



بهبود عملکرد رابط مغز و رایانه با استفاده از یادگیری فدره: یک رویکرد نوین

نسیم خوارزمی نژاد، ریحانه دولتی خواه

چکیده

در این پژوهش، چالش‌های مرتبط با کمبود داده‌ها در توسعه مدل‌های یادگیری عمیق برای رابط‌های مغز و رایانه (BCI) بررسی شده و یک روش مبتنی بر یادگیری فدره (FLEEG) برای حل این مشکل پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی از طریق ادغام داده‌های پراکنده و تبادل دانش میان مجموعه‌های داده مختلف، کارایی مدل‌های پردازش EEG را افزایش می‌دهد. در ارزیابی‌های انجام‌شده، این روش توانسته است دقت طبقه‌بندی را تا ۴.۸٪ بهبود بخشد که به‌ویژه برای مجموعه داده‌های کوچک اهمیت قابل‌توجهی دارد. نتایج نشان می‌دهند که چارچوب پیشنهادی می‌تواند مدل‌های محلی را قادر سازد تا تمرکز بهتری بر ویژگی‌های مرتبط با وظایف مشخص داشته باشند.

مقدمه

رابط مغز و رایانه (BCI) فناوری ای است که ارتباط مستقیم بین مغز انسان و دستگاه های خارجی را امکان پذیر می کند. این فناوری به افراد دارای ناتوانی جسمی کمک می کند تا کنترل بهتری بر محیط خود داشته باشند و همچنین در کاربردهای پزشکی، توانبخشی و حتی صنعت سرگرمی مورد استفاده قرار می گیرد. سیگنال های مغزی معمولاً با استفاده از روش های غیرتهاجمی مانند الکتروانسفالوگرافی (EEG) ثبت می شوند. با این حال، یکی از چالش های اساسی در توسعه سیستم های مبتنی بر BCI، محدودیت در دسترسی به داده های کافی و متنوع است. این محدودیت می تواند باعث کاهش دقت و قابلیت تعمیم مدل های یادگیری ماشین شود. در این پژوهش، یک چارچوب یادگیری فدره جدید پیشنهاد شده که به کمک آن می توان از مجموعه داده های مختلف برای بهبود عملکرد مدل های پردازش EEG بهره برد.

روش پیشنهادی

در این مطالعه، چارچوب یادگیری فدره شخصی سازی شده سلسله مراتبی (FLEEG) برای رمزگشایی سیگنال های EEG معرفی شده است. این روش امکان بهره برداری از داده های متنوع را بدون نیاز به یکپارچه سازی مستقیم آن ها فراهم می کند. چارچوب پیشنهادی از دو بخش اصلی تشکیل شده است: ۱) (یک سرور مرکزی که وظیفه هماهنگی فرآیند آموزش مدل ها را بر عهده دارد و) ۲) (چندین مشتری که هر یک داده های محلی خود را در اختیار دارند. در این روش، به جای ارسال داده های خام، مدل های محلی به روزرسانی شده و دانش به اشتراک گذاشته می شود که این امر باعث حفظ حریم خصوصی داده ها نیز می شود.

نتایج و ارزیابی ها

برای ارزیابی عملکرد چارچوب پیشنهادی، آزمایش هایی بر روی ۹ مجموعه داده EEG از منابع مختلف انجام شده است. نتایج نشان می دهند که استفاده از FLEEG می تواند دقت طبقه بندی را به میزان قابل توجهی افزایش دهد، به ویژه در مجموعه داده هایی که از حجم کمتری برخوردارند. همچنین، بررسی های تصویری نشان داده اند که مدل های آموزش یافته با استفاده از این چارچوب قادرند بر روی ویژگی های مهم تر داده تمرکز کرده و عملکرد بهتری داشته باشند. مقایسه بین روش پیشنهادی و سایر روش های یادگیری نشان داد که FLEEG در سناریوهای با داده های پراکنده نیز قادر به ارائه نتایج قابل قبول است.

نتیجه گیری

استفاده از یادگیری فدره برای تجمیع دانش از مجموعه داده های متنوع، می تواند عملکرد مدل های BCI را بهبود بخشد. این روش به ویژه در شرایطی که جمع آوری داده های کافی دشوار است، بسیار مفید خواهد بود. در آینده، می توان این چارچوب را با تکنیک های پیشرفته تری ترکیب کرد تا بهینه سازی بیشتری در مدل های پردازش EEG حاصل شود.

منابع

۱. Bakas, S., Ludwig, S., Barmpas, K., Bahri, M., Panagakis, Y., Laskaris, N., et al. (2022). Team cogitat at NeurIPS 2021: Benchmarks for EEG transfer learning competition. arXiv preprint arXiv:2202.03267.



- Bayram, H. C., & Rekik, I. (2021). A federated multigraph integration approach for connectional brain template learning. In International workshop on multimodal learning for clinical decision support (pp. 36–47). Springer.
- Bica, I., & van der Schaar, M. (2022). Transfer learning on heterogeneous feature spaces for treatment effects estimation. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 35, 37184–37198.
- Cho, H., Ahn, M., Ahn, S., Kwon, M., & Jun, S. C. (2017). EEG datasets for motor imagery brain-computer interface. *GigaScience*, 6(7), gix034.
- Feng, S., Li, B., Yu, H., Liu, Y., & Yang, Q. (2022). Semi-supervised federated heterogeneous transfer learning. *Knowledge-Based Systems*, 252, Article 109384.
- Grosse-Wentrup, M., Liefhold, C., Gramann, K., & Buss, M. (2009). Beamforming in noninvasive brain-computer interfaces. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 56(4), 1209–1219.
- Hang, W., Li, J., Liang, S., Wu, Y., Lei, B., Qin, J., et al. (2023). FedEEG: Federated EEG decoding via inter-subject structure matching. In ICASSP 2023-2023 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 1–5). IEEE.
- Kairouz, P., McMahan, H. B., Avent, B., Bellet, A., Bennis, M., Bhagoji, A. N., et al. (2021). Advances and open problems in federated learning. *Foundations and Trends® in Machine Learning*, 14(1–2), 1–210.