UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Klasifikasi Motor Imagery Berbasis Functional Connectivity EEG: PLV/wPLI + Graph Features untuk BCI
Indira Adella Ryta, Ir. Noor Akhmad Setiawan, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Antarmuka otak-komputer (*brain-computer interface*, BCI) berbasis *electroencephalography* (EEG) dengan paradigma *motor imagery* (MI) memerlukan representasi fitur yang diskriminatif, dan konektivitas fungsional antarkanal menjadi salah satu representasi yang menjanjikan. Namun, belum jelas metrik konektivitas berbasis fase mana yang lebih unggul untuk klasifikasi. Penelitian ini membandingkan *Phase Locking Value* (PLV) dan *Weighted Phase Lag Index* (wPLI) sebagai dasar fitur teori graf *multi-band* untuk klasifikasi biner MI menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) dengan *kernel Radial Basis Function* (RBF). Data yang digunakan adalah *dataset* BCI Competition IV 2a (sembilan subjek, empat kelas MI yang didekomposisi menjadi enam pasangan biner *one-vs-one*). Untuk setiap *trial*, isyarat dipraproses (penyaringan, *Independent Component Analysis*, dan *common average reference*), lalu konektivitas PLV dan wPLI dihitung per lima pita frekuensi melalui transformasi Hilbert dan dimodelkan sebagai graf berbobot. Dari tiap graf diekstraksi enam metrik global dan empat metrik nodal untuk 22 elektroda sehingga terbentuk vektor fitur *multi-band* berdimensi 470, yang diseleksi dengan uji Kruskal-Wallis dan dievaluasi pada skema validasi *within-subject* disertai uji signifikansi statistik. Hasil menunjukkan bahwa fitur berbasis PLV (rata-rata akurasi 71,8% dan *Cohen's kappa* 0,44) secara signifikan mengungguli wPLI (59,7%) dengan selisih 12,1 poin persentase pada keenam pasangan ($p \leq 0{,}004$), dan seluruh tugas signifikan di atas tingkat tebakan acak. Strategi *multi-band fusion* terbukti mengungguli pita tunggal terbaik, sedangkan analisis topografi mengonfirmasi adanya lateralisasi sensorimotor yang sesuai dengan landasan neurofisiologis. Dengan demikian, meskipun wPLI secara teoretis lebih kebal terhadap konduksi volume, PLV merupakan metrik yang lebih diskriminatif untuk klasifikasi MI pada *dataset* BCI Competition IV 2a. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada karakterisasi komparatif kedua metrik konektivitas serta interpretasi pola jaringan sensorimotor yang dihasilkannya. Tingkat akurasi yang dicapai memperlihatkan bahwa representasi konektivitas–teori graf telah menangkap informasi *motor imagery* yang bermakna sekaligus menyisakan ruang bagi pengayaan representasi pada penelitian lanjutan.

Kata kunci : Brain-computer interfaces, Electroencephalography, Functional connectivity, Graph theory, Support vector machines.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Klasifikasi Motor Imagery Berbasis Functional Connectivity EEG: PLV/wPLI + Graph Features untuk BCI
Indira Adella Ryta, Ir. Noor Akhmad Setiawan, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Brain-computer interfaces (BCI) based on electroencephalography (EEG) with the motor imagery (MI) paradigm require discriminative feature representations, and inter-channel functional connectivity has emerged as a promising one. However, it remains unclear which phase-based connectivity metric is more effective for classification. This study compares the Phase Locking Value (PLV) and the Weighted Phase Lag Index (wPLI) as the basis of multi-band graph-theoretic features for binary MI classification using a Support Vector Machine (SVM) with a Radial Basis Function (RBF) kernel. The BCI Competition IV 2a dataset is used (nine subjects; four MI classes decomposed into six one-vs-one binary tasks). For each trial, the signal is preprocessed (filtering, Independent Component Analysis, and common average reference), and PLV and wPLI connectivity are computed per five frequency bands via the Hilbert transform and modeled as weighted graphs. Six global and four nodal metrics are extracted for the 22 electrodes, forming a 470-dimensional multi-band feature vector that is screened with the Kruskal-Wallis test and evaluated under a within-subject protocol with statistical significance testing. The results show that PLV-based features (mean accuracy 71.8% and Cohen's kappa 0.44) significantly outperform wPLI-based features (59.7%) by 12.1 percentage points across all six pairs ($p \leq 0.004$), with every task significantly above the chance level. Multi-band fusion outperforms the best single band, and a topographic analysis confirms a sensorimotor lateralization consistent with neurophysiology. Therefore, although wPLI is theoretically more robust to volume conduction, PLV is the more discriminative metric for MI classification. The main contribution of this study lies in the comparative characterization of the two connectivity metrics and the interpretation of the sensorimotor network they reveal. The accuracy attained shows that the connectivity–graph-theory representation captures meaningful motor-imagery information while leaving room for richer representations in future work.

Keywords : Brain-computer interfaces, Electroencephalography, Functional connectivity, Graph theory, Support vector machines.