

DEKODING SINYAL EEG UNTUK IDENTIFIKASI GERAKAN TANGAN BERBASIS WAVELET PACKET DECOMPOSITION

Nabila Sabatini Purwadi¹, Koredianto Usman², Suryo Adhi Wibowo³

¹Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Kata Kunci :

Abstract

This undergraduate thesis has studied the design of EEG signal decoding system to identify imaginary hand movement of both left and right hand. This decoding system is considered necessary to help the Brain-Computer Interfacing (BCI) application in which to find means to bridge the gap between human mind and physical world, especially in terms of people with physical disability.

The study is done with EEG dataset taken from Graz data set B: Institute for Human-Computer Interfaces, Graz University of Technology, Austria. This dataset consisted of 9 subjects doing 5 sessions of imaginary left and right hand movement trials. Wavelet Packet Decomposition is used to extract the features of specific hand movement in the stream of EEG signal. Sliding window method is applied to simulate the online environment. Classification is done with Linear Discriminant Analysis. Evaluation criteria used in this study are accuracy, error rate, specific accuracy, kappa value, average processing time, maximum mutual information, SNR, specific SNR, and minimum misclassification taken from 10-fold cross validation.

The result of this study showed that the system achieved average overall accuracy from 9 subjects of 76,2% with average processing time of 4,179 second in window step size of 10. Average of maximum mutual information is 0,419, average of minimum misclassification rate is 0,215, average kappa value is 0,525, and average SNR is 0,934. The highest accuracy of the system is 96,8% and the highest mutual information is 0,889. The overall system can be used to produce separable features of EEG signal with different hand imaginary movement, but further study is required to make a finer and more general results.

Keywords : Electroencephalogram, Imaginary hand movement, Brain-Computer Interface, Wavelet packet decomposition, Sliding window, Linear Discriminant Analysis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Electroencephalograph adalah suatu alat yang dapat membantu manusia mengamati dan menganalisis hasil dari gelombang elektrik yang dihasilkan oleh neuron-neuron dalam otak. Hasil dari pembacaan alat tersebut, yaitu *Electroencephalogram* (EEG), selain dapat membantu diagnosa dokter untuk terapi medis, juga dikembangkan untuk aplikasi *Brain-Computer Interfacing* (BCI). BCI adalah sebuah metode yang memungkinkan manusia untuk dapat mengontrol sebuah sistem eksternal tanpa kontak langsung dengan sistem ^[25]. Sistem eksternal dapat dikontrol hanya dengan perintah dari otak manusia yang menggunakan alat berbasis BCI. BCI memanfaatkan gelombang tertentu yang dihasilkan oleh otak, seperti ritme dengan frekuensi yang berbeda.

Dengan adanya BCI, produk motor-prostesis seperti lengan dan kaki buatan dapat dibuat dengan metode non-invasif ^[26]. Produk motor-prostesis yang umum digunakan di kalangan medis sampai saat ini masih menggunakan metode invasif atau menyambungkan organ buatan dengan jalur operasi secara langsung. Metode invasif memiliki banyak kekurangan, seperti risiko kesalahan pada saat operasi yang termasuk rumit, pemulihan pasca-operasi yang memakan waktu, dan juga biaya operasi yang termasuk mahal. Maka dari itu motor-prostesis berbasis BCI sangat diperlukan untuk membantu pada penderita cacat fisik mengontrol lingkungan sekitarnya tanpa perlu melalui jalur operasi yang berisiko. Namun permasalahan yang muncul dalam pengembangan BCI adalah bagaimana cara untuk menerjemahkan sinyal yang dihasilkan neuron otak menjadi sebuah instruksi fisik yang diinginkan. Sistem BCI juga harus menerjemahkan sinyal tersebut menjadi sebuah instruksi dalam waktu yang efisien dan akurasi yang tinggi. Selain itu, sinyal hasil bacaan EEG adalah sebuah sinyal yang memiliki dimensi tinggi dan bercampur *noise* yang cukup banyak sehingga pemrosesannya membutuhkan algoritma tertentu yang sesuai.

Pada penelitian sebelumnya ^[4, 15] telah dibahas mengenai penggunaan transformasi *fourier* dan *wavelet* untuk mendeteksi fitur-fitur pada sinyal EEG. Selain tidak cocok untuk sinyal non-stasioner seperti sinyal EEG, penggunaan transformasi *fourier* memiliki kelemahan lain yaitu tidak dapat menganalisis informasi dalam domain waktu. Untuk mengatasinya, transformasi *wavelet* banyak digunakan untuk mengolah sinyal EEG karena

sifatnya yang merepresentasikan informasi dalam domain waktu dan frekuensi ^[17]. Di sisi lain, penggunaan metode klasifikasi pada penelitian sebelumnya ^[5] yang menggunakan filter Kalman memiliki keunggulan dalam hal kecepatan komputasi. Jaringan saraf tiruan atau *Artificial Neural Network* juga dinilai memiliki kinerja yang lebih baik untuk permasalahan non-linear seperti EEG ^[27]. Pada penelitian lain ^[23] telah dilakukan penelitian untuk membandingkan kinerja metode klasifikasi yang lebih sederhana dibandingkan ANN untuk BCI seperti *Linear Discriminant Analysis* (LDA), *Support Vector Machine* (SVM), dan *Logistic Regression*. Dari penelitian tersebut, LDA telah teruji mampu membedakan sinyal EEG 2 kelas lebih baik dibanding SVM dan *Logistic Regression*, dengan waktu yang sangat cepat dan komputasi yang sederhana.

Pada penelitian ini, penulis telah membuat sebuah sistem untuk membantu pengembangan sistem BCI yang difokuskan untuk realisasi motor-prostesis berupa lengan buatan. Sampel dalam percobaan yang telah dipasangkan elektroda-elektroda EEG akan diminta untuk membayangkan gerakan tangan (*Mental Task* atau *Imagined Hand Movement*) tertentu yang kemudian akan direkam berdasarkan arah gerakan dan sisi tangan yang digunakan. Jumlah elektroda yang akan digunakan sejumlah 3 buah (termasuk elektroda *Central*) dengan sistem peletakan elektroda 10/20. Hasil rekaman EEG asli akan dilewatkan dalam *Low-Pass Filter*, *High-Pass Filter*, dan *Notch Filter* untuk meningkatkan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR). Setelah itu sinyal tersebut yang akan diekstrak ciri-cirinya menggunakan metode *Wavelet Packet Decomposition* (WPD) dengan 3 level dekomposisi. WPD dipilih karena akan meningkatkan resolusi frekuensi daripada *wavelet* standar ^[2, 23, 27]. Setelah vektor ciri dibentuk, klasifikasi akan dilakukan dengan LDA karena dinilai mampu memberikan nilai akurasi yang baik namun tetap mempertahankan kesederhanaan komputasi dan waktu yang singkat.

Hasil yang akan diperoleh dari sistem tersebut diharapkan dapat membantu realisasi lengan buatan yang bersifat non-invasif dengan hasil bacaan EEG sehingga dapat membantu para penderita cacat fisik untuk dapat hidup normal seperti yang lain.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah disampaikan sebelumnya, maka dapat dijabarkan beberapa rumusan masalah yang dibahas pada Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Bagaimana cara membuat sistem yang dapat mengidentifikasi sebuah *imaginary hand movement* menjadi gerakan tangan yang sesuai?

2. Bagaimana cara mengambil ciri spesifik dari sinyal EEG hasil berbagai gerakan tersebut?
3. Bagaimana cara mengklasifikasi hasil dari ciri yang didapatkan ke dalam gerakan tangan yang sesuai?
4. Apa pengaruh *feedback* sistem dan kecepatan update *sliding window* terhadap akurasi keseluruhan dari sistem?
5. Bagaimana cara mengukur performansi dari sistem dekoding sinyal EEG untuk identifikasi gerakan tangan tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini antara lain:

1. Mengimplementasikan sistem dekoding sinyal EEG berbasis *wavelet packet decomposition*.
2. Dapat mengambil ciri spesifik dari sinyal EEG hasil dari berbagai gerakan tangan imajiner.
3. Dapat mengklasifikasi hasil dari ciri yang didapatkan ke dalam gerakan tangan yang sesuai.
4. Dapat menganalisis pengaruh *feedback* sistem dan kecepatan update *sliding window* terhadap akurasi keseluruhan dari sistem.
5. Mengukur performansi dari sistem yang diimplementasikan dengan parameter performansi berupa akurasi, nilai kappa, rataan *misclassification rate* minimum pada *10 times 10-fold cross validation*, *mutual information*, SNR, dan waktu komputasi. Pengujian sistem dilakukan menggunakan *additive white gaussian noise* dan *impulse noise*.

1.4 Batasan Masalah

Beberapa hal yang dijadikan batasan masalah pada penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Format penyimpanan *file* hasil rekaman EEG adalah *General Data Format* (*.gdf) dan dikonversi dengan bantuan *BioSig Toolbox* ke bentuk matriks *matlab* (*.mat).

2. Data hasil rekaman diperoleh dari *Graz data set B: Institute for Human-Computer Interfaces, Graz University of Technology, Austria* yang digunakan dalam penelitian^[10] dan *BCI Competition 2008*.
3. Gerakan imajiner yang dilakukan adalah hanya gerakan tangan (*Imagined hand movement*).
4. *Low-pass filter* yang digunakan untuk *pre-processing* adalah *butterworth IIR* dengan orde 10.
5. Metode untuk ekstraksi ciri menggunakan *Wavelet Packet Decomposition (WPD)* dengan 3 level pada kanal C3 dan C4.
6. Informasi yang diambil dari WPD berupa energi sinyal pada setiap sub-band.
7. Metode klasifikasi menggunakan *Linear Discriminant Analysis (LDA)*
8. Sistem dibuat dengan basis *offline* atau *non-realtime*, namun mencoba mensimulasikan keadaan *online* dengan metode *sliding window* sebesar 2 detik.
9. Penelitian tidak membahas adanya *error* saat klasifikasi akibat adanya data di luar kelas yang ditentukan.
10. Penelitian tidak membahas pengaplikasian hasil penelitian ke dalam sistem BCI maupun sistem motor-prostesis.

1.5 Metode Penelitian

Beberapa langkah penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan sesuai dengan Tugas Akhir ini adalah:

1. Studi Literatur
Mempelajari konsep dasar dan teori-teori yang akan digunakan untuk membuat sistem dekoding sinyal EEG untuk identifikasi gerakan tangan berbasis *wavelet packet decomposition*.
2. Simulasi
Simulasi menggunakan aplikasi Matlab R2009a untuk mendeteksi perintah gerakan yang berasal dari *file* matriks *EEG* kemudian mengklasifikasi ciri tersebut ke dalam kelompok gerakan tangan yang sesuai.
3. Pengujian sistem
Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan bantuan *additive white gaussian noise* dan *impulse noise* untuk menguji sensitivitas sistem terhadap kemungkinan *noise* yang muncul.

4. Analisis

Analisis dilakukan setelah mendapatkan hasil klasifikasi sinyal EEG, kemudian dilakukan analisis pada hasil yang didapatkan dari proses dan kinerja sistem dengan berbagai parameter performansi.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara umum keseluruhan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab bahasan. Penjelasannya adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini membahas teori mengenai sinyal EEG, *Brain-Computer Interface*, *Wavelet Packet Decomposition* (WPD), dan *Linear Discriminant Analysis* (LDA)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas proses perancangan sistem. Parameter evaluasi akan dijelaskan pada bab ini.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini berisi hasil dari penelitian proses deteksi arah gerakan tangan dengan metode WPD dan LDA untuk sistem dekoding gerakan tangan dengan enam skenario yang berbeda.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi simpulan dari hasil Tugas Akhir dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada sistem dekoding sinyal EEG berbasis *Wavelet Packet Decomposition* (WPD), maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem mencapai akurasi rata-rata sebesar 76,2%, waktu komputasi rata-rata 4,179 detik, rata-rata *mutual information* (MI) maksimum 0,419, *Misclassification Rate* (MCR) minimum rata-rata 0,215, rata-rata nilai kappa 0,525, dan SNR rata-rata sebesar 0,934.
2. Akurasi tertinggi diraih oleh subjek 5, yaitu sebesar 96,8%. *Mutual Information* tertinggi diraih oleh subjek 4, yaitu sebesar 0,889. SNR tertinggi diraih oleh subjek 4, yaitu sebesar 2,429. MCR minimum terendah diraih oleh subjek 4, yaitu sebesar 0,073.
3. WPD terbukti mampu mengekstrak ciri dari sinyal EEG yang diperlukan untuk membedakan gerakan tangan imajiner antara tangan kiri dan tangan kanan. Menggunakan *mother wavelet* db4 dan metode klasifikasi LDA, sistem mampu meraih akurasi tertinggi sebesar 76,8% pada saat ukuran *step* 5 sampel.
4. *Feedback* pada sebuah sistem BCI terbukti diperlukan karena akurasi sistem yang menggunakan data dengan *feedback* rata-rata naik sebesar 13% dibanding data tanpa *feedback*. MCR minimum rata-rata turun sebesar 0,1006 poin dibanding data tanpa *feedback*.
5. Memperbesar ukuran *step*, yang berarti memperlambat kecepatan *update sliding window*, terbukti masih dapat menghasilkan nilai akurasi yang tidak terlalu jauh dari akurasi tertinggi, yaitu sebesar 76,2% saat ukuran *step* 10 dan mempercepat waktu komputasi hingga 56,9% dibanding ukuran *step* 5.
6. Sistem terbukti tidak terlalu sensitif terhadap *noise*. Sistem mengalami kenaikan nilai akurasi sebesar 0,39% saat diberikan *additive white gaussian noise* (AWGN) sebesar 40 dB. Hal ini dapat terjadi karena *noise* dapat menguatkan level sinyal informasi yang memiliki amplitudo rendah. AWGN dengan nilai SNR lain mengurangi nilai akurasi paling maksimum sebesar 19,45% yaitu saat SNR pada level 0 dB. Penambahan *impulse noise* mengurangi nilai akurasi paling maksimum sebesar 7,64%. Dengan penambahan AWGN, penurunan MI maksimum terjadi saat

SNR level 0 dB, yaitu turun sebanyak 0,157 bit. Dengan penambahan *impulse noise*, penurunan MI maksimum terjadi saat interval 250 ms, yaitu sebesar 0,097 bit.

5.2 Saran

Tugas akhir ini sangat mungkin untuk dikembangkan khususnya pada bagian ekstraksi ciri, *pre-processing*, dan metode klasifikasi. Adapun saran pengembangan untuk tugas akhir selanjutnya adalah :

1. Metode ekstraksi ciri *wavelet packet decomposition* dapat dikembangkan contohnya menambahkan sebuah algoritma pemilihan *sub-band* terbaik sehingga tidak semua *sub-band* digunakan sebagai vektor ciri.
2. *Pre-processing* dapat ditambahkan metode yang lebih memisahkan EEG dengan *noise* lainnya, seperti metode *Independent Component Analysis* (ICA), *Common Spatial Pattern* (CSP), dan lain-lain.
3. Metode klasifikasi lain seperti Jaringan Saraf Tiruan (JST) dapat diimplementasikan agar nilai akurasi sistem meningkat, namun waktu komputasi agar respon sistem meningkat perlu diperhatikan.
4. Karena sinyal EEG pada umumnya masih diperlakukan secara subjektif, maka sebuah algoritma statik seperti pada Tugas Akhir ini akan sulit mencapai akurasi yang sangat tinggi. Maka dari itu, perancangan algoritma yang adaptif dipandang diperlukan agar sistem dapat beradaptasi dengan karakteristik subjek yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Schlogl, J. Kronegg, J. E. Huggins, S. G. Mason, *Evaluation Criteria for BCI Research*, 2007, Toward Brain-Computer Interfacing, p.327.
- [2] A. Subasi, *EEG Signal Classification Using Wavelet Feature Extraction and a Mixture of Expert Model*, 2007, Expert Systems with Applications, 32, no. 4 pp.1084-1093.
- [3] B.O. Petersa, G. Pfurtschellerb, H. Flyvbjerg, *Mining Multichannel EEG for Its Information Content: An ANN-Based Method for A Brain-Computer Interface*, 1998, Neural Networks 11, pp.1429–1433.
- [4] A. D'Avanzo, V. Tarantinob, P. Bisiacchib, *A Wavelet Methodology for EEG Time-frequency Analysis in a Time Discrimination Task*, 2009, International Journal of Bioelectromagnetism Vol. 11, No. 4, pp.185-188.
- [5] A. Mohamed, A.A. Ahmed, *A New Algorithm for EEG Feature Classification Using Mutual Information*, 2001, IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Proceedings (ICASSP'01) Vol. 2
- [6] F. Lotte, M. Congedo, A. Lécuyer, F. Lamarche, B. Arnaldi, *A Review of Classification Algorithms for EEG-based Brain-Computer Interfaces*, 2007, Journal of Neural Engineering 4.
- [7] G. Isabelle, G. Steve, N. Masoud, A Lotfi, Zadeh, *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2006, Volume 207, Springer.
- [8] G. Ling, R. Daniel, J. A. Seoane, P. Alejandro, *Classification of EEG Signals Using Relative Wavelet Energy and Artificial Neural Networks*, 2009, In Proceedings of the first ACM/SIGEVO Summit on Genetic and Evolutionary Computation, pp. 177-184.
- [9] G. Pfurtscheller, C. Guger, *Brain-Computer Communication System: EEG-based Control of Hand Orthosis in a Tetraplegic Patient*, 1999, Acta Chir. Austriaca 31.Suppl. 159 pp.23-25.
- [10] G. Pfurtscheller, R. Leeb, L. Felix, et al., *Brain-Computer Communication: Motivation, Aim, and Impact of Exploring a Virtual Apartment*, 2007, IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 15, no. 4.
- [11] He, Bin, ed, *Neural Engineering*. 2005, Springer.
- [12] J. Kalcher, D. Flotzinger, C. Neuper, S. Golly, G. Pfurtscheller, *Graz Brain-Computer Interface II: Towards Communication Between Humans and Computers Based on Online Classification of Three Different EEG Patterns*, 1996, Medical and Biological Engineering and Computing, 34 pp.383-388.
- [13] J. Payat, R. Miti, T. Chusak, N. Sugino, *An Adaptive Filter based on Wavelet Packet Decomposition in Motor Imagery Classification*, tidak diterbitkan.
- [14] L. Qin, B. He, *A Wavelet-Based Time-Frequency Analysis Approach for Classification of Motor Imagery for Brain-Computer Interface Applications*, 2005, Journal of Neural Engineering 2, no. 4 pp.65-72.
- [15] M. M. Shaker, *EEG Waves Classifier using Wavelet Transform and Fourier Transform*, 2005, International Journal of Biological and Life Sciences 1:2.
- [16] M. Teplan, *Fundamentals of EEG Measurement*, 2002, Measurement Science Review 2, no. 2 p.1-11.

- [17] M.Fatourech. S.G. Mason. G.E. Birch. *A Wavelet-Based Approach for The Extraction of Event Related Potentials from EEG*, 2004, IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Proceedings (ICASSP'04)
- [18] P. Bahram, S. Ahmad R., *An Efficient P300-Based BCI Using Wavelet Features and IBPSO-Based Channel Selection*, 2012, Iran, Tarbiat Modares University, JMSS Vol.2 No.3.
- [19] R. Leeb, C. Brunner, G. R. Muller-Putz, A. Schlogl, G. Pfurtscheller, *BCI Competition 2008 – Graz data set B*, 2008, Institute for Human-Computer Interfaces, Graz University of Technology, Austria.
- [20] R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork, *Pattern Classification, Second Edition*, 2001, Wiley-Interscience.
- [21] R.R Coifman, M. V. Wickerhauser, *Entropy-Based Algorithms for Best Basis Selection*, 1992, IEEE Transactions on Information Theory 38, no. 2.
- [22] S. Abdullah, S. N. Sahadan, M. Z. Nuawi, A. Zaharim, Z. M. Nopiah. *On The Need of The 4th Order of Daubechies Wavelet Transforms to Denoise a Nonstationary Fatigue Loading*, 2008, In Proceedings of the 7th WSEAS on International Conference on Signal Processing, Robotics and Automation.
- [23] S. Lodder, *Single-Trial Classification of an EEG-Based Brain Computer Interface Using The Wavelet Packet Decomposition and Cepstral Analysis*, MSE thesis, 2009, University of Stellenbosch.
- [24] S. Mohammed, G. Nivin, M. Beate, *Daubechies Versus Biorthogonal Wavelet for Moving Object Detection in Traffic Monitoring Systems*, 2009, Professoren des Inst. für Informatik.
- [25] S. Sanei, Chambers, J.A, *EEG Signal Processing*, 2007, John Wiley and Sons, Ltd.,
- [26] W. Jonathan, N. Birbaumer, D.J. McFarland, G. Pfurtscheller, *Brain-Computer Interfaces for Communication and Control*, 2002, Clin. Neurophysiol., 113 pp.767-791.
- [27] W. Ting, Y. Guo-zheng, Y. Bang-hua, S. Hong, *EEG Feature Extraction based on Wavelet Packet Decomposition for Brain Computer Interface*, 2008, Measurement 41, no. 6 pp.618-625.
- [28] X. Jian-Zhong, H. Zhang, C. X. Zheng, X. G. Yan, *Wavelet Packet Transform for Feature Extraction of EEG During Mental Tasks*, 2003, IEEE International Conference in Machine Learning and Cybernetics, vol. 1 pp. 360-363.
- [29] Y. Yamamoto, *Optimizing FIR Approximation for Discrete-time IIR Filters*, 2003, IEEE Signal Processing Letters, vol.10 no.9, pp.273-276.
- [30] Z. A. Agus, F. Damayanti, S. Rully, *Pengenalan Citra Wajah Menggunakan Metode Two-Dimensional Linear Discriminant Analysis dan Support Vector Machine*, 2010, Jurnal Ilmiah Kursor, vol.5, pp. 147-156.