, Neutron physics

Skills

Softwares

Français, English ; C++, Python Github