



Application d'une nouvelle méthode de machine learning pour la reconstruction 3D à l'aide de trajectoires de muons

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

Dans de récentes publications en machine learning, il a été montré que des réseaux de neurones profonds peuvent apprendre à imiter des algorithmes itératifs et éventuellement avoir de meilleures performances. L'étudiant.e aura à faire une preuve de concept de ce processus (appelé algorithm unrolling) sur l'algorithme itératif SART qui permet de reconstruire des objets en 3D (dans le domaine médical, mais aussi dans l'imagerie muonique).

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 l'analyse de données avec des réseaux de neurones profonds qui utiliseront les trajectoires des muons pour réaliser une image 3D d'une structure étudiée (par exemple un réacteur nucléaire).

Les réseaux de neurones ont prouvé leur efficacité dans de nombreux domaines ces dernières années et de nombreuses applications pourraient bénéficier du machine learning à la place de méthodes conventionnelles.

Cependant, dans certains cas les méthodes de machines learning sont en compétition avec des méthodes et algorithmes très explicites. En effet certains algorithmes reposent sur des connaissances théoriques (comme des modèles physiques) qui ont prouvé leur efficacité. Il est donc difficilement justifiable de remplacer un modèle issu d'une théorie par un réseau de neurone qui se comporte comme une boîte noire ; et cela même si le réseau de neurone peut être plus performant.

Dans le cas de méthodes conventionnelles itératives, une approche récente propose d'entraîner les réseaux de neurones à imiter l'algorithme classique. Cette méthode, appelée algorithm unrolling, pourrait permettre de profiter des performances des réseaux de neurones tout en conservant les propriétés de l'algorithme initial.

Pour la reconstruction 3D de structures (comme un réacteur nucléaire) nous utilisons actuellement l'algorithme itératif SART, issu de l'imagerie médicale. Nous voudrions savoir si la méthode d'algorithm unrolling peut permettre d'augmenter la qualité de la reconstruction ou sa vitesse.

- Objectif :

L'étudiant.e travaillera sur le process d'algorithm unrolling appliqué à la reconstruction 3D d'objets scannés par la muographie.

Mots clés

Muographie, Analyse de données, Physique instrumentale, Reconstruction 3D, Machine learning, Réseaux de neurones profonds, Deep

Compétences

Durant le stage, l'étudiant.e devra : • Comprendre le concept d'algorithm unrolling • Comprendre l'actuel algorithme de reconstruction 3D • Proposer et entraîner une preuve de concept d'algorithm unrolling sur SART • Réaliser une reconstruction 3D et comparer sa qualité

Logiciels

• Bon niveau en Python • Connaissances de base en machine learning et réseaux de neurones profonds • Utilisateur de linux

Application of a new machine learning methods to 3D muon tracks reconstruction with deep neural network

Summary

In recent machine learning publications, it has been shown that deep neural network could learn to imitate iterative algorithm, and even have better performances. The student will have to do a proof of concept of that process (called algorithm unrolling) for the SART algorithm which allows to reconstruct 3D objects (in the medical field, but also for muon imaging).

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 3D muon tracks reconstruction based on deep neuronal networks.

Deep neural networks have shown to be applicable and efficient in many new fields last years. Many specific applications may benefit from machine learning to replace previous methods.

However, machine learning algorithm can sometime be in competition with previous conventional methods based on explicit models. Some algorithms come from theoretical approaches and are therefore proven to be effective. It is then hard to justify replacing that kind of solution with a black-box algorithm, even with a performance gain.

In the case of conventional iterative algorithm, a recent proposition is to try to learn the iterative process with a deep neural network. This method, called algorithm unrolling, could provide better performances but also keep the properties of the initial algorithm.

We currently use the SART iterative algorithm to do 3D reconstructions of objects (like a nuclear reactor) using muon tracks. We would be interested in recent machine learning publications, it has been shown that deep neural network could learn to imitate iterative algorithm, and even have better performances. The student will have to do a proof of concept of that process (called algorithm unrolling) for the SART algorithm which allows to reconstruct 3D objects (in the medical field, but also for muon imaging). We are interested in the idea that algorithm unrolling could help us increase the quality of the reconstruction, or do it faster with the same precision.

- Goal:

The candidate will work on the development of an algorithm unrolling process for the 3D reconstruction of objects

scanned by muography. This reconstruction is made using the SART algorithm (usually used for medical applications but currently used for muon tomography as well).

Keywords

Muography, Data analysis, Instrumental Physics, 3D Reconstruction, Machine learning, Deep neural networks, Algorithm unrolling

Skills

During this internship, the intern would need to: • Understand the concept of algorithm unrolling • Understand the current 3D reconstruction algorithm • Propose and train a proof of concept to unroll the 3D reconstruction • Perform a 3D reconstruction and evaluate the performance increase/decrease

Softwares

• Bon niveau en Python • Connaissances de base en machine learning et réseaux de neurones profonds • Utilisateur de linux