

Développement d'une peau artificielle pour une perception tactile avancée

Proposé par : Iness AHRIZ & Lounis ZERIOUL
Contact: iness.ahriz@lecnam.net & lounis.zerioul@lecnam.net

Laboratoire CEDRIC - Le Cnam - Paris

1 Contexte scientifique et technologique

La perception tactile humaine est un mécanisme sensoriel complexe qui permet d'identifier simultanément plusieurs caractéristiques d'un objet, telles que sa texture, sa rigidité et sa température. La reproduction de cette capacité dans des dispositifs artificiels représente un enjeu majeur pour de nombreuses applications, notamment en robotique, en prothèses intelligentes et en interfaces haptiques avancées. Parmi les différentes approches explorées pour le développement de peaux artificielles, la tomographie par impédance électrique (EIT - Electrical Impedance Tomography) a déjà donné des résultats très prometteurs. Elle permet de cartographier la distribution de l'impédance électrique d'une surface en exploitant un réseau d'électrodes. Cette méthode a le potentiel de fournir des informations riches sur les matériaux en contact, la pression exercée et la température de surface sensible. Cependant, plusieurs défis restent à relever à savoir :

1. Optimisation de la forme d'onde et du schéma de stimulation/mesure utilisés pour l'EIT
2. Traitement et interprétation des données
3. Classification des matériaux et des conditions de contact

Dans le cadre de cette thèse ces défis seront abordés par le prisme de l'Intelligence Artificielle (IA) afin d'apporter des solutions concrètes. En effet, Les algorithmes d'apprentissage profond, tels que les réseaux de neurones convolutionnels ou les modèles bayésiens, peuvent améliorer considérablement la précision et la rapidité de reconstruction des images EIT. L'IA permet également d'exploiter des approches hybrides combinant des modèles physiques et des techniques d'apprentissage pour une meilleure interprétation des signaux. En ce qui concerne la classification, L'IA offre un outil intéressant d'extraction de caractéristiques pertinentes à partir des données EIT et permet une classification précise des matériaux et des interactions. Grâce aux techniques de machine learning supervisé et non supervisé, il sera possible d'identifier automatiquement les types de contact, d'adapter les paramètres de stimulation et d'améliorer la sensibilité des capteurs de peau artificielle.

2 Objectifs scientifiques

L'objectif principal de cette recherche est d'améliorer la perception tactile des peaux artificielles en combinant de nouvelles formes d'ondes pour l'EIT avec des méthodes d'intelligence artificielle pour l'interprétation des données. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

1. Développement de nouvelles formes d'ondes et optimisation des schémas de stimulation et de mesure pour l'EIT :
 - Adapter des formes d'ondes utilisées dans le domaine des télécommunications, notamment celles qui sont de nature multi-fréquentielle.
 - Définir des schémas de stimulation optimisés en termes de configuration des électrodes (adjacentes, opposés, etc), fréquence des signaux et métriques à mesurer (module, phase, etc), pour une reconstruction plus fiable de la cartographie de l'impédance électrique.
2. Application de méthodes d'intelligence artificielle pour l'interprétation et la classification des données EIT
 - Développer des algorithmes de reconstruction d'image basés sur l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond afin d'améliorer la précision et la rapidité de la reconstitution de l'impédance électrique ce qui permet de localiser le toucher.
 - Concevoir un système de classification basé sur l'IA permettant d'identifier simultanément le type de matériau, la pression, la température ainsi que la localisation sur la surface sensible.

3 Justification de l’approche scientifique

L’approche adoptée dans cette thèse repose sur une méthodologie interdisciplinaire combinant :

- Électronique et capteurs pour la stimulation et la mesure : développement de nouveaux protocoles de stimulation et de mesure pour l’EIT afin d’améliorer la qualité des signaux collectés.
- Traitement du signal avancé et reconstruction d’image : exploitation de nouvelles techniques d’analyse du signal et de reconstruction tomographique pour optimiser la précision spatiale et temporelle des données.
- Intelligence artificielle pour l’interprétation des données :
 - Utilisation de réseaux de neurones pour améliorer la reconstruction des images EIT.
 - Application de modèles d’apprentissage supervisé et non supervisé pour extraire des informations sur les matériaux, la pression et la température.
 - Intégration de modèles génératifs pour améliorer la robustesse du système dans des environnements variés.

L’avantage de cette approche est qu’elle permet une amélioration simultanée de la résolution de la peau artificielle et de sa capacité à interpréter les interactions tactiles en temps réel.

4 Rôle des encadrants

- **Porteuse : AHRIZ Iness – McF – HDR- (Intelligence Artificielle et traitement du signal)** : Madame AHRIZ apportera son expertise sur la recherche, l’optimisation et l’implémentation des méthodes d’IA pour la reconstruction d’images et la classification des interactions tactiles. Elle guidera l’utilisation de modèles d’apprentissage automatique et d’apprentissage profond pour améliorer la précision et la robustesse des données tactiles obtenues.
- **Co-encadrant : ZERIOUL Lounis (instrumentation et électronique embarquée)** : Monsieur ZERIOUL supervisera le développement du système de stimulation et de mesure pour l’EIT, en veillant à l’optimisation de la forme d’onde et à la mise en œuvre des circuits électroniques pour la stimulation/mesure nécessaires à la peau artificielle. Il encadrera également la mise en traitement temps réel d’une partie ou de la totalité des traitements associés.

5 Profil du candidat recherché

Le candidat devra posséder un solide bagage en intelligence artificielle et idéalement aura des compétences en traitement du signal et électronique. Il devra également faire preuve d’autonomie, de rigueur et d’un intérêt marqué pour la recherche interdisciplinaire. **Compétences requises :**

- Intelligence artificielle et apprentissage automatique : expérience en réseaux de neurones, classification supervisée et non supervisée, deep learning.
- Programmation : maîtrise de Python (TensorFlow, PyTorch.) et/ou Matlab pour le traitement des signaux et l’analyse des données. La maîtrise du langage C sera appréciée pour la partie électronique.
- Traitement du signal et reconstruction d’image : maîtrise des techniques de filtrage, analyse fréquentielle et reconstruction tomographique.
- Électronique et instrumentation : connaissances en traitement des signaux électriques, circuits électroniques, microcontrôleur et capteurs.

Compétences appréciées (non obligatoires, mais un plus) :

- Expérience en imagerie médicale ou contrôle non destructif.
- Connaissances en robotique et en interfaces haptiques.
- Expérience en conception et fabrication de circuits imprimés (PCB).
- Bonne capacité de communication et de rédaction scientifique.

6 Références bibliographiques

[1] M. Abdelwahed, L. Zeriuol, A. Pitti, and O. Romain, “Using novel multi-frequency analysis methods to retrieve material and temperature information in tactile sensing areas,” *Sensors*, vol. 22, no. 22, p. 8876, 2022.

[2] W. Njima, I. Ahriz, R. Zayani, M. Terre, and R. Bouallegue, “Deep CNN for Indoor Localization in IoT-Sensor Systems,” *Sensors*, vol. 19, no. 14 p. 3127, 2019