

# 뇌파 분석을 위한 상호정보

## Mutual Information for Analyzing the EEG

조덕연, 이유정, 김응수<sup>†</sup>  
선문대학교 대학원, <sup>†</sup>대전대학교 전자공학과

DukYun Cho, YouJung Lee and EungSoo Kim<sup>†</sup>  
Graduate School, Sunmoon University,  
<sup>†</sup>Dept. of Electronic Engineering, Taejon University  
[duke@embedded.sunmoon.ac.kr](mailto:duke@embedded.sunmoon.ac.kr)

### Abstract

인간의 뇌 정보처리를 이해하기 위한 일환으로서, 많은 연구자들이 사람의 두피에서 자발적으로 발생하는 전기 활동인 뇌파(EEG)를 분석하였다. 측정된 뇌파는 잡음처럼 보이는 비선형적인 거동으로 인하여 단순한 관찰만으로는 그 특징을 분석하기가 매우 어렵다. 따라서 이러한 뇌파를 분석하고 이해하기 위한 방법으로 파워스펙트럼, 바이스펙트럼 등과 같은 스펙트럼 분석과 상관차원, 프랙탈 차원과 같은 비선형 카오스 분석 등과 같은 해석법들이 활발히 연구되어왔다. 본 논문에서는 이러한 기존의 방법 외에 두 신호사이의 통계적 의존성을 측정하는 양인 상호정보를 이용하여 뇌파의 특징을 분석하였다. 뇌파간의 상호정보 분석을 통해 두뇌에서의 정보의 흐름에 관한 특징을 알아보았고, 감성자극에 반응하는 두뇌의 활동영역을 알 수 있었다.

### 1. 서론

뇌의 신경세포가 정보를 처리하는 과정에서 수상돌기가 만들어내는 막전위들의 합인 뇌파(Electroencephalogram, EEG)는 인간의 뇌 정보처리를 시간적, 공간적으로 파악하는 수단으로서 임상에서 널리 활용되어 왔다[10]. 그러나 간질 환자의 경우와 같이 뇌활동의 급격한 변동을 갖는 특수한 경우를 제외하고는 단순히 측정된 뇌파만으로, 정상인의 감성상태나 지각상태를 구별하기는 거의 불가능하다.

이러한 뇌파가 결정론적인 카오스 신호라는 관점에서 비선형 동력학의 연구자들은 단일 변수 시계열 데이터의 분석을 통해 뇌와 같은 다변수 다차원 복잡계를 연구할 수 있는 효과적인 방법들을 연구하고 있다[1]. 특히 뇌의 상태에 따라 각기 다른 카오스 상태를 갖는다는 것을 상관차원(correlation dimension)이나 리아프노프지수(lyapunov exponent)들을 통하여 정량적으로 알아내는 연구들이 많이 이루어졌고[2-4], 신호의 주파수 특성을 분석하는 파워스펙트럼(powerspectrum)이나 바이스펙트럼

(bispectrum)을 통한 뇌파연구도 활발히 진행되고 있다[5][6]. 특히 최근에는 ICA (Independent Component Analysis)와 PCA (Principal Component Analysis)를 이용해 뇌파 신호의 근원적 소스를 찾으려는 시도 또한 많이 이루어지고있다[7][8].

본 논문에서는 이러한 기존의 방법에서 벗어나, 통신 및 정보이론 분야에서 쓰이는 상호정보(mutual information)[9]를 인간의 뇌파 분석에 적용시켜 보았다. 상호정보는 두 신호간의 통계적 의존성을 나타내는 지표로써, 측정된 뇌파에서 각 채널끼리의 정보량을 계산하였다. 계산된 상호정보를 시간의 흐름에 따라 분석하여 뇌활동의 시간에 따른 특징을 정성적으로 알아 보았고, 자극에 따른 두뇌의 활동영역을 알 수 있었다.

## II. 본 론

### II-1 상호정보 (Mutual Information)

일반적으로 통신 및 정보이론에서 말하는 전송시스템 (transmission system)에서의 입력과 출력사이의 채널은 conditional probability  $P(a_i/b_j)$ 로 나타내어진다. 여기서  $a_i$ 는 시스템의 입력심볼이고  $b_j$ 는 출력심볼이다. 상호정보란 수신측의 출력심볼  $b_j$ 를 수신하기위한 a priori probability ( $p(a_i)$ , 수신이 이루어지기 전의 입력심볼  $a_i$ 에 대한 확률) 정보량과 출력심볼  $b_j$ 를 수신한 a posteriori probability ( $P(a_i/b_j)$ , 심볼  $b_j$ 가 수신된 상태에서 입력심볼  $a_i$ 가 선택되었을 conditional probability) 정보량 사이의 차이를 나타낸다. 다시 말하면 출력심볼  $b_j$ 를 수신 함으로써 얻어지는 정보의 추가량이고, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} I(a_i; b_j) &= \log_r \frac{1}{p(a_i)} - \log_r \frac{1}{P(a_i | b_j)} \\ &= \log_r \frac{P(a_i | b_j)}{p(a_i)} \end{aligned} \quad (1)$$

만약 위의 두 확률  $p(a_i)$ ,  $P(a_i/b_j)$ 가 동일하다면, 심볼  $b_j$ 를 수신함으로써 추가되는 정보가 전혀 없음을 나타내고, 당연히 이 때의 상호정보는 0가 된다. 우리가 심볼  $b_j$ 를 수신함으로써  $a_i$ 에 대한 정보를 조금이라도 추가 시키고자 한다면 상호정보는 양수(positive)이어야 한다는 것을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} P(a_i, b_j) &= P(a_i | b_j)p(b_j) \\ &= P(b_j | a_i)p(a_i) \end{aligned} \quad (2)$$

위의 식(2)와 같이 joint probability와 conditional probability의 관계가 성립하기 때문에 상호정보는 다음과 같은 대칭성을 갖는다.

$$I(a_i; b_j) = \log_r \frac{P(a_i, b_j)}{p(a_i)p(b_j)} = I(b_j; a_i) \quad (3)$$

본 논문에서 분석할 인간의 뇌파는 양을 알 수 없는 잡음이 존재하므로 이러한 채널의 특성을 평균적 의미로 해석할 수 밖에 없다. 그러므로 상호정보를 각각의 심볼에 대하여 식 (4), (5)와 같이 평균을 구한 후,

$$\begin{aligned} I(A | B) &= \sum_{i=1}^q P(a_i | b_j) I(a_i; b_j) \\ &= \sum P(a_i | b_j) \log_r \frac{P(a_i | b_j)}{p(a_i)} \end{aligned} \quad (4)$$

$$I(a_i | B) = \sum_{j=1}^q P(b_j | a_i) \log_r \frac{P(b_j | a_i)}{p(b_j)} \quad (5)$$

입력측과 출력측 각각에 대한 평균을 나타내는 것들을 다시  $a_i, b_j$ 에 대하여 평균을 취하면, 아래와 같은 평균상호정보(the average mutual information) 식을 얻게 된다

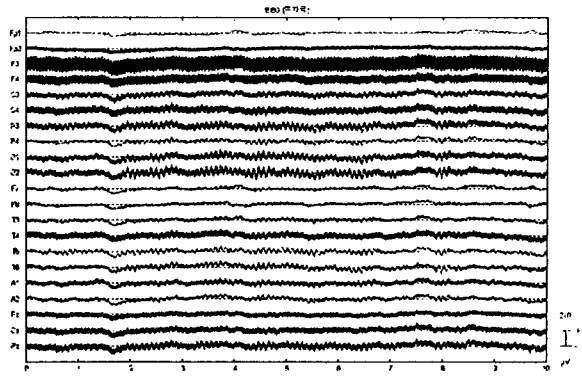
$$\begin{aligned}
 I(A;B) &= \sum_{i=1}^q p(a_i)I(a_i;B) \\
 &= \sum_i \sum_j P(a_i, b_j) \log_r \frac{P(a_i, b_j)}{p(a_i)p(b_j)} \quad (6) \\
 &= I(B;A)
 \end{aligned}$$

결국, 식 (6)은 각각의 입력 혹은 출력 심볼에는 영향을 받지 않고 오로지 그들의 확률에만 의존하여 전체 시스템에 있어서의 추가 정보를 측정한다. 즉, 이를 뇌파에 적용하여 얻는 값은 두 전극사이의 정보량이 된다.

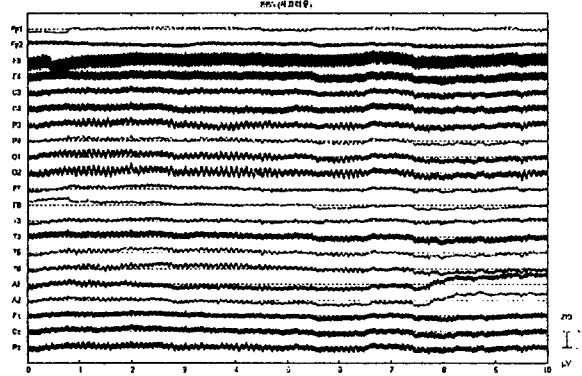
## II-2 상호정보에 의한 뇌파 분석

본 연구에서 사용된 뇌파는 두부의상이나 정신질환의 병력이 없는 7명의 대학생들(남자 : 4명, 여자 : 3명)을 대상으로 측정되었다. 이때 주어진 자극은 평온한 상태의 무자극과 문을 열고 닫는 시끄러운 청각자극의 두 가지 감성(쾌/불쾌)상태를 유발하는 것이었다. 뇌파는 10/20 국제표준 전극 배치법에 의해 그림 1과 같이 21개 채널에서 측정되었다. 샘플링 주파수는 256Hz로 하였고, 한 페이지(10초)의 샘플을 가지고 실험을 하였다.

실험은 두 가지 감성상태에서 측정된 각각의 21개 채널들의 정보량을 분석하는 것이다. 그림 2는 전체 샘플의 정보량의 등고선으로 나타낸 것이다. 무자극의 평온한 상태(쾌)에서는 (C3, Cz), (F3, C3), (P4, O2)들이 정보량이 많고, 시끄러운 상태(불쾌)에서는 (T5, P3), (P3, Pz), (Cz, C4)가 정보량이 많음을 알 수 있다. 등고선 그래프에서 붉은 점은 정보량이 많다는 것을 나타내며 이는 확률적으로 상관성이 많음

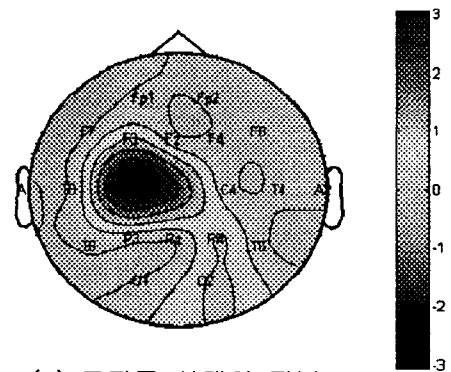


(a) 무자극 상태의 EEG

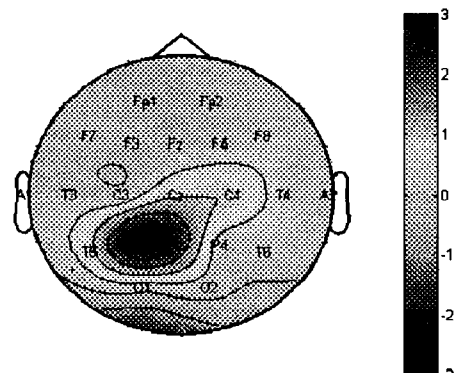


(b) 시끄러운 청각자극 상태의 EEG

그림 1. 두 가지 감성자극시의 EEG

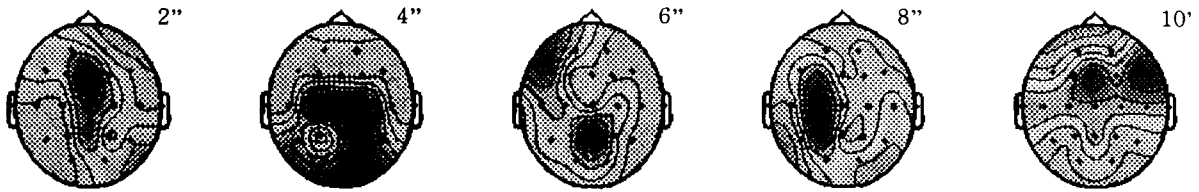


(a) 무자극 상태의 정보



(b) 시끄러운 청각자극 상태의 정보

그림 2. 상호정보를 통해 본 뇌파의 정보



(a) 무자극 상태



(b) 시끄러운 청각자극 상태

그림 3. 시간에 따른 상호정보의 변화

을 나타낸다. 확률적 상관성이 많다는 것은 그만큼 뇌 활동이 활발하다는 것으로 생각되어진다. 또 다른 시험 하나는, 시간에 따른 뇌활동의 변화를 상호정보를 통해 분석하였는데, 그림 3과 같이 무자극 시에는 붉은 색의 분포가 넓게 전두엽과 후두엽을 둘러다니는 모습을 볼 수 있다. 시끄러운 자극 시에는 붉은 색이 후두부 부근의 한 점에서 점점 넓어져 전체로 퍼져있다가 다시 한 점으로 모이는 것을 볼 수 있었다.

었고, 시간의 흐름에 따른 정보의 이동 또한 정성적으로 알 수 있었다.

끝으로 본 연구에서 뇌파분석에 이용한 상호정보량이 감성상태를 식별하는 파라미터로 쓰일 수 있다는 가능성을 보여주었고, 이를 기초로 하여 뇌 정보처리 분석을 효과적으로 하기 위한 연구가 계속되어야 할 것이다.

감사의 글 : 본 연구는 대학기초 및 뇌의약학 연구의 지원을 일부 받아 수행되었습니다.

### III. 결 론

본 논문에서는 인간의 뇌 정보처리를 이해하기 위한 일환으로써, 기존의 비선형 동역학 분석이나 스펙트럼 신호분석이 아닌 상호정보를 뇌파 분석에 적용해 보았다.

상호정보를 통한 정보량이 실제 뇌 정보처리에서의 구체적인 정보를 뜻하는지는 분명하지 않지만, 두 가지 감성자극을 받은 뇌파에 적용시켜본 결과, 자극에 따른 유의한 차이가 관찰되었다. 무자극 시에는 좌측 중심부(C3)의 정보량이 많고, 시끄러운 자극 시에는 좌측 두정엽(P3) 부위가 정보량이 많다는 것을 알 수 있

### IV. 참 고 문 헌

- [1] H.J. Ben and Wei-Kang Cheng, "Structural EEG engineer", IEEE Engineering in medicine and biology magazine, pp.41-45, 1988.
- [2] J. Roeschke and E. Basar, "The EEG is not a simple noise : strange attractors in intracranial structure, In : E. Basar (ed.) Dynamics of sensory and cognitive processing by the brain", Springer, pp.203-216, 1988.

- [3] A.C.K. Soong and C.I.J.M. Stuart, "Evidence of chaotic dynamics underlying the human alpha-rhythm electroencephalogram", *Biol. Cybern.* 62, pp.55-62, 1989.
- [4] Jeffrey E. Arle and Richard H. Simon, "An application of fractal dimension to the detection of transients in the electroencephalogram", *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 75, pp.296-305, 1990.
- [5] E.S. Kim, D.Y. Cho, Y.J. Lee and C.S. Ryu, "An Estimation of the Bispectrum for the EEG in Emotional States", the 5<sup>th</sup> ICONIP, vol.1, pp.438-441, 1998.
- [6] K.G. Choi, E.K. Cho, S.H. Chae, E.S. Kim, J.S. Kim, "Spectral and Bispectral EEG Analysis in Acute Unilateral Ischemic Stroke Patients", *Neurology, Psych. And Brain Research* 7, pp.9-14, 1999.
- [7] S. Makeig, A.J. Bell, T.P. Jung, T.J. Sejnowski, "Independent Component Analysis of EEG Data", *Advance in Neural Info. Proc. Sys.*, MIT Press, Cambridge MA, pp.145-151, 1996.
- [8] J.Karhunen and J. Joutsensalo, "Representation and Separation of Signal using Nonlinear PCA Type Learning", *Neural Networks*, 7, pp.113-127, 1994.
- [9] Robert G. Gallager, "Information Theory and Reliable Communication Systems - second edition", McGrawhill, pp.56-80, 507-517, 1989.
- [10] K.G Choi, E.K Cho, S.H Chae, E-S. Kim, J.S Kim : Spectral and Bispectral EEG analysis in acute unilateral ischemic stroke patients, *Neurology Psychiatry and Brain Research.*7:9-14, 1999
- [11] Skrandies K: Evoked potentials correlates of semantic meaning-- A brain mapping study. *Brain Res Cog Brain Res* 6(3):173-83. 1998 Jan
- [12] McKeown MJ, Humphries C, Achermann P et. al.: A new method for detecting state changes in the EEG: exploratory application to sleep data. *J Sleep Res:7 Suppl* 1:48-56. 1998
- [13] Spectral structure and brain mapping of human alpha activities in different arousal states. *Neurophysiology:39(2):110-116.* 1999
- [14] Makeig S, Waterfield M, Townsend J, Jung TP et. al.: Functionally independent components of early event-related potentials in a visual spatial attention task. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* Jul 29:354. 1999
- [15] 한선호, 사이포 쇼지, "臨床腦波", 一潮閣, 1987.