



Machine learning pour prédire la propagation de muons dans la matière

Spécialité Instrumentation

Niveau d'étude Bac+4/5

Formation Master 2

Unité d'accueil [DEDIP/DEPHYS](#)

Candidature avant le 01/06/2024

Durée 6 mois

Poursuite possible en thèse non

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

Résumé

La muographie est une technique d'imagerie permettant de scanner des objets très opaques, qui ne peuvent pas être analysés avec d'autres techniques (comme les rayons X). Au CEA Irfu, nous utilisons la muographie pour scanner différents objets comme des réacteurs nucléaires, des colis de déchets radioactifs ou même la grande pyramide de Gizeh. L'équipe développe un programme de R&D en continu pour l'instrumentation des détecteurs, le traitement du signal et l'analyse de données, incluant le machine learning. Pour améliorer l'analyse de grands objets nous avons besoin d'un nouveau logiciel de simulation qui pourrait prédire la propagation des muons dans la matière. Ce logiciel utilisera le machine learning pour prédire le comportement des muons. Le stagiaire devra créer un dataset de trajectoire de muons, choisir un réseau de neurones et l'implémenter.

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, incluant le machine learning. Une grande partie des techniques de muographies reposent sur notre capacité à simuler le comportement des muons dans la matière, ce qui peut être fait de différentes façons.

Le logiciel Geant4 permet de simuler la propagation des muons dans la matière avec une très grande précision. Cependant ces simulations sont généralement très longues, en particulier pour des grands objets ou des géométries complexes. Cela rend l'utilisation de Geant4 non viable dans certaines analyses. Pour cette raison, des logiciels de simulations simplifiées sont généralement utilisés. Ils approximent le comportement des muons mais donnent des résultats rapidement.

L'objectif de ce stage sera de développer un nouveau logiciel de simulation, qui pourra prédire plus précisément la propagation des muons tout en restant significativement plus rapide que Geant4. L'idée sera d'utiliser un réseau de neurones de façon récurrente pour évaluer le comportement des muons le long de leur trajectoire dans la matière.

- Objectif

Le-la stagiaire aura à créer un dataset de trajectoires de muons dans la matière. Cela sera possible grâce à Geant4. Les informations nécessaires seront extraites de ces simulations pour entraîner un réseau de neurones. Enfin ce réseau de neurones sera utilisé de façon récurrente pour simuler des muons traversant différents matériaux.

Pendant ce stage, le-la stagiaire aura à :

- comprendre l'importance et les limitations des simulations pour la muographie
- développer un script pour lancer une grande quantité de simulations Geant4 simples
- étudier quel type de réseau de neurones est capable de prédire la propagation des muons
- proposer une architecture de réseau de neurone à implémenter
- entraîner ce réseau de neurones avec les données de Geant4
- caractériser les performances du réseau de neurones
- développer un logiciel qui utilise ce réseau de neurones

A la fin, ce réseau de neurones pourra être testé pour améliorer la muographie d'objets complexes comme des réacteurs nucléaires ou des colis de déchets radioactifs.

Mots clés

Machine Learning, Data analysis, Monte Carlo Simulations, Statistics

Compétences

Nous attendons du/de la candidat-e d'avoir un bon niveau en Python pour l'analyse de données (numpy, matplotlib, ...), d'être familier-ère du C++ et curieux ou curieuse au sujet de l'actualité du machine learning. Nous attendons aussi des connaissances fondamentales en statistiques. Une expérience en Geant4, simulations Monte Carlo ou ROOT sera appréciée.

Logiciels

Python, C/C++, Geant4, ROOT

Machine learning for muon propagation through matter prediction

Summary

Muography is an imaging technique that allows to scan very opaque objects, that cannot be analyzed with other techniques (like X rays). At CEA Irfu, we use muography to scan various objects like nuclear reactors, nuclear waste packages or even the great pyramid of Khufu. The team develops a continuous R&D program for detector instrumentation, signal processing and data analysis techniques, including machine learning. To improve the analysis of big objects we need a new simulation software that would predict the propagation of muons in the matter. This software would use machine learning to predict the behaviour of muons. The intern would need to create a dataset of muon tracks, choose a neural network architecture and train it.

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 for telescopes instrumentation, signal processing and data analysis techniques, including machine learning. Many muography analyses rely on muon tracks simulation, which can be obtained with different methods.

The Geant4 software allows to simulate muons propagation in matter with an excellent confidence. However, these simulations are usually quite time consuming, specially for big objects or complex geometries, being not viable for some measurements to use Geant4 simulations in a whole analysis process. For this reason we generally use simplified simulation softwares, which approximate the muon behaviour but are faster.

The following internship will be focused on the development of a new simulation software, which could predict more precisely the muons propagation, while staying significantly faster than a Geant4 simulation. The idea will be to use recurrently a neural network to evaluate muons behaviour among their path through matter.

- Goal

The intern will have to create a dataset of muon simulations through matter. This will be done with Geant4 simulations. Then required information will be extracted from those simulations and used to train a neural network. Finally this neural network will be called recurrently to simulate muons crossing different materials.

During this internship, the intern would need to:

- understand the importance of simulations for muography and their current limitations
- develop a script to run a large amount of simple simulations in Geant4
- study what kind of neural network is able to predict muon propagation
- propose a neural network architecture to implement
- train this neural network with Geant4's data

-
- characterise the neural network's performances
 - build a software that uses this neural network

Finally, this neural network could be tested to improve the muography of complex objects, like nuclear reactors or nuclear waste packages.

Keywords

Machine Learning, Data analysis, Monte Carlo Simulations, Statistics

Skills

We expect the candidate to have a good level in Python for data analysis (numpy, matplotlib, ...), to be familiar with C++, and to be curious about the current trends in machine learning. Also the candidate will need to have elementary knowledge in statistics. An experience with Geant4, Monte Carlo analyses or ROOT will be appreciated.

Softwares

Python, C/C++, Geant4, ROOT