

Coordination de la Formation par la Recherche

Sujet de Thèse CEA "SUJET-LABO 2022"

Référence du dossier :

Pôle : DRF

N° : SL-DRF-22-0317

1 - Laboratoire d'accueil au CEA

Centre : **Cadarache**

Département/Service : **IRFM / Service Intégration Plasma Paroi**

Nom du laboratoire : **GCECFP/Groupe Conception et Exploitation Composants Face au Plasma**

2 - Titre du sujet de thèse

Intelligence artificielle pour un traitement automatisé des points chauds de la paroi de WEST

3 - Thématique de Recherche

Sciences pour l'ingénieur / Mathématiques - Analyse numérique - Simulation

4 - Pièce jointe

Y a t-il une pièce jointe associée ? **Oui**

Intitulé de la pièce jointe : **Contexte_sujet_these_Mitteau.pdf**

5 - Résumé

L'énergie de la fusion promet une source d'énergie de haute densité énergétique, avec des réserves de combustible illimitées à l'échelle de notre civilisation, une sûreté inhérente et un impact négligeable sur l'environnement. L'expérience ITER démarre une nouvelle phase, où un gain énergétique net sera obtenu pour la première fois. Les machines de fusion magnétique comme ITER, JET, WEST et d'autres expériences européennes nécessitent des boucliers thermiques pour protéger l'enceinte du réacteur. Ces boucliers sont opérés au voisinage de leurs limites technologiques, et sont surveillés par des systèmes de vision infrarouge. Les événements thermiques notables sont traités à la fois en ligne et en temps différé. Le traitement des flux vidéo infrarouge fait appel à des techniques d'intelligence artificielle (IA) et

d'apprentissage machine (AM), en vue d'une interprétation phénoménologique. A WEST, le groupe infrarouge développe un processus de traitement des données basé IA/AM, à base de réseaux convolutifs profonds. Les résultats obtenus montrent que le réseau doit être adapté, afin de fournir plus explicitement la structure morphologique des points chauds détectés. L'ajustement peut être fait en intervenant sur des couches intermédiaires du réseau, ou bien en inférant à posteriori les caractères morphologiques. Le doctorant améliorera le processus data, afin d'augmenter nettement la performance de détection et d'analyse du réseau

6 Exposé du sujet

La fusion contrôlée se donne comme objectif de récupérer l'énergie produite par les réactions de fusion et de la transformer en énergie consommable. Cependant, la fusion nucléaire présente des défis technologiques de taille. Les réactions de fusion se produiront dans un plasma confiné qui nécessite cependant un contact matériel pour garantir son équilibre. Dans ce cadre, il est essentiel de garantir l'intégrité des matériaux de paroi capables de supporter des hauts flux de chaleur. En effet, l'interaction entre le plasma et la paroi conduit à des dépôts d'énergie de plusieurs MW par m².

L'IRFM gère de nombreux systèmes de mesures thermiques sur WEST, principalement des visées utilisant des imageurs thermiques, préfigurant ITER. Le système de mesures thermiques est interfacé au système de pilotage de WEST, pour des asservissements simples. La quantité et la complexité des données nécessitent d'améliorer les outils actuels en intégrant de l'intelligence artificielle, incluant des méthodes de classification automatique d'événements de type système expert à base d'apprentissage profond ('deep learning').

L'objectif de la thèse est de modifier un traitement numérique basé sur une architecture de type 'réseau de neurones', utilisant de la reconnaissance de formes et de textures (R-CNN), en y ajoutant une analyse de la structure du motif détecté (comme le fait par exemple la méthode 'max-Tree' en fournissant une représentation hiérarchique d'une image). L'originalité du travail réside dans la double utilisation des caractéristiques 'morphologique' et 'structure', pour lesquelles il n'y a pas de méthode identifiée à ce jour pour notre application. Cette thèse se place dans de domaine de l'analyse numérique, l'intelligence artificielle, l'apprentissage profond appliqué à l'analyse d'images.

Il s'agit d'aller plus loin que le processus de traitement d'image actuel de WEST (qui fournit une information du type « il y a un point chaud de classe 'class_1', dans cette boite englobante »). Le processus à développer doit fournir une information du type « il y a un point chaud de classe 'class_1', dans cette boite englobante, et ce point chaud est constitué de points chauds A, B, C, eux même inclus dans un large point chaud D ». Exprimé autrement, on cherche à trouver un algorithme qui associe les performances des réseaux convolutifs, et de la représentation hiérarchique des points chauds telle que donnée par la méthode 'max-tree'. Cette double analyse est requise, car le pipeline d'analyse de données a besoin d'accéder à la structure du point chaud, pour certains aspects de la classification.

Plusieurs approches sont possibles, pour intégrer l'analyse 'structure hiérarchique du motif' à la reconnaissance de motifs : 1/ Une première approche simple, qui consiste à partir des motifs segmentés obtenus du réseau de neurones, et à appliquer la décomposition en graphe à l'intérieur du motif segmenté. 2/ Une approche potentiellement plus fructueuse, mais aussi plus complexe, consiste à récupérer des informations sur la structure des points chauds, à partir d'une des couches internes (habituellement cachée) du réseau de neurones. Cette approche qui consiste à accéder au couches internes du réseau de neurones correspond à une thématique de R&D actuelle dans les groupes de recherche en IA/algorithmique.

OBJECTIF SCIENTIFIQUE / TECHNOLOGIQUE :

Faire une avancée significative pour répondre au problème d'analyse automatisée des images IR dans les tokamaks

EXPERIENCE / THEORIE / SIMULATION

Le sujet de thèse mêle les trois facettes :

- Expérience, car le travail utilise abondamment les données expérimentales. Au-delà de l'utilisation des données, le doctorant participera activement aux expériences du tokamak West, et participera au tour de rôle des surveillants paroi en salle de contrôle commande.
- Théorie, car les algorithmes utilisés (RCNN, GAN) sont à la pointe des algorithmes IA utilisés actuellement (Mask R-CNN, Kaiming He Georgia Gkioxari Piotr Doll'ar Ross Girshick, arXiv:1703.06870v3 [cs.CV] 24 Jan 2018, Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation - Tech report (v5)

Ross Girshick Jeff Donahue Trevor Darrell Jitendra Malik, UC Berkeley, arXiv:1311.2524v5 [cs.CV] 22 Oct 2014)

- Simulation, car les techniques d'IA actuelles s'appuient largement sur un volet simulation, afin d'améliorer et d'équilibrer les bases de connaissances annotées (Réseaux antagonistes génératifs, apprentissage semi-supervisé...)

CONTEXTE INTERNATIONAL

Développement des méthodes de surveillances de paroi de machine de fusion magnétiques, WEST, ITER et autres machines dans lesquelles l'UE est impliquée (JT60SA, DTT) ...

Protection de l'investissement, sécurité machine, pilotage « intelligent »

ETAT DE L'ART DANS LE MONDE ET AVANTAGE COMPARATIF DE CE SUJET DANS L'EQUIPE

D'autres groupes d'imagerie infrarouge sont actifs sur cette thématique du traitement automatisé des flux d'image infrarouge des boucliers thermiques, dans d'autres instituts de fusion – surtout Européens : W7X (RFA), UPC (ESP). Dans le domaine de l'imagerie visible, on trouve aussi des développements d'imagerie basé IA. On n'a toutefois pas connaissance de groupes qui traitent la question de la reconnaissance explicite des structures à l'intérieur des motifs détectés.

Atouts proposition équipe par rapport aux concurrents : l'équipe possède et opère la chaîne diagnostic complète : système matériel (optiques, caméra, acquisition), opération du diagnostic, traitement d'image et analyse des données, jumeau numérique, et est intégrée à l'équipe expérimentale de WEST, la machine technologiquement la plus proche d'ITER.

L'APRES THESE

L'IA-apprentissage machine-apprentissage profond est une compétence très demandée dans l'industrie et le commerce. Les débouchés sont nombreux. Le challenge d'avant thèse est plutôt de trouver un étudiant intéressé par un travail de thèse, beaucoup de diplômés étant directement aspirés par l'industrie.

COLLABORATION / EQUIPE

Le noyau de l'équipe est le groupe infrarouge de WEST (DRF/IRFM/SI2P/GP3).

Le travail s'inscrit dans un contexte dynamique et international de la fusion par confinement magnétique. Une partie des activités liées à cette thématique « Imaging software » sera réalisée en partenariat avec les équipes d'exploitation de la machine W7-X en Allemagne, avec laquelle une collaboration active est entretenue. Enfin, des premiers contacts avec ITER pour réaliser des démonstrateurs ont été établis et confortent ce poste dans son ambition et ses perspectives d'accompagnement d'ITER dans cette thématique.

PROFIL RECHERCHE

Le profil recherché est un(e) ingénieur et/ou mastère spécialisé(e) en analyse numérique, data science, vision et apprentissage, statistiques, intelligence artificielle et/ou traitement de l'image.

7 - Collaborations (éventuelles) prévues

Laboratoire : **tbd**

Organisme : **tbd**

Responsable : **tbd**

Raison de la collaboration :

La thèse se déroule dans un groupe de travail qui collabore déjà avec plusieurs partenaires : interne (CEA/LIST), externes (MPG/IPP, UPC).

Des collaborations supplémentaires sont envisagées dans le cadre de la thèse. Elles ne sont pas encore finalisées. Le montage de la thèse serait l'occasion de rechercher de nouvelles collaborations avec des nouveaux partenaires universitaires plus orientés intelligence artificielle / apprentissage machine.

Duree :

8 - Partenariat(s) industriels prévu(s) (éventuellement)

9 - Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Nom: **MITTEAU**

Prénom: **Raphaël**

Adresse : **CEA/Cadarache**

Téléphone

@mail: **raphael.mitteau@cea.fr**

Habilitation à diriger des recherches :

Non

Organisme de rattachement : **CEA**

Combien de thèses avez-vous déjà encadrées **1**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2022/2023 **0**

10 - Directeur de thèse

Nom: **ADEL**

Prénom: **Mouloud**

Adresse : **Institut Fresnel, 52 Avenue Escadrille Normandie Niemen, 13013 Marseille**

Téléphone: **0672530185**

@mail: **mouloud.adel@univ-amu.fr**

Habilitation à diriger des recherches :

Oui

Organisme de rattachement : **Aix-Marseille Université**

Combien de thèses avez-vous déjà encadrées **3**

Combien de doctorants encadrerez-vous durant l'année universitaire 2022/2023 ?

11 - Signatures :

Correspondant chargé du suivi de la thèse au CEA

Date : /././././

Raphaël MITTEAU

Signature :

Directeur de Thèse (lorsqu'il est identifié)

Date : /././././

Mouloud ADEL

Signature :

Chef de Département CEA (ou son représentant)

Date : /././././

Alain BECOULET

Signature :

Directeur du Pôle CEA (ou son représentant)

Date : /././././

Elsa CORTIJO

Signature :

12 - Avis du Responsable de l'Ecole Doctorale :

Physique et Sciences de la Matière - Aix-Marseille Université -

Nom du Responsable :

Date : /././././././

Signature :

Avis : Favorable Défavorable

Avis circonstancié :