

KLASIFIKASI *MOTOR IMAGERY* (MI) PADA SINYAL *EEG* DENGAN METODA CNN

Anthony Lauly

NRP : 1622040

e-mail : anthony.lauly1833@gmail.com

ABSTRAK

Motor Imagery (MI) adalah representasi mental dari sebuah gerakan tanpa adanya gerakan dari anggota tubuh. MI dapat diklasifikasikan berdasarkan sinyal *Electroencephalography* (EEG), sistem klasifikasi MI berbasis sinyal EEG bersifat *non-invasive* sehingga dapat memberi banyak manfaat, salah satunya pada bidang medis, sistem MI-BCI digunakan untuk membantu rehabilitasi pasien *stroke*. Tetapi, pada realitanya klasifikasi MI pada sinyal EEG masih belum baik dan masih terus dikembangkan.

Pada Tugas Akhir ini, telah diimplementasikan sistem klasifikasi yang menggunakan *time window* serta algoritma *Filter Bank Common Spatial Pattern* (FBCSP) sebagai pra pemrosesan. *Time window* digunakan untuk melakukan segmentasi sinyal EEG dan FBCSP digunakan untuk melakukan *spatial filtering*. Untuk melakukan *spatial filtering* pada kasus multikelas, digunakan pendekatan *pair-wise* pada Tugas Akhir ini. Fitur CSP yang merupakan hasil dari *spatial filtering* akan di-feed ke *classifier Convolutional Neural Network* (CNN). Penggunaan CNN untuk klasifikasi MI didasari karena keberhasilan CNN dalam bidang klasifikasi pada beberapa topik lain seperti *computer vision* dan *natural language processing*. *Hyperparameters* dari CNN akan dipilih berdasarkan *Grid Search*.

Sistem klasifikasi pada Tugas Akhir ini diuji menggunakan *Dataset BCI Competition IV-2a*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem klasifikasi memiliki akurasi rata – rata untuk seluruh subjek sebesar 74,61%.

Kata kunci: *EEG, motor imagery, convolutional neural network, brain-computer interface*

MOTOR IMAGERY (MI) CLASSIFICATION ON EEG SIGNAL USING CNN

Anthony Lauly

NRP : 1622040

e-mail : anthony.lauly1833@gmail.com

ABSTRACT

Motor Imagery (MI) is a mental representative movement without doing any movement in our body. MI can be classified based on Electroencephalography (EEG) signal. MI Classification system based on EEG signal is non-invasive so it is really important, for example in medical area, MI-BCI system is used to assist the rehabilitation of stroke patients. But in reality, MI classification on EEG signal is not good enough and is in improvement.

In this Final Project, classification system that used time window and Filter Bank Common Spatial Pattern (FBCSP) as a preprocess has been implemented. Time window is used for segmenting the EEG signal, while FBCSP is used for spatial filtering. To implement spatial filtering in multiclass problem, pair-wise strategy is used. CSP Features resulting from spatial filtering will be fed to the Convolutional Neural Network (CNN). The used of CNN for MI classification is based on the success of CNN in other tasks, such as computer vision and natural language problem (NLP). The hyperparameters is choosen based on the Grid Search.

Classification system in this Final Project is evaluated on Dataset BCI Competition IV-2a. The evaluation shows that the classification system acheive 74,61% accuracy for overall subject.

Keywords: EEG, motor imagery, convolutional neural network, brain-computer interface

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN TUGAS AKHIR	
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI LAPORAN TUGAS AKHIR	
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan	2
I.4 Batasan Masalah	2
I.5 Sistematika Penulisan	2
BAB II LANDASAN TEORI	4
II.1 <i>Electroencephalography</i>	4
II.2 <i>Motor Imagery</i>	6
II.3 Dataset BCI Competition IV – 2a	8
II.4 Perancangan Filter IIR (<i>Infinite Impulse Response</i>)	10
II.4.1 Perancangan Filter IIR dengan Transformasi Bilinier	10
II.4.2 Filter <i>Butterworth</i>	10
II.4.3 Transformasi Frekuensi pada Domain Analog	11
II.5 Algoritma <i>Common Spatial Pattern</i> (CSP)	11

II.5.1	Standard Eigenvalue Problem	12
II.5.2	Generalized Eigenvalue Problem	12
II.5.3	Pendekatan Multiclass	12
II.6	<i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	14
II.6.1	<i>Convolutional Layer (Conv layer)</i>	14
II.6.2	<i>Pooling Layer</i>	16
II.6.3	<i>Fully-Connected Layer (FC layer)</i>	17
II.6.4	<i>Rectified Linear Unit (ReLU)</i>	17
II.6.5	<i>Cross-Entropy Loss / Softmax Loss</i>	18
II.6.6	<i>Adam</i>	19
II.7	<i>K-Fold Cross Validation</i>	20
II.8	Matriks <i>Confusion</i>	21
II.9	Bahasa Pemrograman Python	22
BAB III PERANCANGAN SISTEM		25
III.1	Perancangan Sistem Klasifikasi Sinyal EEG	25
III.2	Skema Segmentasi Menggunakan Jendela Waktu	26
III.3	<i>Filter Bank Common Spatial Pattern (FBCSP)</i>	27
III.3.1	<i>Bandpass Filtering</i> menggunakan <i>bankfilter</i>	27
III.3.2	<i>Spatial Filtering</i> dengan <i>Algoritma Common Spatial Pattern (CSP)</i>	31
III.3.3	Seleksi Fitur CSP	33
III.4	Arsitektur <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	35
BAB IV DATA PENGAMATAN DAN ANALISIS		39
IV.1	Matriks <i>confusion</i> untuk Setiap Subjek	39
IV.2	Akurasi Percobaan Klasifikasi Sinyal EEG	58
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		60
V.1	Simpulan	60

V.2	Saran.....	60
DAFTAR REFERENSI		61
LAMPIRAN A		A-1
LAMPIRAN B		B-1
LAMPIRAN C		C-1
LAMPIRAN D.....		D-1
LAMPIRAN E		E-1
LAMPIRAN F.....		F-1



DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Karakteristik Ritme EEG pada Manusia Normal (dalam μV).....	5
Gambar II. 2 Letak <i>Motor Area</i> pada Otak Manusia	6
Gambar II. 3 Penampakan <i>Motor Imagery</i> pada Beberapa Subjek.....	7
Gambar II. 4 Pembagian pada Daerah <i>Primary Motor Cortex</i> (M1).....	7
Gambar II. 5 Skema <i>Event</i> pada Pengambilan Data	9
Gambar II. 6 Skema Penempatan Elektroda EEG Menggunakan.....	9
Gambar II. 7 Skema Conv2D pada Matriks Berukuran 6x6x3.....	15
Gambar II. 8 Stride Berukuran 1, 2, dan 3	16
Gambar II. 9 Operasi <i>Max-pooling</i> pada Matriks Berukuran 2x2	16
Gambar II. 10 Skema Operasi pada Tiap Neuron pada Perceptron	17
Gambar II. 11 Fungsi Aktivasi <i>Rectified Linear Unit</i> (ReLU)	18
Gambar II. 12 Skema <i>Forward-propagation</i> pada Pelatihan CNN.....	19
Gambar II. 13 Skema 10-Fold Cross Validation.....	21
Gambar II. 14 <i>Matriks Confusion</i> untuk Kelas Biner	21
Gambar II. 15 <i>Matriks Confusion</i> untuk 3 Buah Kelas.....	22
Gambar III. 1 Sinyal EEG pada Dataset 2a.....	25
Gambar III. 2 Diagram Blok Sistem Klasifikasi Sinyal EEG.....	26
Gambar III. 3 Skema Segmentasi Menggunakan <i>Time Windows</i>	26
Gambar III. 4 Sinyal <i>Trial</i> Pertama dan <i>Channel EEG-Fz</i>	29
Gambar III. 5 Sinyal EEG <i>Trial</i> Pertama dan <i>Channel EEG-Fz</i> Setelah <i>Bandpass Filtering</i> b2.	29
Gambar III. 6 Sinyal EEG untuk MI Kaki	30
Gambar III. 7 Sinyal EEG untuk MI Kaki (setelah dibandpassed filter).....	30
Gambar III. 8 Skema <i>Bandpass Filtering</i>	31
Gambar III. 9 Diagram Alir untuk Mencari Filter Spasial Menggunakan Algoritma CSP.....	33
Gambar III. 10 Diagram Alir Proyeksi Fitur CSP	34
Gambar III. 11 Ukuran Fitur CSP untuk Setiap <i>Window</i> pada	35
Gambar III. 12 Matriks Fitur CSP yang akan di-feed ke CNN.....	35

Gambar III. 13 Visualisasi Arsitektur CNN.....	36
Gambar III. 14 Ilustrasi Grid Space untuk Dua Parameter	36
Gambar III. 15 Skema 5-Fold <i>Cross Validation</i>	37



DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 <i>Filter Lowpass Butterworth</i> Ternormalisasi.....	10
Tabel III. 1 <i>Time Window</i> yang digunakan untuk Perancangan Sistem.....	27
Tabel III. 2 <i>Bandwidth</i> yang digunakan Sebagai <i>Filterbank</i>	28
Tabel III. 3 <i>Hyperparameter</i> yang didapat dari <i>Grid Search</i>	38
Tabel IV.1 Matriks Confusion untuk Subjek 1	39
Tabel IV. 2 Matriks Confusion untuk Subjek 2	40
Tabel IV. 3 Matriks Confusion untuk Subjek 3	40
Tabel IV. 4 Matriks Confusion untuk Subjek 4	41
Tabel IV. 5 Matriks Confusion untuk Subjek 5	42
Tabel IV. 6 Matriks Confusion untuk Subjek 6	42
Tabel IV. 7 Matriks Confusion untuk Subjek 7	43
Tabel IV. 8 Matriks Confusion untuk Subjek 8	43
Tabel IV. 9 Matriks Confusion untuk Subjek 9	44
Tabel IV. 10 Analisis Performa untuk Setiap Subjek 1	46
Tabel IV. 11 Analisis Performa untuk Setiap Subjek 2	47
Tabel IV. 12 Analisis Performa untuk Setiap Subjek 3	48
Tabel IV. 13 Analisis Performa untuk Setiap Subjek 4	49
Tabel IV. 14 Analisis Performa untuk Setiap Subjek 5	51
Tabel IV. 15 Analisis Performa untuk Setiap Subjek 6	52
Tabel IV. 16 Analisis Performa untuk Setiap Subjek 7	53
Tabel IV. 17 Analisis Performa untuk Setiap Subjek 8	54
Tabel IV. 18 Analisis Performa untuk Setiap Subjek 9	56
Tabel IV. 19 Akurasi Keseluruhan Model Klasifikasi.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A SUPROGRAM UNTUK MEMANGGIL <i>FILE</i> PENYIMPANAN SINYAL <i>EEG</i> DAN <i>FILTERBANK</i>	A-1
LAMPIRAN B SUBPROGRAM UNTUK PENGOLAHAN PRAPEMROSESAN DAN <i>SPATIAL FILTERING</i>	B-1
LAMPIRAN C SUBPROGRAM UNTUK PEMILIHAN <i>HYPERPARAMETERS</i> CNN MENGGUNAKAN <i>GRID SEARCH</i>	C-1
LAMPIRAN D SUBPROGRAM UNTUK PELATIHAN DAN PENGUJIAN CNN	D-1
LAMPIRAN E PROGRAM UTAMA	E-1
LAMPIRAN F DEMO PROGRAM	F-1

