

PC에 기반한 3차원 TOPOGRAPHIC 매핑 시스템에 관한 연구

김강호, 권중혁, 이대회, *이용희, 김선일
한양대학교 의용생체공학과
*한양대학교 전자공학과

A STUDY ON 3D BRAIN TOPOGRAPHY BASED ON PC

K. H. Kim, J. H. Kwon, D. H. *Lee, Y. H. Lee, S. I. Kim

Dept. of Biomedical Engineering & *Electronics
Hanyang University

Abstract

To visualize electrical activities in the cerebral cortex, we develop the 3D topographic mapping system based on PC. For this work, we utilize OpenGL tool and an optimized interpolation method known as 3D barycentric algorithm, which has a little computational complexity. OpenGL processes the 3D coordinates, and 3D barycentric algorithm interpolates to get overall EEGs with EEGs measured from finite electrodes on 3D.

To prove validity of this algorithm on the PC-based system, we developed Windows-based 3D topographic mapping program using the Barycentric algorithm. The result showed that the performance of this system is comparable to that of workstation in terms of speed and precision. Also, the result of clinical test was the same as that of a EEG technician's analysis.

I. 서론

뇌파(Electroencephalography)는 뇌의 기능적 결합을 분석할수 있는 임상 데이터로서 매우 중요하다. 뇌파 분석 방법은 크게 측정된 뇌파자체를 가지고 분석하는 방법과 뇌파를 그래픽적으로 모델링된 두피상에 사상하여 분석하는 방법으로 분류할 수 있다. 현재까지 임상에서의 뇌파분석법은 신호 자체를 가지고 분석하는 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나 뇌파를 분석하는 방법은 전문적인 지식과 훈련을 받은 판독사만이 할 수 있기 때문에 뇌파에 관한 체계적인 지식을 가지고 있지 않은 상태에서는 판독하기가 매우 어렵다. 이러한 이유로 인해 뇌파를 그래픽으로 매핑(mapping)하는 방법에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다[3]. 처음에 시도된 연구방법은 2차원 평

면상에 매핑하는 연구가 진행되었으며 일부 상용 뇌파 분석시스템에 적용되었다. 그러나 2차원적인 표현 방법으로는 다양한 위치에서 관측하는 것이 불가능하고 또한 3차원적 구도를 2차원 상에 투영한 형태로서 표현이 되기 때문에 실제의 좌표와는 많은 차이를 보인다[5]. 이러한 단점을 보완하기 위해 3차원을 적용한 매핑 방법에 관한 연구가 진행되어 왔으며, 현재는 3차원 매핑의 유용성이 입증 되었다[4]. 이러한 3차원 모델링 방법의 장점은 다양한 위치에서의 전위 분포 정보를 얻을 수가 있다는 점과 임의의 전극 위치에서 좋은 spatial-temporal resolution을 얻을수 있다는 점이다[2][4][6]. 그러나 현재까지의 3차원 topographic 매핑 시스템은 복잡하며, 고가의 장비인 워크스테이션(workstation)에서 개발되어 사용하기가 매우 복잡하고 어렵다.

본 연구에서는 이와 같은 단점을 보완하기 위해 사용하기가 쉽고, 가격이 저렴한 PC에서 3차원 매핑 시스템의 구현을 목적으로 한다. 본 3차원 topographic 매핑 시스템은 윈도우 기반 3차원 엔진인 OpenGL을 적용하여 개발되었으며 고속의 디스플레이를 위해 간단하고 정확한 3D Barycentric 알고리즘을 도입하여 복잡한 하드웨어 장비가 없어도 PC에서 3차원 topographic 매핑 시스템이 가능함을 보인다. 또한, 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용하여 개발한 분석 소프트웨어를 소개하고, 측정된 EEG를 3차원 topographic 맵으로 분석한 시뮬레이션 결과를 제시한다.

II. 본론

한정된 전극으로부터 측정된 값을 바탕으로 3차원 topographic 맵을 얻기 위해서는 임의의 좌표에서의 보간값(Interpolation Value)을 구해야만 한다. 기존 3차원 매핑에서 사용된 보간법은 대표적으로 3가지로 분류 한다(Barycentric method, Polynomial method, Spline method)[3].

두피를 모델링하는 방법으로는 일반적으로 구

(Sphere)로 모델링하는 방법이 가장 많이 적용되는데 본 연구에서도 구로 모델링하는 방법을 사용하였다.(그림 1)[1].

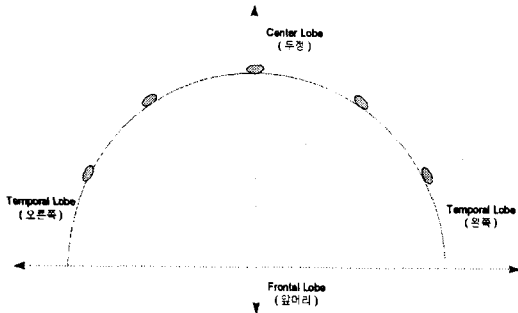


그림 1. 정면에서 보았을 때의 모습

3차원 보간 알고리즘

본 연구에서 적용된 3차원 보간알고리즘인 3D Barycentric 알고리즘은 매우 간단하기 때문에 2차원 매핑에서도 많이 사용된 알고리즘이다[3]. 약간 변형된 알고리즘인 N-nearest method는 사용된 전체 전극에 대해서가 아니라 주변의 N개의 전극만이 영향을 미친다고 가정하고 보간하는 방법이다.

본 연구에서 사용한 3D Barycentric 알고리즘을 전개 하면 다음과 같다.

* 3D Barycentric 알고리즘

$$V_o = \left(\sum_{i=1}^n V_i \cdot \frac{1}{d_i^m} \right) / \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^m} \right)$$

* 각각의 파라미터

V_i : i번째 전극의 위치에서 측정된 값

d_i : 실제 전극과 임의의 위치와의 Euclidean Distance

$$d_i = \sqrt{(x - x_{e_i})^2 + (y - y_{e_i})^2 + (z - z_{e_i})^2}$$

V_o = Interpolation 값, n = 전극의 수

m = Interpolation 차수

x, y, z = 반구상의 임의의 좌표

$x_{e_i}, y_{e_i}, z_{e_i}$ = 전극이 배치된 좌표

이 알고리즘은 임의의 점에서 보간된 값을 각각의 전극에서 임의의 위치 까지의 거리를 가중치(Weight)로 사용하여 계산한다. 자세히 설명하면, 임의의 위치에서 보간된 값은 임의의 점과 측

정에 사용된 모든 전극간의 거리함수(Euclidean Distance Function)에 의해 구해진다. 또한 이 알고리즘은 측정에 사용된 전극이 모두 임의의 위치의 보간값에 영향을 미친다고 가정한다[3]. 위와 같이 3D Barycentric 알고리즘은 매우 간단한 수식으로 이루어져 있어 구현을 하기가 매우 용이함을 알수가 있다. Barycentric 알고리즘의 장점을 기술하면 다음과 같다. 첫째, 구현하기에 매우 용이하다. 둘째, 차수가 증가 할수록 실제 값에 접근하려는 성질이 있다. 셋째, 거리를 가중치로 이용하는 알고리즘적인 특성으로 인해 값이 높은 전극의 위치에 대해서는 정확하게 그 위치를 볼수가 있다[3].

III. 실험 및 고찰

데이터 측정 및 몽타주

데이터의 측정은 한양 대학교 병원의 EEG 측정실에서 측정 하였으며 채널수는 16채널을 사용하였다. 밑의 그림은 측정 시스템의 구성도(그림 3)이다. 병원에 있는 장비는 Analog 데이터가 측정되므로 DT2821 보드를 PC측에 장착하여 AD 변환을 하였다. 또한, 측정에 사용된 몽타주(Montage)는 그림 2와 같으며, 측정 방법은 reference mode과 bipolar model을 모두 사용하였다. 측정 대상은 normal과 abnormal 환자들을 대상으로 총 100명의 환자 데이터를 측정 하였다. 그리고 계산상의 편리를 위해 reference model에서 측정된 데이터를 사용하여 매핑을 하였다.

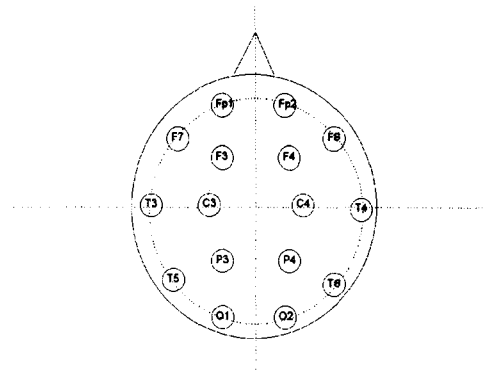


그림 2. 측정에 사용된 전극 배치

복원(Reconstruction) 방법

3차원으로 표현을 하기위한 방법으로는 현재 산업계에서 표준이 되고 있는 윈도우 기반에서 운용되는 3차원 엔진인 OpenGL을 사용하였다. OpenGL의 장점은 그동한 수작업으로 해왔던 은면 제거(Hidden Surface Removal) 및 3차원 렌더링(Rendering)과 같은 복잡한 그래픽 알고리즘을 OpenGL이 수행 해준다는 점이다. 맵을 그리기위

IV. 결 론

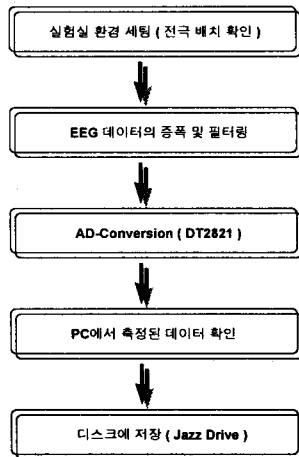


그림 3. EEG 측정 시스템의 구성도

한 방법으로는 각각의 위치에 pixel을 찍는 방법으로 구현하였다. 그러나 pixel을 이용한 방법은 계산상의 무리를 가져오고, 예일리어싱(Aliasing)을 없애기 위해 텍스터링(Texturing)을 해줘야 하는 단점이 있으나, 반대로 보다 정밀한 그림을 얻을수 있는 장점이 있어 본 연구에서는 pixel을 이용한 방법을 선택하였다. 또한 머리를모델링하는 방법으로는 위에서도 언급을 했듯이 구로 모델링을 하였다. 이와 같은 방법의 장점은 전극 위치(그림 2)를 좌우 대칭적으로 배치 할 수 있다는 점이다.

시뮬레이션 결과

본 연구에 사용된 알고리즘의 정확도를 확인하기 위해 RMSE를 구했다[Table 1]. 전극의 위치에서 측정된 EEG 데이터 가운데 임의로 10개를 추출하여 보간값과 RMS 에러를 구한 결과 3D Barycentric 알고리즘의 정확도가 평균 0.2123로 상당히 높았다.

실제 이 알고리즘을 적용하여 개발한 프로그램을 사용한 3차원 topographic 매핑 결과가 그림 5와 그림 7이며 그림 4와 6은 매핑에 사용된 EEG 데이터 이다[맨 뒷장].

그림 4는 F4 위치에서 스파이크(Spike)가 나오는 12세 남자 환자의 데이터이다. 그림 5에서 정확한 스파이크 발생 위치를 찾아 볼수가 있다. 비교를 위해 제시한 normal인 23세 여자 환자의 topographic 맵이 그림 7이며 그림 5와 비교해 볼 때 뚜렷한 차이점을 육안으로 확인 할 수가 있다 (Level의 비교는 그림안에 보이는 Index Bar 밑에 갈수록 Voltage Level이 높다.).

본 연구에서는 3D Barycentric 알고리즘을 이용한 3차원 Topographic 매핑이 2차원 평면에 매핑한 방법보다 많은 장점이 있고 우수함을 보였다. 그 장점을 설명해 보면, 첫째 3차원을 이용한 방법을 쓸 경우에는 머리를 3차원 공간상에 모델링 하기 때문에 2차원 방법에서는 얻을수 없는 위치 정보를 분석 할수 있는 정밀한 topographic 맵을 얻을 수가 있었다. 둘째, spatial-temporal resolution이 시각적(Visual)으로 판독하기가 매우 좋다는 점이다. 이와 같이 3차원을 이용한 방법은 2차원적인 방법보다 정확한 분석 자료를 얻을 수 있었다. 또한 3D Barycentric 알고리즘을 사용하여 저가의 PC에서도 고속의 3차원 매핑이 가능함을 보였다. 차후 본 연구에서는 단순화된 두피 모델을 MRI, CT 영상을 바탕으로 실제적인 모델로 구성하여 보다 정밀한 분석이 가능한 시스템을 구축한다.

V. 참고 문헌

- [1] J.C.De Munck, P.C.M. Vijn and H. Spekreijse "A practical method for determining electrode positions on the head" *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1990. September, 78 : 85-87.
- [2] Veronica Medina, Farid Hassainia, Francois, Francois Langevin, and Paul Gaillard, "Three dimensional representation of brain electrical activity", *Brain Topography*, 1994, May, Volume 7, Number 1.
- [3] L.Soufflet, M. Toussaint, R. Luthringer, J. Gresser, R. Minot, and J.P. Macher, "A statistical evaluation of the main interpolation methods applied to 3-dimensional EEG mapping", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1991. January. 79 : 39- 402
- [4] Alan Gevins, Paul Brickett, Bryan Coastales, Jian Le, and Bryan Reutter, "Beyond topographic mapping : Towards Functional-Anatomical Imaging with 124-Channel EEGs and 3-D MRIs", *Brain Topography*, 1990, June, Volume 3, Number 1
- [5] F.Perrin, J.Pernier, O.Bertrand, M.H.Giard and J.F.Echallier, "Mapping of scalp potentials by surface spline interpolation", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1986, March, 66 : 75 - 81
- [6] Veron L. Towle, Jose Bolanos, Diane Suarez, Kim Tan, Robert Grzeszczuk, David N. Levin, Raif Cakmur, Samuel A, Frank and Jen-Paul Spire, "The spatial location EEG electrode: locating the best-fitting sphere relative to cortical anatomy", *Electroencepa*

hlography and Clinical Neurophysiology, 19
93, August, 86 : 1-6

시플레이션된 3차원 Topographic 맵

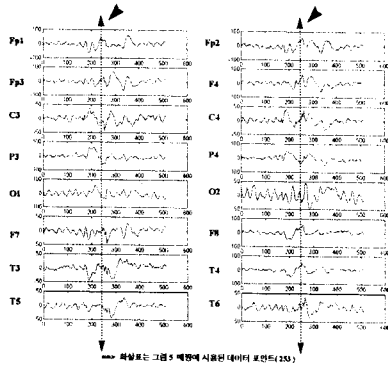


그림 4. Abnormal(Spike) EEG

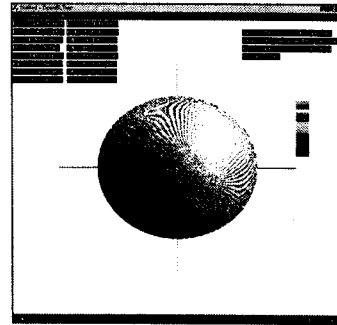


그림 5. Abnormal(Spike)

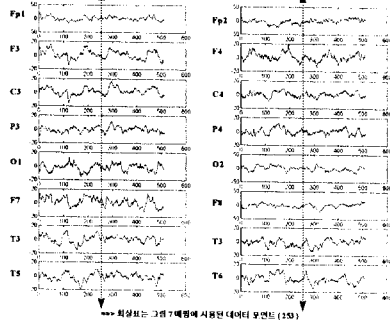


그림 6. Normal EEG

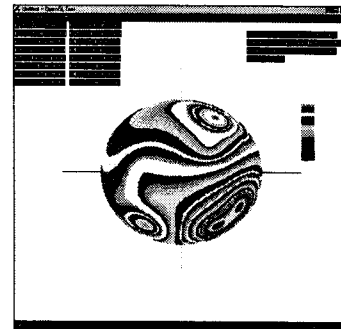


그림 7. Normal Case

Table 1. RMSE 평균치

전극 위치											
1	0.1598	0.1481	0.1480	0.1496	0.1710	0.1796	0.2129	0.2237	0.1971	0.1915	
2	0.2379	0.0722	0.0594	0.1039	0.0044	0.1995	0.0254	0.0010	0.2253	0.3094	
3	0.1775	0.1535	0.1411	0.1618	0.1832	0.1859	0.1911	0.1989	0.1874	0.3903	
4	0.0652	0.0327	0.0316	0.4575	0.1540	0.1761	0.1673	0.1689	0.1843	0.1055	
5	0.2056	0.1950	0.1828	0.1890	0.1972	0.1959	0.1959	0.1991	0.1957	0.2055	
6	0.2103	0.2227	0.3380	0.2167	0.1736	0.1916	0.1843	0.1758	0.0299	0.2113	
7	0.2160	0.2118	0.1683	0.1823	0.1848	0.1824	0.1835	0.1864	0.1835	0.1916	
8	0.1853	0.1870	0.2053	0.1900	0.1829	0.1956	0.1971	0.1915	0.2125	0.1950	
9	0.8391	4.3024	0.8229	0.7527	0.4362	0.4094	0.5531	0.5697	0.6641	0.7921	
10	0.2175	0.2262	0.2546	0.2519	0.2864	0.2956	0.2671	0.2642	0.2589	0.2485	
11	0.2291	0.6187	0.3048	0.2603	0.1713	0.1827	0.1643	0.1565	0.1890	0.1815	
12	0.1581	0.1677	0.1667	0.1651	0.1548	0.1536	0.1509	0.1487	0.1512	0.1457	
13	0.1539	0.1501	0.1442	0.1503	0.1598	0.1536	0.1553	0.1562	0.1496	0.1559	
14	0.1318	0.1826	0.2035	0.1918	0.1827	0.1824	0.1816	0.1806	0.1823	0.1792	
15	0.1539	0.1507	0.1408	0.1506	0.1612	0.1540	0.1565	0.1575	0.1506	0.1554	
16	0.0934	0.1150	0.1438	0.1414	0.1379	0.1472	0.1316	0.1323	0.1288	0.1265	
결과(평균)	0.2147	0.4460	0.2160	0.2322	0.1838	0.1991	0.1949	0.1944	0.2056	0.2366	