

정상인의 다양한 자극에 대한 뇌파의 상관차원 분석

Correlation Dimension Analysis of the EEG in Various Stimuli for Normal States

김용수, 이유정[†], 조덕연[†]
대전대학교 전자공학과, [†]선문대학교 대학원

EungSoo Kim, Youjung Lee[†], DukYun Cho[†]
Dept. of Electronic Engineering, Taejon University
[†]Graduate School, Sunmoon University
eskim@dragon.taejon.ac.kr
iris@omega.sunmoon.ac.kr

Abstract

EEG(electroencephalogram)는 주로 전문가의 판독에 따른 주관적 판단에 의존하여 임상에서 사용되어져 왔다. 그러나 비선형 동역학 분석을 이용한 해석학적인 정량화 연구가 진행 되어짐에 따라 특이 패턴을 이용한 환자의 질병진단 이외에도 정상인의 뇌 활동 및 인지기능 등을 이해하기 위한 도구로써 그 활용범위가 넓어지고 있다. 본 논문에서는 정상인에게 다양한 자극을 준 후 측정된 EEG를 상관차원 분석법을 이용하여 다양한 자극에 대한 뇌파의 특징을 분석하였다. 그 결과 각 자극에 따른 뇌 활동도의 차이를 정량적으로 분석할 수 있었으며, 뇌 활동 부위와 자극과의 관계도 정량적으로 분석할 수 있었다.

I. 서 론

뇌파(EEG)는 뇌 속의 수 많은 신경 세포들의 전기적인 활동이 더해져 외부에 나타나는 전류를 측정된 것이다[1-2]. 뇌파의 발생에는 약 $10^4 \sim 10^5$ 개 정도의 신경세포가 관여하기 때문에, 그 동안 뇌파는 뇌 정보처리 과정에서

부수적으로 발생하는 ‘무작위 신호(noise)’로 여겨져 왔다. 그러나 최근 비선형 동역학적 연구에 의해 뇌파가 단순한 무작위 신호가 아니라 뇌의 정보처리 과정의 정보를 담고 있는 결정론적인(deterministic) 카오스 신호라는 사실이 보고되면서 많은 관심을 가지게 되었다[3-5]. 따라서, 뇌의 상태나 정보처리 과정을 뇌

파의 동역학적인 성질에 대한 분석을 통해 이해할 수 있다. 뇌는 상태에 따라 각기 다른 카오스 상태를 가지게 되는데 이것들은 상관차원이나 리아프노프지수와 같은 비선형 동역학적 분석법에 의해 정량화 할 수 있음이 알려져 있다[6-8]. 이러한 연구들에 의해 뇌파는 특정 질병에 대한 진단과 같은 임상에서의 활용에서 벗어나 정상인의 뇌 활동을 이해하기 위한 도구로써 이용가치가 커지고 있다.

본 연구의 목적은 비선형 동역학적 분석 방법인 상관차원을 이용하여 다양한 자극에 대한 정상인의 뇌 활동 복잡도를 정량화 하는 것이다. 다양한 10가지의 자극을 (계산하는 상태, 음악을 듣는 상태, 움직이는 상태 등) 준 상태에서 측정된 EEG를 상관차원을 이용하여 분석하였다. 각 자극에 따라 뇌 활동도의 차이를 정량화 하여 분석하였으며, 자극에 따른 뇌 활동 부위에 관해서도 분석하여 보았다.

II. 본 론

II-1. EEG 신호

정신현상이나 운동, 감각 등을 관장하는 최고의 중추인 뇌는 그 안에 포함되어 있는 수십억 개의 신경세포의 상호결합에 의한 활동이 전기적으로 변화한 것이다. 각각의 신경세포는 약 10,000개의 다른 신경세포들과 연결되어 기억, 학습 등 인지활동을 하고 있다[2,9]. 이러한 활동을 외부, 즉 두피에서 기록한 것이 뇌파이다. 뇌의 단위세포 역할을 하는 하나의 뉴런의 전기 신호전달 메커니즘은 특정한 비선형 특징을 갖는 운동 방정식으로 대략 모델링이 가능하며 카오스계임이 여러 연구에 의해 밝혀졌으므로, 수없이 많은 카오스계의 연결로 이루어진 뇌 시스템 역시 카오스계이다. 따라서 뇌파 또한 카오스계의 특성을 반영한다.

II-2. 비선형 동역학적 분석 : 상관차원

뇌파의 비선형 동역학적 분석은 기존의 파워스펙트럼이나 상관계수 등과 같은 선형 분석 방법으로는 찾기 힘든 뇌 시스템의 신경 전달 체계에 관한 유용한 정보를 제공한다. 본 논문에서는 많은 비선형 분석법 중 상관차원 분석법을 이용하였다. 상관차원은 복잡도를 측정하는 양으로, 뇌파에 적용하는 경우 뇌파의 자유도를 의미하게 된다. 즉, 뇌파를 발생시키는 중추신경계를 설명하기 위해서 필요한 독립 변수들의 개수를 의미한다.

어떤 계의 상관차원을 구하는 것은 다음과 같이 전개된다. N개의 점으로 이루어진 위상공간이 있을 때 $\vec{x}_i(t)$ 를 위상공간에서의 한 점이라고 하자. 이때의 $\vec{x}_i(t)$ 는 $[x_0(t_i), x_0(t_i + T), \dots, x_0(t_i + (d-1)T)]$ 로 임베딩 되어져 있다. 이 때 임의의 점 $\vec{x}_i(t)$ 를 골라 이 점을 제외한 나머지 N-1개의 점에 대해서 $|\vec{x}_i - \vec{x}_j|$ 를 구한다. 이것은 \vec{x}_i 를 중심으로 하는 위상 공간상의 반경 r인 일반적인 구 안에 위치하는 점의 개수를 셀 수 있도록 하기 위함이다. 이러한 과정을 모든 점 i에 대해 반복하여 평균을 취하면 아래 식(1)과 같은 양을 정의 할 수 있다.

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1, i \neq j}^N \theta(r - |\vec{x}_i - \vec{x}_j|) \quad \text{식 (1)}$$

단, $\theta(x)$ 는 $x < 0$ 일 때, $\theta(x) = 0$ 을 $x > 0$ 일 때, $\theta(x) = 1$ 을 갖는다. C(r)은 자유도가 f인 계의 경우, 잡음(random)신호라면 $C(r) = r^f$ 을 만족하고, 카오스 신호라면 $C(r) = r^v$ ($v > f$) 를 만족한다. 계의 상관차원은 $\log r$ 에 대한 $\log C(r)$ 의 기울기로 구할 수 있다.

$$D_{GP} = \frac{d \log C(r)}{d \log r} \quad \text{식 (2)}$$

위 식(2)는 Grassberger Procaccia 알고리즘을 이용하여 상관차원을 구한 것이다[6]. 위 식을 이용하면 임베딩 차원 d 를 높여가면서 상관차원 D_{GP} 를 구할 수 있다. d 가 어느 정도 커지면 D_{GP} 값은 일정한 값으로 포화 되는데 이때 포화 되어진 값을 상관차원이라고 말한다. 또한 포화 되기 시작하는 d 값은 계를 나타내기 위한 최소한의 독립 변수의 개수로 임베딩 차원이라고 한다.

III. 실험 방법

III-1. EEG 측정

뇌파는 뇌 질환을 갖고 있지 않은 정상인 15명을 대상으로 “Compumedics video-EEG monitoring 37 channel, model E”를 이용하여 측정하였으며, 국제 표준 전극배치법인 10-20 system을 적용하였다. 실험에 참가한 인원의 평균 연령은 29세(20-48)이며, 동일한 장소에서 동일한 조건으로 편안히 누운 자세에서 기록되어졌다. 총 10가지 다양한 자극을 주어 뇌파를 측정하였는데, 각 자극 상태는 아래 표 1과 같다.

1	편안히 누워 있는 상태
2	1번 상태에서 한 곳을 주시한 상태
3	눈을 감고 가벼운 숫자 계산을 한 상태
4	조용한 음악을 들을 때
5	시끄러운 소음을 들을 때
6	일상적인 신상명세에 대해 대답할 때
7	그림을 보여주고 이를 기억하게 할 때
8	양 검지 손가락을 동시에 움직일 때
9	양 엄지 발가락을 동시에 움직일 때
10	그림을 다시 기억하여 설명하게 할 때

표 1. 실험 사용한 10가지 상태의 자극

뇌파를 기록하기 전에 각 상태의 자극을 지시하고 상태를 수행하는 동안 1분 이상 기록하여 한 피험자 당 총 10여분의 뇌파를 측정하였다.

IV. 실험 결과

IV-1. 자극 상태에 따른 분석

총 10가지의 자극 상태에 따라 15명의 피험자에 대해 상관차원을 구하였다. 그 결과를 아래의 표 2에 정리하였다. 가장 좌측 열의 channel은 뇌파 측정 시 각 부위별로 정해지는 채널 좌표를 의미하고 첫번째 행의 state 1-10은 표 1에서 보여진 각 자극 상태를 의미한다. 표 2의 결과는 15명 각각의 평균값이며, 전체적인 평균값을 보기위해 마지막 열과 행에 mean값을 구하였다. 가장 높은 상관차원 값을 가진 상태는 자극 4,5로 각각 조용한 음악을 들을 때와 시끄러운 소음을 들을 때이다. 가장 낮은 상관차원 값을 보인 자극은 그림을 보고 이를 기억 할 때와 눈을 뜨고 있을 때이다. 가장 높은 상관차원과 낮은 값에 차이는 크게 보면 청각자극과 시각자극이라고 말할 수 있다. 또한 양 검지 손가락과 양 엄지 발가락을 움직이는 비슷한 자극에 대해 다소 다른 상관차원 값을 가지는데, 발가락을 움직이는 상태가 높은 상관차원을 갖는다.

IV-1. 뇌 부위에 따른 분석

표 2의 좌측 열의 channel에 따라 상관차원 값을 분석해 보면 그림 1과 같이 전두엽 쪽에 위치하는 Fp1, Fp2, F3, F4 채널이 다른 채널에 비해 높은 상관차원 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 또한 가장 낮은 상관차원 값을 보인 채널은 O1, O2로 이는 후두엽에 위치한다.

Channel	State 1	State 2	State 3	State 4	State 5	State 6	State 7	State 8	State 9	State 10	Mean
Fp1	5.1	4.64	4.28	5.2	5.16	4.38	4.45	4.68	5.21	4.99	4.81
Fp2	4.87	4.18	4.4	5.09	5.15	4.64	4.11	5.02	5.16	5.09	4.77
F3	4.64	3.59	4.04	4.78	4.89	4.38	3.36	4.69	4.98	4.58	4.39
F4	4.58	3.36	3.91	4.82	4.89	4.45	3.28	4.42	4.84	4.49	4.3
C3	4.57	3.35	4.05	4.79	4.76	4.29	3.28	4.5	4.5	4.46	4.25
C4	4.61	3.59	4.06	4.73	4.69	4.15	3.34	4.47	4.8	4.48	4.29
P3	4.53	3.48	4.03	4.63	4.69	4.23	3.2	4.41	4.62	4.42	4.22
P4	4.51	3.36	4	4.31	4.63	4.24	3.17	4.43	4.57	4.46	4.17
O1	4.44	3.25	4.21	4.65	4.58	4.25	3.12	4.32	4.54	4.35	4.17
O2	4.22	3.1	4.05	4.45	4.7	4.19	2.89	4.54	4.39	4.45	4.1
F7	4.32	3.43	3.78	4.81	4.73	4.19	2.71	4.39	4.57	4.51	4.14
F8	4.12	3.32	3.9	4.77	4.46	4.2	2.59	4.25	4.75	4.48	4.08
T3	4.49	3.01	4.08	4.88	4.86	4.31	3.33	4.63	4.8	4.61	4.3
T4	4.49	3.12	3.97	4.76	4.81	4.41	2.94	4.55	4.82	4.54	4.24
T5	4.39	3.02	4.25	4.48	4.65	4.38	3.51	4.44	4.52	4.47	4.21
T6	4.4	3.25	4.08	4.62	4.67	4.36	3.28	4.45	4.46	4.44	4.2
A1	4.36	2.97	4.01	4.67	4.72	4.12	3.25	4.32	4.56	4.31	4.13
A2	4.18	3.01	3.94	4.63	4.71	4.11	3.11	4.37	4.49	4.35	4.09
Fz	4.55	3.26	4.1	4.74	4.77	4.16	3.25	4.52	4.82	4.54	4.27
Cz	4.63	3.15	4.01	4.7	4.6	4.25	3.43	4.5	4.57	4.27	4.21
Mean	4.5	3.37	4.06	4.72	4.76	4.28	3.28	4.49	4.7	4.51	

표 2. 각 자극과 채널에 따른 상관차원 결과

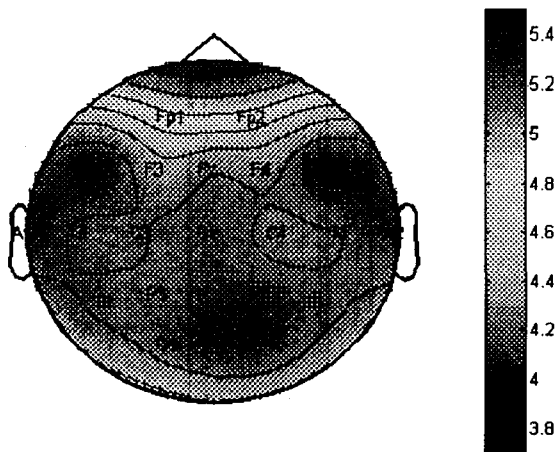


그림 1. 뇌 부위에 따른 상관차원 결과

V. 토의 및 고찰

뇌파 신호는 뇌의 상태나 기능, 위치에 따라 다르게 나타난다. 따라서 뇌파는 뇌의 전기적 현상이 일어나는 부분의 시간-공간적 상태를 반영한다고 할 수 있다. 따라서 뇌파는 뇌

기능을 이해하기 위한 하나의 도구로써 매우 유용하 할 수 있다. 본 연구는 건강한 성인을 대상으로 여러 자극을 주어 다양한 정신 상태에 따른 뇌 기능을 이해하기 위해 행하여 졌다. 또한 상관차원 분석법을 이용하여 각 자극에 따라 뇌의 비선형 분석 값의 크기가 어떻게 달라지는지 보았다. 그 결과 여러 자극 중 청각 자극에서 가장 큰 상관차원 값을, 시각 자극에서 가장 낮은 상관차원 값을 가짐을 알 수 있었다. 상관차원이 뇌의 복잡도 즉, 활동도를 나타내므로 청각자극 시 우리의 뇌가 가장 많은 전기적 활동을 보임을 알 수 있었으며, 시각자극은 청각자극에 비해 적은 전기자극을 보임을 알 수 있었다. 또한 뇌의 부위에 따라 분석하여 보면, 전두엽이 후두엽에 비해 평균적으로 높은 상관차원 값을 가진다. 이는 어떠한 특별한 자극에 관계없이 우리의 뇌는 전두엽이 후두엽에 비해 많은 전기 활동을 있다는 사실을 알 수 있다. 이 결과로 청각, 시각, 근육 자극

등의 일반적으로 알려져 있는 뇌 기능을 담당하는 부위는 실제로는 좀더 복잡한 내부의 구조가 있을 것으로 생각할 수 있다.

정상인의 뇌파를 측정하여 뇌 기능을 이해하려는 시도는 가장 일반적인 상태에서 뇌 정보 처리과정을 이해한다는 의미를 부여할 수 있을 것이다. 또한 뇌의 부위에 대한 뇌 활동도 분석은 임상학적으로 많은 활용 범위를 갖으므로 정확한 평가를 위해서 더 많은 분석법을 이용한 다양한 접근 방법이 요구되어 진다.

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

참고문헌

[1] Babloyantz, A. Salazar, J. M., and Nicolis. C., "Evidence of chaotic dynamics of brain activity during the sleep cycle", *Phys. Lett. A* 111, pp.152-156, 1985

[2] H. J. Ben, Wei-Kang Cheng, "Structural EEG engineer", *IEEE Engineering in medicine and biology magazine*, 41-45, 1988

[3] P.Grassberger, I. Procaccia, "Dimension and entropies of strange attractors from a fluctuating dynamic approach", *Physica D.*, Vol.13, 34-54, 1984

[4] Alan Wolf, Jack B. Swift, Harry L. Swinney and John A. Vastano, "Determining Lyapunov Exponent from a time series", *Physica D.* Vol.16, 285-317, 1985

[5] Francis C. Moon, "Chaotic and Fractal Dynamics", John Wiley & Sons, INC,

1992

[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 Psychiatry and Brain Research.*7:9-14, 1999

[7] Skrandies K: Evoked potentials correlates of semantic meaning-- A brain mapping study. *Brain Res Cog Brain Res* 6(3):173-83. 1998 Jan

[8] 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

[9] Spectral structure and brain mapping of human alpha activities in different arousal states. *Neurophysiology:*39(2):110-116. 1999

[10] 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

[11] 한선호, 사이토 쇼지, "임상뇌파", 일조각, 서울, 1987

[12] 김응수, 이유정, 최경규, "BPN을 이용한 EEG신호 분류", *JCEANF*, 217-220, 1999

[13] 류창수, 김승환, 박선희, 황민철, "칭각 자극에 의한 감성상태의 뇌파에 대한 상관차원 추정", *정보과학회논문지(B)*, 제25권, 제2호, 1998

[14] 진승현, "알파파 자극 제시 후 뇌파의 ICA 및 비선형 분석", 한국과학기술원 석사학위논문, 1999