

EEGNet y Shallow ConvNet

Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales
Edgar Iván Calpa

Modelos de aprendizaje profundo aplicados a señales EEG
Profesor: Andrés Marino Álvarez Meza, PhD
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación



Outline

- 1 Motivación
- 2 Problema
- 3 Contexto del problema
- 4 Estado del arte
- 5 Novedad
- 6 Objetivos
- 7 Diseño experimental
- 8 Papers
- 9 Referencias

Motivación

- **Accesibilidad clínica:** PET tau y LCR son costosos e invasivos, se requiere biomarcador no invasivo y repetible de Paula et al., 2009
- **Huella funcional:** La propagación de tau altera ritmos y conectividad neuronal, el EEG puede capturar esos cambios Tolnay y Probst, 1999
- **Deep learning en EEG:** Modelos compactos como EEGNet y Shallow ConvNet detectan patrones espacio-temporales en EEG con datos limitados Lawhern et al., 2018; Schirrmeyer et al., 2017

Problema

- **General:** No existe un biomarcador funcional, no invasivo y accesible para detectar progresión de Alzheimer vinculada a tau de Paula et al., 2009
- **Específico:** Validar si EEGNet y Shallow ConvNet identifican patrones EEG asociados a propagación de tau y progresión clínica Lawhern et al., 2018; Schirrmeyer et al., 2017
- **Qué hacemos:** Entrenar y comparar ambos modelos sobre EEG CN/MCI/AD, analizar interpretabilidad por canal/banda y vincular hallazgos con trayectorias tau Ajra et al., 2023

Contexto del problema

- **Teoría de detección:** Maximizar P_D para un P_{FA} dado, evaluar curvas ROC y umbrales Kay, 1998
- **Neurobiología de tau:** Hiperfosforilación, ovillos neurofibrilares y patrón hipocampo→entorhinal→cortezas asociativas Tolnay y Probst, 1999
- **Implicación EEG:** Cambios en alfa/beta/gamma y sincronización funcional reflejan la disrupción de redes por tau de Paula et al., 2009

Estado del arte

- **EEGNet**: CNN compacta con convoluciones separables, generaliza con pocos datos Lawhern et al., 2018
- **Shallow ConvNet**: Arquitectura superficial para ritmos mu/beta, baseline reproducible en BCI Schirrmester et al., 2017
- **Demencia + conectividad**: Shallow CNN con AEC/PLV para AD vs FTD vs controles, alta exactitud Ajra et al., 2023
- **Brecha**: Falta conexión directa entre deep-EEG y biomarcadores tau de Paula et al., 2009

Novedad

- **Innovación:** Unir neurobiología de tau con detección funcional en EEG mediante CNN compactas Ajra et al., 2023; Lawhern et al., 2018
- **Etiqueta del estudio:** Biomarcador EEG funcional para progresión de Alzheimer
- **Métricas:** Accuracy, F1 macro, AUC ROC, P_D , P_{FA} ; mapas de importancia por canal/banda Kay, 1998

Objetivos

- **General:** Desarrollar y validar un modelo EEG (EEGNet vs Shallow) para detectar patrones asociados a tau y progresión de Alzheimer Lawhern et al., 2018; Schirrneister et al., 2017
- **Específicos:**
 - Preprocesar EEG CN/MCI/AD y segmentar ventanas 2–4 s Schirrneister et al., 2017
 - Entrenar y comparar EEGNet vs Shallow ConvNet en clasificación CN vs AD y CN vs MCI Lawhern et al., 2018
 - Interpretabilidad: analizar bandas y canales relevantes y su coincidencia con trayectorias tau Ajra et al., 2023
 - Validar con severidad clínica (MMSE/MoCA) y, si hay, PET/LCR tau de Paula et al., 2009

Diseño experimental

- **Datos:** EEG multicanal CN/MCI/AD con metadatos clínicos; subcohorte PET/LCR si está disponible Ajra et al., 2023
- **Entradas:** Señales EEG ($C \times T$), ventanas 2–4 s, normalización; opcional espectrogramas y matrices PLV/PLI Lawhern et al., 2018; Schirrmeister et al., 2017
- **Sensor:** Sistema 10–20 clínico (32–64 canales) Schirrmeister et al., 2017
- **Metodología:**
 - Clásicos: PSD, PLV/PLI + SVM/LDA, curvas ROC Kay, 1998
 - IA: EEGNet y Shallow ConvNet; opcional GCN sobre conectividad Ajra et al., 2023; Lawhern et al., 2018
- **Validación:** k-fold por sujeto; métricas accuracy, F1, AUC, P_D , P_{FA} ; mapas de saliencia Kay, 1998; Lawhern et al., 2018

Tres papers de mapeo con IA

- **Lawhern et al. 2018 (EEGNet):** Multi-paradigma BCI, AUC/kappa, compacto, sensible al preprocesamiento Lawhern et al., 2018
- **Schirrmeister et al. 2017 (Shallow/DeepConvNet):** BCI IV-2a, intra- y cross-subject, baseline reproducible, necesita ajuste Schirrmeister et al., 2017
- **Ajra et al. 2023 (Demencia + conectividad):** EEG clínico AD/FTD vs HC, AEC/PLV, alta exactitud, falta vínculo con tau Ajra et al., 2023

Referencias I

- Ajra, Z., Xu, B., Dray, G., Montmain, J., & Perrey, S. (2023). Using shallow neural networks with functional connectivity from EEG signals for early diagnosis of Alzheimer's and frontotemporal dementia. *Frontiers in Neurology*, 14.
<https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1270405>
- de Paula, V. J. R., Guimarães, F. M., Diniz, B. S., & Forlenza, O. V. (2009). Neurobiological pathways to Alzheimer's disease: Amyloid-beta, tau protein or both. *Dementia & Neuropsychologia*, 3(3), 188-194.
<https://doi.org/10.1590/S1980-57642009DN30300005>
- Kay, S. M. (1998). *Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume II: Detection Theory*. Prentice Hall.
<https://www.worldcat.org/title/39135645>

Referencias II

- Lawhern, V. J., Solon, A. J., Waytowich, N. R., Gordon, S. M., Hung, C. P., & Lance, B. J. (2018). EEGNet: a compact convolutional neural network for EEG-based brain-computer interfaces. *Journal of Neural Engineering*, 15(5), 056013. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aace8c>
- Schirrmester, R. T., Springenberg, J. T., Fiederer, L. D. J., Glasstetter, M., Eggensperger, K., Tangermann, M., Hutter, F., Burgard, W., & Ball, T. (2017). Deep learning with convolutional neural networks for EEG decoding and visualization. *Human Brain Mapping*, 38(11), 5391-5420. <https://doi.org/10.1002/hbm.23730>
- Tolnay, M., & Probst, A. (1999). Tau protein pathology in Alzheimer's disease and related disorders. *Neuropathology and Applied Neurobiology*, 25(3), 171-187. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2990.1999.00188.x>