2026-2027
Sujet de stage M1/M2
Titre: Vers des Fonctions d'Activation Fiables et Explicables : Approximations Polynomiales et Arithmétique à Précision Réduite

Contexte

Les réseaux de neurones artificiels reposent sur des fonctions d'activation non linéaires, telles que la sigmoïde, la tangente hyperbolique (tanh), GELU ou SiLU, qui jouent un rôle essentiel dans leur capacité à apprendre et à modéliser des relations complexes. Leur implémentation numérique représente cependant un coût non négligeable, notamment lorsque les réseaux sont déployés sur des architectures à ressources limitées, telles que les systèmes embarqués ou les accélérateurs matériels.
Une approche consiste à remplacer l'évaluation exacte de ces fonctions par des approximations numériques, notamment à l'aide de tables de correspondance (Look-Up Tables, LUTs) ou de polynômes. En particulier, les approximations polynomiales de degré élevé constituent une piste intéressante pour améliorer la précision sur différents intervalles du domaine d'entrée. Toutefois, leur implémentation soulève plusieurs questions relatives à la stabilité numérique, aux erreurs d'arrondi et au coût des opérations arithmétiques. Ces problématiques deviennent particulièrement importantes lorsque les calculs sont réalisés avec des formats numériques à précision réduite, tels que la virgule fixe (Fixed-Point, FxP) [2, 3] ou les petits formats flottants [1] (FP16, BF16, FP8, etc.). Il est alors nécessaire de comprendre les compromis entre précision, complexité de calcul et ressources matérielles.
Dans ce contexte, l'IA explicable (Explainable Artificial Intelligence) offre également des perspectives intéressantes pour analyser et expliquer l'influence des approximations numériques sur le comportement des réseaux de neurones.

Objectifs

L'objectif principal du stage est d'étudier et de développer des méthodes efficaces et fiables d'implémentation de fonctions d'activation non linéaires, en exploitant différentes stratégies d'approximation et différents formats numériques (FP, FxP et petits formats flottants). Une attention particulière sera portée aux approximations polynomiales de degré élevé et à l'analyse de leur comportement numérique.
Les travaux du/de la stagiaire pourront notamment s'articuler autour des axes suivants :

- Étudier et implémenter différentes méthodes d'approximation de fonctions non linéaires, notamment les tables de correspondance (LUTs) et les approximations polynomiales (Taylor, Chebyshev, etc.) et mettre l'accent sur l'utilisation de polynômes de degré élevé.
- Développer et comparer ces implémentations en virgule flottante (FP), en virgule fixe (FxP) et dans des formats flottants de faible précision. Analyser l'influence de la précision des coefficients, des opérations arithmétiques et des erreurs d'arrondi sur la qualité des approximations et leur stabilité numérique.
- Évaluer les compromis entre précision numérique, complexité de calcul et coût d'implémentation. Étudier notamment des approches hybrides combinant LUTs et approximations polynomiales afin de réduire le coût des évaluations tout en maîtrisant les erreurs.

- Intégrer les implémentations développées dans des réseaux de neurones et évaluer leur impact sur les performances et la fiabilité des modèles, en particulier dans des contextes de déploiement à ressources matérielles contraintes.

Les travaux du/de la stagiaire pourront donner lieu à des publications dans des conférences et revues nationales et internationales, ainsi qu'à des présentations lors des séminaires de l'équipe. La soutenance de stage aura lieu à l'institution d'origine de l'étudiant(e), avec une présence des encadrant(e)s de stage en visioconférence. Les encadrant(e)s américain(e)s délivreront un certificat de réussite de stage détaillé, ainsi que des lettres de recommandation pour la suite des études du/de la stagiaire. Les stages M2 peuvent donner lieu à des propositions de continuation en thèse, sous condition d'adéquation des compétences, des financements disponibles et des règles d'admission de l'École doctorale locale.

Etablissement d'accueil

L'Université du Texas à El Paso (UTEP) est une université publique américaine classée **R1** (à activité de recherche de haute catégorie) par la classification Carnegie, qui distingue les établissements ayant une très forte activité de recherche. Située au Texas, à la frontière entre les États-Unis et le Mexique, elle accueille plus de 26000 étudiants et propose 169 formations de licence, de master et de doctorat. Elle se distingue par son engagement en faveur de l'égalité des chances et de l'accès à un enseignement supérieur de qualité. L'UTEP figure parmi les 5% d'universités américaines les mieux classées en matière de recherche. Son département d'informatique, rattaché au *Miguel A. Loya College of Engineering*, propose des formations en informatique du niveau licence au doctorat, et collabore avec des partenaires académiques et industriels. Ses principaux axes de recherche couvrent le génie logiciel, la cybersécurité, l'intelligence artificielle et les fondements théoriques de l'informatique.

Visa et mobilité

La réalisation du stage à l'Université du Texas à El Paso (UTEP) nécessite l'obtention d'un visa J-1. L'établissement pourra accompagner le/la candidat(e) dans ses démarches administratives, mais les frais liés à la demande de visa et aux formalités associées resteront à sa charge. L'accueil en stage est conditionné à l'obtention du visa requis.

Durée, rémunération et frais de scolarité

Le stage, d'une durée de quatre à six mois, n'est pas rémunéré. Aucun frais de scolarité (tuition fees) ne sera demandé par l'UTEP au stagiaire dans le cadre de ce stage, et une attestation de stage sera délivrée à l'issue de ce dernier cf. ci-dessus). Les encadrant(e)s aideront le/la stagiaire pour toute démarche pour obtenir une bourse de mobilité internationale.

Encadrement

Le (la) stagiaire sera encadré(e) par :

- Hanane Benmaghnia – Post-Doctorante en validation numérique au LIP6, Sorbonne Université – CNRS, future Chargée de recherche à l'UTEP, (`https://hanane-benmaghnia.github.io/`)
- Christoph Lauter – Maître de conférences en informatique (Associate Professor), HDR, à l'Université de l'UTEP (`https://www.christoph-lauter.org/`)
- Martine Ceberio – Professeure en Informatique à l'UTEP (`https://expertise.utep.edu/profiles/mceberio`)

Profil recherché

Le stage s'adresse à des étudiant(e)s (M1 ou M2) en informatique, mathématiques appliquées, électronique ou dans un domaine connexe en premier lieu, mais est ouvert aussi aux étudiant(e)s d'autres disciplines s'ils/elles peuvent démontrer une forte capacité de travail interdisciplinaire. Les compétences recherchées sont :

- Modélisation et formalisation de problèmes à l'aide d'outils mathématiques et informatiques.
- Un intérêt pour les réseaux de neurones et leurs fiabilité.
- Curiosité pour aborder une problématique de recherche dans un contexte international, et ouverture d'esprit pour la découverte de la langue anglaise utilisée dans un contexte universitaire de recherche.
- Compétences en programmation et en génie logiciel basique.
- Une connaissance de l'arithmétique des ordinateurs est un plus.

La curiosité scientifique, l'autonomie, la rigueur et la capacité à analyser des résultats expérimentaux seront particulièrement appréciées.

Modalités de candidature

Les candidatures doivent être envoyées à Hanane Benmaghnia (hanane.benmaghnia@lip6.fr), Christoph Lauter (cqlauter@utep.edu), et Martine Ceberio (mceberio@utep.edu). Elles doivent inclure :

- un curriculum vitae,
- une lettre de motivation,
- des liens vers des projets personnels, professionnels ou universitaires représentatifs, par exemple des dépôts Git (si disponibles) ou publications antérieures.
- une ou deux personnes référentes à contacter.

References

[1] IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic.

[2] Hanane Benmaghnia, Matthieu Martel, and Yassamine Seladji. Code generation for neural networks based on fixed-point arithmetic. *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.*, 23(5):68:1–68:28, 2024.

[3] Benoit Lopez. *Implémentation optimale de filtres linéaires en arithmétique virgule fixe. (Optimal implementation of linear filters in fixed-point arithmetic).* PhD thesis, Pierre and Marie Curie University, Paris, France, 2014.