



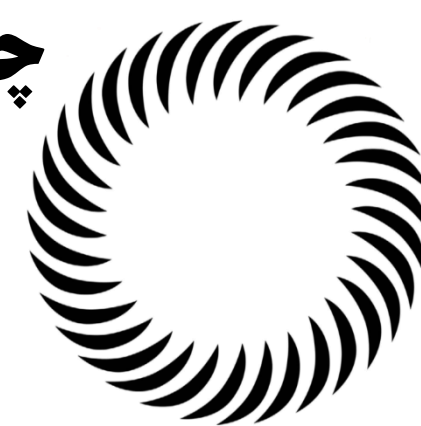
نمایشگاه هفته پژوهش و فناوری
دانشگاه صنعتی همدان
آذر 1404

چارچوب ترکیبی مبتنی بر یادگیری عمیق و روش تجمیعی برای تشخیص صرع با استفاده از سیگنال‌های EEG

سجاد خوش‌راه

گروه مهندسی برق دانشگاه صنعتی همدان

khoshrahsajad@gmail.com



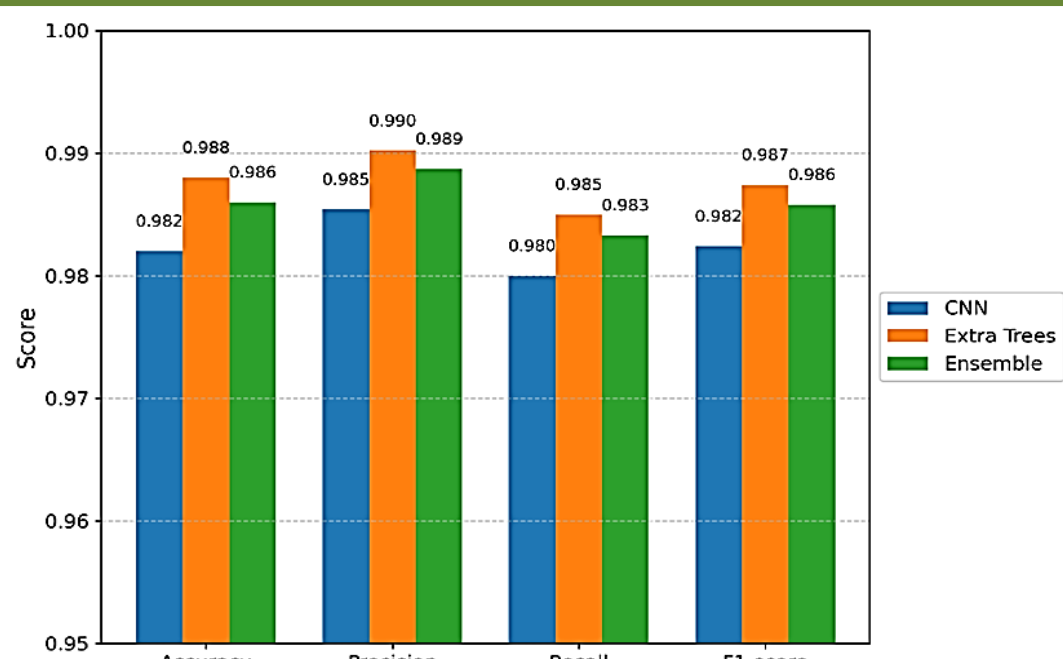
هفته ملی پژوهش و فناوری

چکیده

در این پژوهش، چارچوبی ترکیبی برای تشخیص صرع از سیگنال‌های EEG ارائه شده است. در این چارچوب ابتدا داده‌های خام مجموعه داده EEG Bonn با استفاده از تبدیل فوریه کوتاه‌مدت (STFT) به طیف‌نگاشت‌های دوبعدی 96×96 پیکسل تبدیل و مشتقات زمانی و فرکانسی آن‌ها محاسبه شدند. سپس یک شبکه عصبی کانولوشنی دوبعدی (2D-CNN) مبتنی بر بلوک‌های باقیمانده (Residual Blocks) و مجهز به مکانیسم توجه فشرده‌سازی-برانگیختگی (Squeeze-and-Excitation, SE) طراحی شد. برای افزایش قابلیت تعمیم‌پذیری، از تکنیک‌های برهم‌نهی داده‌ها (Mixup) و هموارسازی برچسب استفاده شد. در ادامه، بردارهای ویژگی استخراج‌شده توسط شبکه CNN به یک طبقه‌بندی‌کننده مبتنی بر الگوریتم ExtraTrees داده شدند و خروجی‌های هر دو مدل در قالب یک روش تجمیعی (Ensemble) با یکدیگر ترکیب شدند. نتایج اعتبارسنجی متقابل پنج‌بخشی نشان داد که مدل پیشنهادی به میانگین دقت 98.6% ، حساسیت 98.3% و مقدار F1-Score برابر 98.6% دست یافت. این مقادیر بیانگر عملکرد برتر مدل پیشنهادی نسبت به روش‌های مشابه هستند. دقت بالای به‌دست‌آمده نشان‌دهنده اثربخشی چارچوب پیشنهادی در تشخیص صرع است.

واژه های کلیدی : سیگنال EEG الکتروانسفالوگرام، صرع، شبکه عصبی کانولوشنی دوبعدی، بلوک‌های باقی‌مانده، مکانیسم فشرده‌سازی-برانگیختگی، مدل تجمیعی، الگوریتم

درخت‌های تصادفی افزوده



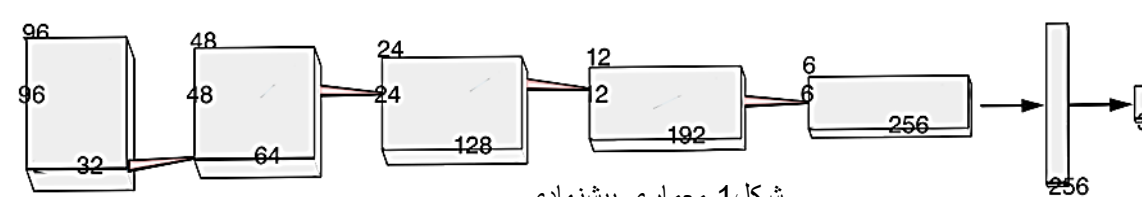
شکل ۲. تغییرات دقت مدل CNN در طول 5-Fold از فرایند Cross-Validation

مقدمه

با پیشرفت‌های اخیر در حوزه‌ی یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، امکان پردازش و تحلیل خودکار داده‌های پیچیده فراهم شده است. به‌ویژه، شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) با توانایی استخراج ویژگی‌های زمانی-فرکانسی از سیگنال‌ها، جایگاه ویژه‌ای در پژوهش‌های مرتبط با تشخیص صرع یافته‌اند. در کنار این پیشرفت‌ها، استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی مبتنی بر درخت و روش‌های ترکیبی (Ensemble) نیز به‌عنوان راهکارهایی کارآمد برای افزایش دقت و پایداری مدل‌های تشخیصی مطرح شده‌اند. با وجود تلاش‌های صورت‌گرفته، هنوز چالش‌هایی نظیر مقاومت پایین در برابر نویز، بیش‌برازش مدل‌ها، و محدودیت در تعمیم‌پذیری نتایج وجود دارد. همین موضوع ضرورت طراحی چارچوب‌های نوآورانه و ترکیبی را برجسته می‌سازد؛ چارچوب‌هایی که بتوانند مزایای روش‌های عمیق و کلاسیک را در کنار هم به‌کار گیرند و به بهبود عملکرد در محیط‌های واقعی منجر شوند.

اهداف و روش پژوهش

ورودی شبکه شامل سه کانال (طیف‌نگار اصلی، مشتق زمانی و مشتق فرکانسی) با ابعاد $3 \times 96 \times 96$ شکل گرفت. معماری پیشنهادی یک شبکه کانولوشنی دوبعدی 2D-CNN [1] با بلوک‌های بازمانده (Residual Blocks) است که در هر بلوک از مکانیزم فشرده‌سازی-برانگیختگی (Squeeze-and-Excitation, SE) برای انتخاب تطبیقی ویژگی‌های کانالی استفاده شده است. این بلوک‌ها به صورت سلسله‌مراتبی اعمال شده و ابعاد ویژگی‌ها به ترتیب کاهش می‌یابند (از $3 \times 96 \times 96$ تا $3 \times 256 \times 6$). پس از آن، یک لایه Global Average Pooling برای کاهش ابعاد به بردار ۲۵۶ بعدی به‌کار گرفته شد. برای بهبود تعمیم‌پذیری، تکنیک‌های داده‌افزایی Mix-up و برهم‌نهی داده‌ها و Label Smoothing [2] (هموارسازی برچسب) مورد استفاده قرار گرفتند. سپس، بردار ویژگی نهایی هم به یک لایه Dense با $\text{Dropout}=0.5$ متصل شد و هم به یک طبقه‌بند درختی (Extra Trees) داده شد. در نهایت، خروجی SoftMax شبکه و خروجی Extra Trees در قالب یک مدل تجمیعی Ensemble ترکیب شدند تا تصمیم نهایی گرفته شود. مدل پیشنهادی در طی ۳۰ دوره Epoch و با اندازه دسته ۳۲ (Batch size) آموزش داده شد. برای بهینه‌سازی وزن‌ها از بهینه‌ساز Adam با نرخ یادگیری ثابت 0.001 استفاده گردید. معماری شبکه شامل حدود $2/3$ میلیون پارامتر قابل آموزش بود که همگی به‌صورت انتها به انتها End-to-End بهینه شدند. جهت افزایش تعمیم‌پذیری و کاهش بیش‌برازش، از $\text{Dropout}=0.5$ ، هموارسازی برچسب با ضریب 0.05 و برهم‌نهی داده‌ها $\text{Mixup}, \alpha=0.3$ استفاده شد. علاوه بر این، به‌منظور اطمینان از پایداری و تکرارپذیری نتایج، از اعتبارسنجی متقاطع پنج‌بخشی (5-Fold Cross-Validation) بهره گرفته شد. در بخش تجمیعی نیز طبقه‌بند ExtraTrees با Gini معیار جینی مورد استفاده قرار گرفت. تمامی آزمایش‌ها باز بذر تصادفی ثابت $\text{Random Forest}=42$ انجام شدند تا قابلیت بازتولید داشته باشند.



یافته‌های پژوهش

فرایند آموزش مدل در طول ۳۰ دوره (Epoch) انجام شد. همان‌طور که در شکل (2) مشاهده می‌شود مقدار دقت (Accuracy) در داده‌های آموزش و اعتبارسنجی به‌تدریج افزایش یافته و در انتهای آموزش به بیش از 97% رسیده است. این نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی توانسته است در فرایند آموزش به دقت بالا و پایداری قابل قبولی دست یابد. این نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی توانسته است در فرایند آموزش به دقت بالا و پایداری قابل قبولی دست یابد. در این پژوهش برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، از معیارهای استاندارد در حوزه یادگیری ماشین استفاده شده است. معیارهایی که در این بخش گزارش می‌شوند شامل دقت (Accuracy)، دقت مثبت (Precision)، یادآوری (Recall) و میانگین هماهنگ (F1-score) هستند.

راهبردهای پیشنهادی

بهره‌گیری از مجموعه داده‌های بزرگ‌تر و چندمرکزی می‌تواند به افزایش تعمیم‌پذیری مدل در شرایط واقعی کمک کند. دوم، ترکیب CNN با معماری‌های پیشرفته‌تر مانند شبکه‌های بازگشتی یا مدل‌های مبتنی بر توجه (Attention, Transformer) می‌تواند به بهبود استخراج وابستگی‌های زمانی سیگنال‌ها منجر شود. سوم، توسعه نسخه سبک‌سازی‌شده مدل برای کاربردهای بلادرنگ در دستگاه‌های پوشیدنی و سامانه‌های کلینیکی یکی از اهداف کلیدی آینده خواهد بود. همچنین افزایش قابلیت تفسیرپذیری مدل با بهره‌گیری از روش‌های XAI مانند Grad-CAM می‌تواند اعتماد متخصصان بالینی به نتایج مدل را تقویت کند. در مجموع، نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که ترکیب CNN با ماژول SE و روش‌های مدرن آموزش، یک رویکرد مؤثر و مطمئن برای تحلیل سیگنال‌های EEG در حوزه تشخیص صرع محسوب می‌شود. توسعه و گسترش این چارچوب می‌تواند گامی ارزشمند در جهت ارتقای هوش مصنوعی پزشکی و تسهیل فرآیندهای تشخیصی در علوم اعصاب باشد.

منابع

- [1] W. Zeng, S. Li, B. Su, and S. Du, "Epileptic seizure detection with deep EEG features by convolutional neural network and shallow classifiers," *Frontiers in Neuroscience*, vol. 17, May 2023, doi: <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1145526>.
- [2] I. Ahmad et al., "Robust Epileptic Seizure Detection Based on Biomedical Signals Using an Advanced Multi-View Deep Feature Learning Approach," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 28, no. 10, pp. 5742-5754, May 2024, doi: <https://doi.org/10.1109/jbhi.2024.3396130>.

تایید استاد راهنما

نام و امضا استاد راهنما : دکتر میثم شفاعی

تایید تحصیلات تکمیلی :

تایید امور پژوهشی: