

Machine learning pour le démultiplexage de pixels dans une Time Projection Chamber pour des applications muographiques

Spécialité Instrumentation

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 1

Unité d'accueil [DEDIP/DEPHYS](#)

Candidature avant le 30/06/2023

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact [GOMEZ-MALUENDA Hector](#)
01 69 08 63 80
hector.gomez@cea.fr

Résumé

L'étudiant.e devra développer un réseau de neurones pour reconstruire les traces de muons projetées sur un détecteur dont les pixels sont hexagonaux. Pour cela l'étudiant.e aura besoin d'implémenter une variante des couches convolutionnelles 2D pour des pixels hexagonaux.

Sujet détaillé

- Contexte:

La muographie est une méthode de scan non invasive et non destructive adaptée aux structures de grande taille. Elle est actuellement appliquée dans une large variété de contextes comme la volcanologie, la géophysique ou le nucléaire.

Les muons atmosphériques pouvant traverser de très grandes distances dans la matière avant d'être absorbés ou déviés (contrairement aux rayons X par exemple), la reconstruction de leur trajectoire permet l'étude et l'imagerie des objets traversés à l'aide de différentes techniques (absorption, transmission ou déviation).

A l'Irfu, le groupe muographie réalise des mesures à l'aide d'instruments basés sur les détecteurs Micromegas (MICRO MESH Gaseous Structure), inventés à l'Irfu. Ces détecteurs ont été développés à l'origine pour des expériences de physique nucléaire et de physique des particules. A l'aide de cette technologie, le groupe a pu montrer l'intérêt de la muographie depuis 2015 entre autre sur un château d'eau à Saclay, la pyramide de Khéops et plus récemment sur des réacteurs nucléaires à Marcoule. Ces résultats ont éveillé l'intérêt de l'industrie et de la recherche en France et en Europe pour des applications similaires et plus variées.

Le groupe muographie a une politique de R&D continue sur l'instrumentation des télescopes à muons, le traitement du signal et l'analyse de données. Le stage proposé sera concentré sur le développement d'une nouvelle méthode de

reconstruction à l'aide de réseaux de neurones pour une TPC (Time Projection Chamber).

Les TPC sont un type de détecteurs gazeux dans lequel l'interaction d'une particule avec le gaz est projetée sur un plan par un champ électrique. Dans l'expérience D3DT, les muons qui traversent un cylindre ionisent un gaz et les électrons sont projetés sur un détecteur au fond du cylindre. Sur ce détecteur, le signal est recueilli sur des pixels pour construire une image sur laquelle on s'attend à voir la projection 2D de la trace 3D des muons.

Cependant, pour de multiple raisons, il n'est pas possible de mesurer le signal sur tous les pixels séparément. Nous avons uniquement accès à un signal « multiplexé », qui est la somme de certaines combinaisons de pixels. C'est pourquoi nous avons besoin d'un process de démultiplexage, qui estime quels pixels ont réellement été touchés.

Il a été montré dans d'autres détecteurs que les réseaux de neurones convolutionnels peuvent être une bonne approche pour résoudre ce problème. Cependant, le détecteur D3DT a des pixels hexagonaux, ce qui rend impossible l'utilisation de couches convolutionnelles classiques. Il sera donc nécessaire d'adapter les couches existantes pour construire un réseau.

- Objectif:

L'étudiant.e devra proposer une implémentation d'un algorithme de démultiplexage à l'aide de réseaux de neurones adaptés au détecteur D3DT.

Mots clés

Muographie, Analyse de données, Physique instrumentale, Time projection chambers, Machine learning, Réseaux de neurones profonds

Compétences

Durant le stage, l'étudiant.e devra : • Comprendre comment le détecteur D3DT et son multiplexage fonctionnent • Comprendre la méthode de démultiplexage actuelle • Développer une implémentation de convolutions pour des pixels hexagonaux • Développer et entraîner un réseau pour démultiplexer le détecteur

Logiciels

• Bon niveau en Python • Intéressé par le machine learning et réseaux de neurones profonds • Utilisateur de linux

Machine learning for pixel demultiplexing in a gaseous time projection chamber for muography applications

Summary

The student will need to develop a machine learning method to reconstruct particle tracks projected on a detector. For that, the student will need to try to use convolutional neural networks. However the pixels of our detector are hexagonal, which mean that the candidate will have to implement his or her own version of the convolution algorithm.

Full description

- Context:

Muography is a non-invasive and non-destructive scanning method for large structures; it is currently being considered as a potential technique for a large variety of applications going from volcanology to geophysics, engineering or nuclear domain.

Taking advantage of the capability of atmospheric muons to go through long distances of matter before being absorbed or deviated (on the contrary to X rays for example), muons track reconstruction allows the study and the imaging of the traversed objects using different analysis techniques (absorption, transmission or deviation).

At Irfu, the group working on muography performs measurements using instruments based on Micromegas (MICRO MESH Gaseous Structure) detectors. Invented at Irfu, Micromegas were conceived originally to be used at nuclear and particle physics experiments. Among the measurements done by the group from 2015, those of the “château d’eau” at Saclay, the Khufu’s pyramid or, lately, of a nuclear reactor at CEA – Marcoule, can be highlighted. These results triggered the interest of several industrial groups in France and all along Europe for the previously mentioned applications or to new ones.

Muography team at Irfu develops a continuous R&D program both for telescopes instrumentation and signal processing and analysis techniques. The following internship will be focused on the development of new signal reconstruction process based on machine learning for a Time Projection Chamber.

Time projection chambers are a type of gaseous detectors in which the interaction of a particle with a gas will be projected on a plane by an electric field. In the D3DT experiment, muons that cross a cylinder will ionize a gas and electrons will drift to a detector plane. On that detector, the signal is gathered in pixels that build an image, on which we expect to see the 2D projection of the 3D particle track.

However, for many reasons, it is not possible to measure the signal of each pixel separately. We only have access to a “multiplexed” signal, which is the sum of some pixel combination. That is why we need a demultiplexing process, in which an algorithm estimates what pixels were really hit. It has been shown on other detectors that convolutional neural networks could be a good approach for this problem. However, the D3DT detector has hexagonal pixels. It will be necessary to adapt the convolutional layer to hexagonal pixels.

- Goal:

The candidate would need to propose a new implementation of a demultiplexing algorithm for D3DT using recent machine learning developments.

Keywords

Muography, Data analysis, Instrumental Physics, Time projection chambers, Gaseous detectors, Machine learning, Deep neural network

Skills

During this internship, the intern would need to: • Understand how the TPC detector and its multiplexing works • Understand the current demultiplexing approach • Develop an implementation of a convolutional layer for hexagonal pixels • Develop and train a network to demultiplex the detector pixels

Softwares

• Bon niveau en Python • Intéressé par le machine learning et réseaux de neurones profonds • Utilisateur de linux