

ABSTRACT

The motor imagery (MI) task is one of the most studied and promising types of Electroencephalogram (EEG) signals in Brain-Computer Interface (BCI) systems. Existing research reveals that there are still issues that have not been fully overcome, notably those that are subject-dependent, resulting in inconsistencies in each subject's detection results. Aside from these significant issues, another hurdle is deciding on a reliable channel that can be used for a wide range of subjects. The granular computing approach is employed in this study for feature extraction, feature selection, and channel selection approaches. Ensemble learning is also employed in the form of a hybrid classifier. A channel instantiation is also utilized to create more learning data to build a good model learned by instance-based learning called multi-instance learning (MIL). In this study, four methods are proposed. All methods use a MIL approach, narrow-window feature extraction with seven statistical measures, ensemble learning, and a voting scheme as a final decision. The first two proposed methods are the initially proposed method as a first step to strengthen the third and fourth proposed methods, which are the main methods for addressing research problems. The first and second proposed methods aim to investigate the effectiveness of narrow window feature extraction on a two-class and multi-class classification, respectively. In addition, the second proposed method is also intended to investigate the effectiveness of ensemble learning based on a hybrid classifier. The first and second proposed methods are called NWFE+KNN+VS and NWFE+OvO-TSD, respectively. Meanwhile, the third proposed method is called Logistic Regression based Feature Selection and Two-stage Detection (LRFS+TSD), while the second proposed method is called Granular Feature-Instance Selection and Two-stage Detection (GrFIS+TSD). This study employs two publicly available datasets commonly used in the EEG-MI classification task to evaluate the proposed method, namely the BCI III-Dataset IVa competition and the BCI IV-Dataset 2a competition. Accuracy, kappa coefficient, and execution time were used as evaluations. The experimental findings for the first and second proposed methods were promising, with $97.86\% \pm 1.18\%$ and $82.68\% \pm 8.24\%$ accuracy, respectively. Because the two proposed methods only employ one dataset, more evaluation with multiple datasets is required to address the research problems adequately. The third and fourth proposed methods are used to conduct this follow-up evaluation based on the first and second proposed methods. The experimental results show that the third and fourth proposed methods consistently produce a high accuracy for the two-class EEG-MI classification for all subjects by $95.21\% \pm 2.51\%$ and $97.14\% \pm 1.98\%$, respectively. Meanwhile, the accuracy and kappa coefficient for multi-class classification for GrFIS+TSD is higher than in the prior study, at 86.61% and 0.82, respectively. The fourth proposed method also has a robust channel selection while maintaining the high accuracy of the EEG-MI classification, as shown by the performance of GrFIS+TSD. The third and fourth proposed methods have sufficient execution times of less than 0.5 seconds. Therefore, it can be concluded that the proposed methods are capable of overcoming the subject-dependent problem and the need for robust channel selection, making it promising for the BCI system.

INTISARI

Klasifikasi *Motor Imagery* (MI) adalah salah satu kajian yang paling banyak dan menjanjikan dari sinyal *electroencephalogram* (EEG) dalam sistem *Brain-computer interface* (BCI). Penelitian-penelitian yang ada mengungkapkan bahwa masih ada masalah yang belum sepenuhnya diselesaikan, terkait dengan masalah tergantung-subyek, yang mengakibatkan adanya inkonsistensi hasil deteksi untuk banyak subyek. Selain masalah utama ini, tantangan lain adalah pemilihan *channel* yang handal yang dapat digunakan untuk berbagai subyek. Dalam penelitian ini, pendekatan komputasi granular digunakan untuk pendekatan ekstraksi fitur, pemilihan fitur, dan pemilihan channel. Teknik Ensemble juga digunakan dalam bentuk pengklasifikasi hibrida. Instansiasi channel juga digunakan untuk membuat lebih banyak data pembelajaran untuk membangun model yang baik yang dipelajari dengan pembelajaran berbasis instans, yang disebut pembelajaran multi-instans (PMI). Metode yang diusulkan dari apa yang disebut pembelajaran ensemble granular dianalisis lebih lanjut untuk mengatasi masalah klasifikasi EEG-MI di dua-kelas dan banyak-kelas. Pada penelitian ini diusulkan 2 metode dimana semua metode menggunakan pendekatan PMI, ekstraksi fitur jendela-sempit dengan 7 ukuran statistik, dan skema voting sebagai keputusan akhir. Metode yang digunakan adalah *hybrid classifier* dengan kombinasi analisis diskriminan linier, gradient boosted tree dan k-nearest neighbor. Selain itu, skema pemilihan fitur granular digunakan oleh kedua metode, dan skema pemilihan channel granular digunakan oleh metode kedua. Metode yang diusulkan pertama disebut *Logistic Regression based Feature Selection and Two-stage Detection* (LRFS+TSD) sedangkan metode yang diusulkan kedua disebut *Granular Feature-Instance Selection* dan *Two-stage Detection* (GrFIS+TSD). Untuk mengevaluasi metode yang diusulkan, digunakan dua dataset publik yang paling banyak digunakan dalam tugas klasifikasi EEG-MI, yaitu 1) kompetisi BCI III-Dataset IVa (dua-kelas) dan 2) kompetisi BCI IV-Dataset 2a (multi-kelas). Akurasi, koefisien kappa, dan waktu eksekusi digunakan sebagai evaluasi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode yang diusulkan secara konsisten meningkatkan akurasi klasifikasi EEG-MI dua-kelas untuk semua subyek baik LRFS+TSD dan GrFIS+TSD masing-masing sebesar $95,21\% \pm 2,51\%$ dan $97,14\% \pm 1,98\%$. Sedangkan akurasi dan koefisien kappa untuk klasifikasi multi-kelas untuk GrFIS+TSD lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya, masing-masing sebesar 86,61% dan 0,82. Metode yang diusulkan juga memiliki pemilihan *channel* yang kuat sambil mempertahankan akurasi klasifikasi EEG-MI yang sangat baik, seperti yang ditunjukkan oleh kinerja GrFIS+TSD. Waktu eksekusi dari kedua metode yang diusulkan juga dapat diterima yakni di bawah 0,5 detik. Dapat disimpulkan bahwa metode yang diusulkan mampu mengatasi masalah yang tergantung-subyek dan kebutuhan untuk pemilihan *channel* yang handal, sehingga menjanjikan untuk sistem BCI.